3 2592

VYDAVATELSTVÍ ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

KONSTRUKCE POZEMNÍCH STAVEB 10

Nosné konstrukce I

Doc. Ing. Petr Hájek, CSc.

a kolektiv

OBSAH

A ÚVOD DO PROBLEMATIKY KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB 7

A1 Terminologie 8

A2 Základní třídění pozemních staveb 10
- Funkční třídění pozemních staveb 10
- Materiálové a technologické třídění 10
- Stavebně konstrukční třídění 16

B KONCEPCE NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB 17

B1 Vývoj konstrukcí pozemních staveb 18
- Historie stavění 18
- Vztah materiálového, konstrukčního a technologického řešení staveb 20
- Tendence a směry vývoje v pozemních stavbách 22

B2 Požadavky na pozemní stavby 24
- Architektonické požadavky 26
- Obecné požadavky na bezpečnost a užitné vlastnosti staveb 27
- Odolnost konstrukce vůči vnějším vlivům 36
- Požadavky na pohodu a hygienu vnitřního prostředí 36
- Technologické požadavky 37
- Ekologické požadavky 41
- Ekonomické požadavky 41

B3 Konstrukční materiály 42
- Fyzikální vlastnosti konstrukčních materiálů 42
- Chemické vlastnosti konstrukčních materiálů 45
- Ekonomické a technologické charakteristiky 45
- Ekologická kritéria 46

B4 Konstrukční návrh 48
- Systémový model objektu 48
- Technika projektování 50
- Principy konstrukčního návrhu 53

B5 Životnost staveb, modernizace, rekonstrukce 56
- Vliv času na budovy a stavební konstrukce 56
- Životnost budovy a stavebních konstrukcí 57
- Životnost prvků v provozním stadiu budovy 58
- Údržba a opravy 59
- Modernizace a rekonstrukce 59
- Adaptace 60

B6 Proces návrhu a realizace stavebního díla 61
- Hlavní účastníci procesu výstavby 61
- Fáze procesu výstavby 62

C KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY POZEMNÍCH STAVEB 64

C1 Konstrukční systém 65
- Konstrukční systém a jeho funkce 65
- Účinky zatížení na konstrukční systém 67
- Konstrukční prvky nosných systémů 68
- Interakce konstrukčních prvků 71

C2 Konstrukční systémy jedno a vícepodlažních budov 73
- Konstrukční, materiálové a technologické třídění konstrukcí 73
- Uspořádání nosného systému 76
- Stěnové systémy 77
- Sloupové systémy 83
- Kombinované systémy 92
- Prostorová prefabrikace 95
- Konstrukční systémy výškových budov 96
- Superkonstrukce 98

C3 **Konstrukční systémy halových staveb** 99
- Funkce a součásti halových a velkoobjemových objektů 99
- Konstrukční systémy halových objektů 100
- Ohýbané konstrukční systémy 105
- Konstrukční systémy převážně tlačené 109
- Konstrukční systémy převážně tažené 112

D **DILATAČNÍ SPÁRY V NOSNÝCH KONSTRUKCÍCH** 115

D1 **Důvody pro rozdělování objektů dilatačními spárami** 116
- Účinky objemových změn 117
- Účinky nerovnoměrného sedání 119
- Konstrukční a technologické důvody 121

D2 **Konstrukční zásady navrhování dilatačních spár** 122
- Dilatační spáry z důvodu objemových změn 122
- Dilatační spáry z důvodu rozdílného sedání 124
- Zásady řešení dilatačních spár v nosné konstrukci budov 125
- Řešení dilatačních spár v navazujících nenosných konstrukcích 128

E **SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE** 129

E1 **Funkce a požadavky** 130

E2 **Technologické varianty - principy konstrukčního řešení** 133
- Zděné konstrukce 133
- Vyztužené a předepnuté zděné konstrukce 134
- Monolitické konstrukce 136
- Prefabrikované konstrukce 138
- Ztužující věnce a kleštiny 139

E3 **Nosné stěny** 141
- Kamenné stěny 141
- Dřevěné stěny 143
- Stěny z cihelných materiálů 145
- Stěny z tvárnic na bázi lehkých betonů 148
- Betonové stěny 151
- Vrstvené konstrukce nosných obvodových stěn 155

E4 **Sloupy a pilíře** 158
- Kamenné sloupy a pilíře 158
- Dřevěné sloupy 160
- Cihelné sloupy a pilíře 161
- Betonové sloupy 163
- Ocelové sloupy 167

E5 **Otvory v nosných stěnách** 169
- Kamenné překlady 170
- Cihelné překlady 170
- Ocelové překlady 171
- Keramické překlady 172
- Železobetonové překlady 172
- Překlady z lehkých betonů 173

F **STROPNÍ KONSTRUKCE** 174

F1 **Funkce a požadavky** 175
- Architektonická funkce a požadavky 175
- Statická funkce a požadavky 177
- Protipožární funkce a požadavky 179
- Akustická funkce a požadavky 180
- Tepelně-technická funkce a požadavky 181

F2 **Principy konstrukčního řešení** 182
- Klenbové působení 182
- Nosníková konstrukce 183
- Desková konstrukce 184
- Vyztužení ohýbané konstrukce 185
- Předpětí ohýbané konstrukce 185
- Spolupůsobení konstrukčních prvků 186
- Konstrukční varianty stropních konstrukcí 187

F3 Klenby **188**
- Klenby tradiční zděné 190
- Klenby novodobé 194

F4 Dřevěné stropy **195**
- Povalové stropy 197
- Dřevěné trámové stropy 198
- Fošnové stropy 202
- Stropy z lepených, sbíjených a příhradových nosníků 202

F5 Železobetonové stropy **204**
- Monolitické železobetonové stropy 207
- Prefabrikované železobetonové stropy 217
- Prefa-monolitické železobetonové stropy 225

F6 Ocelové a ocelobetonové stropy **229**
- Ocelové stropy 231
- Ocelobetonové stropy 236

G PŘEDSAZENÉ KONSTRUKCE **238**

G1 Funkce a požadavky **239**
- Architektonická funkce a požadavky 239
- Statická funkce a požadavky 241
- Vliv účinků objemových změn 242
- Tepelnětechnická funkce a požadavky 243
- Odolnost konstrukce vůči vnějším vlivům 244
- Požadavky na požární bezpečnost 244

G2 Principy konstrukčního řešení **245**
- Konzolové předsazené konstrukce 245
- Podepřené konstrukce 247
- Zavěšené konstrukce 248
- Přerušení tepelných mostů systémem ISO-nosníků 249
- Ochrana před povětrnostními vlivy 252

G3 Předsazené konstrukce - konstrukční řešení **253**
- Balkony 253
- Lodžie 255
- Pavlače 256
- Arkýře 256
- Římsy 257
- Markýzy a sluneční clony 259

Označení veličin a jejich fyzikální rozměr **260**

ÚVOD DO PROBLEMATIKY KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB

A

Introduction into Building Design and Construction
Einführung in die Problematik der Hochbaukonstruktionen

A1 TERMINOLOGIE	*Terminology*	*Begriffe*
A2 ZÁKLADNÍ TŘÍDĚNÍ POZEMNÍCH STAVEB	*Basic Classification of Buildings*	*Grundgliederung von Hochbauten*
■ Funkční třídění pozemních staveb	*Classification of Buildings by Function*	*Gliederung von Hochbauten nach Funktion*
■ Materiálové a technologické třídění	*Material and Technological Classification*	*Gliederung nach Baustoffen und Technologien*
■ Stavebně konstrukční třídění	*Classification of Structures*	*Gliederung nach Bauteilen*

Autor: Hájek P.

TERMINOLOGIE

A1

Terminology
Begriffe

● ***Trvale udržitelný rozvoj***
Rozvoj, který uspokojuje potřeby současné generace, aniž by ohrožoval možnost dalších generací uspokojit jejich vlastní potřeby.

● ***Ekologie***
Nauka o vzájemných vztazích mezi organismy a o vztazích těchto organismů k prostředí, ve kterém existují.

● ***Systém***
Celek složený ze vzájemně na sebe působících částí (prvků nebo subsystémů) existující v interakci s okolím a prokazující cílové chování (určitý účel).

● ***Konstrukční systém***
Celek složený z navzájem propojených konstrukčních prvků a subsystémů, které jsou v důsledku působení okolí (zatížení aj.) ve vztahu vzájemné interakce (spolupůsobení). Jde tedy o množinu konstrukčních prvků a vazeb mezi nimi vytvářející stavební objekt nebo jeho část.

● ***Nosný subsystém***
Celek složený z nosných konstrukčních prvků, jejichž vlastnosti a charakter vzájemných vazeb jsou cíleně voleny tak, aby bylo dosaženo efektivního spolupůsobení při přenášení zatížení působícího v důsledku interakce s okolím. Rozhodující (primární) funkce je funkce nosná (statická).

● ***Subsystém kompletačních konstrukcí (subsystém obalových a dělicích konstrukcí)***
Celek složený z konstrukčních prvků, jejichž rozhodující (primární) funkce jsou např. stavebně fyzikální, architektonická apod., přičemž funkce nosná je pouze sekundární (např. samonosnost konstrukce nebo v případě interakce s nosným subsystémem). Někdy se pro tento subsystém používá pojmu *primárně nenosný subsystém* nebo *nenosné konstrukce*.

● ***Zatížení systému***
Působení okolí (okolního prostředí) na systém (zatížení statická, dynamická, klimatická, akustická, chemické a biologické vlivy aj.).

● ***Stavba***
Umělá materiální struktura, od svého vzniku zpravidla pevně spojená se zemí. Stavba je souhrn dodávek stavebních materiálů, hmot, dílů a stavebních prací, popř. strojů, zařízení a inventáře vč. souvisejících prací vykonávaných v souvislém čase a na souvislém místě, sloužících k vytvoření díla na podkladě příslušné dokumentace projektu.

● ***Stavební objekt***
Prostorově ucelená nebo technicky samostatná účelově určená část stavby.

● ***Stavební soustava***
Soubor nosných stavebních konstrukcí a ostatních s nimi konstrukčně souvisejících stavebních dílů, určený pro vymezené použití.

● ***Vícepodlažní budova***
Budova o více podlažích. Konstrukční systém je charakterizován především svislými konstrukcemi a jejich uspořádáním vzhledem ke způsobu podepření stropní konstrukce a v souvislosti se zajištěním prostorové tuhosti celé budovy.

● ***Halová budova***
Budova o jednom někdy i více podlažích. Konstrukční systém je charakterizován převážně vodorovnými konstrukcemi zastřešení, event. zastropení na velké rozpony.

● ***Výšková budova***
Vícepodlažní budova o mnoha podlažích (zpravidla více než 10). Výškové budovy vyžadují některá speciální konstrukční řešení z hlediska statického, provozního, bezpečnostního, požárního, rozvodů TZB a technologie provedení. Nosný systém je charakterizován především způsobem zajištění prostorové tuhosti a stability.

● ***Supersystém***
Dvoustupňový nosný systém skládající se z primárního nosného subsystému (zpravidla o větší fyzické životnosti) podporujícího sekundární nosný subsystém (zpravidla o menší fyzické nebo morální životnosti).

● ***Rekonstrukce***
Uvedení objektu nebo jeho části do původního stavu. Je snaha o maximální dodržení původního vzhledu i konstrukčního řešení.

● ***Modernizace***
Stavební úpravy objektu zlepšující funkční, event. i další parametry objektu prostřednictvím změn nevyhovující dispozice, výměny některých konstrukčních prvků za nové s lepšími parametry, doplnění objektu o chybějící technické vybavení (ústřední vytápění, výtahy) aj. Hlavním cílem je zvýšení uživatelského standardu.

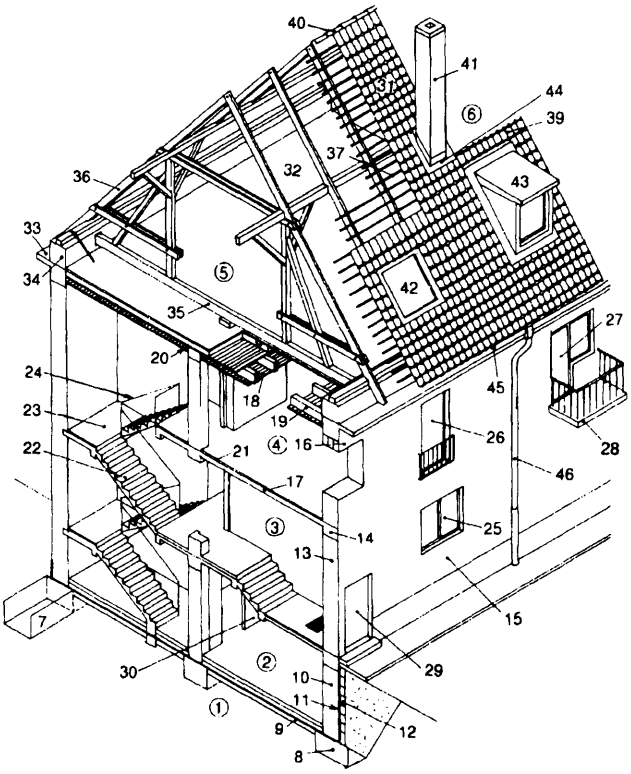
● ***Adaptace***
Stavební úpravy přizpůsobující objekt nebo jeho část jinému účelu (změna provozu).

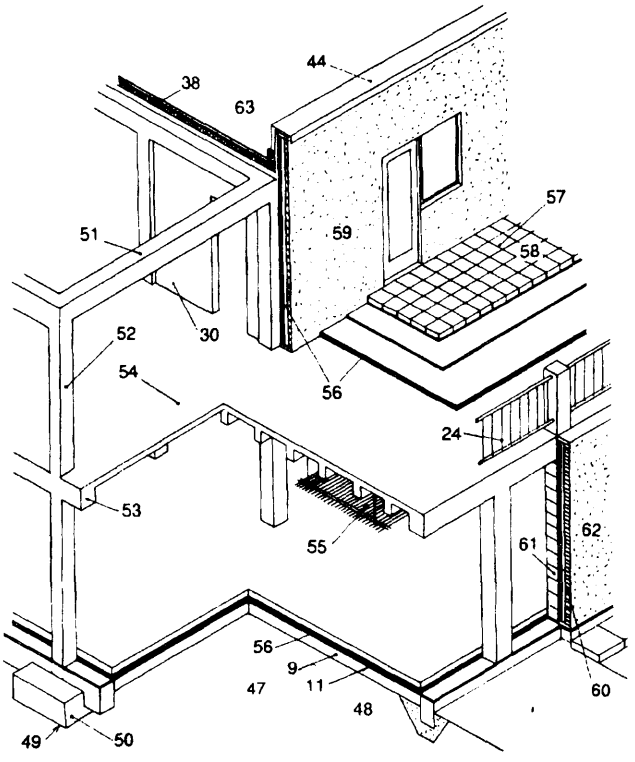
● ***Přestavba objektu***
Souhrnný název pro rekonstrukci, modernizaci a rozšíření (nástavba, přístavba) stavebního objektu.

● ***Unifikace***
Sjednocování rozměrů a technických vlastností konstrukčních prvků za účelem možnosti jejich univerzálnějšího použití pro různé účely.

● ***Modulová koordinace***
Souhrn pravidel pro určování skladebných rozměrů objektů a skladebných rozměrů prvků. Smyslem modulové koordinace je zajišťovat soulad mezi rozměry objektů a rozměry prvků pomocí dohodnutých rozměrových jednotek - *modulů*.

	Česky	*English*	*Deutsch*
1	základy	foundation, footing	die Fundamente
2	podzemní podlaží	basement	das Untergeschoss
3	1. nadzemní podlaží	groundfloor	das Erdgeschoss
4	2. nadzemní podlaží	first floor	das erste Obergeschoss
5	podkroví	attic	das Dachgeschoss
6	střecha	roof	das Dach
7	výkop	excavation	der Aushub
8	základový pás	continuous footing	die Streifenfundamente
9	podkladní beton	screeding concrete	der Unterbeton
10	suterénní stěna	basement wall	die Kellerwand
11	hydroizolace	waterproofing	die Wasserabdichtung
12	přizdívka	retention wall	die Hintermauerung
13	stěna	wall	die Wand
14	pozední věnec	rim	der Betongurt
15	parapet	parapet	die Brüstung
16	překlad	lintel	der Sturz
17	stropní konstrukce	floor	die Decke
18	trámový strop	joist ceiling	die Balkendecke
19	trám	beem	der Balken
20	podbíjení stropu	floor casting	die Deckenschalung
21	podlaha	flooring, floor	der Fussboden
22	schodišťové rameno	flight	der Treppenlauf
23	podesta	landing	das Podest
24	zábradlí	railing	das Geländer
25	okno	window	das Fenster
26	francouzské okno	French window	das französische Fenster
27	balkonové dveře	balcony door	die Balkontür
28	balkon	balcony	der Balkon
29	vstupní dveře	front door	die Eingangstür
30	příčka	partition wall	die Trennwand
31	sedlová střecha	saddle roof	das Satteldach
32	krov	roof truss	der Dachstuhl
33	římsa	fillet	das Gesims
34	půdní nadezdívka	backing	der Kniestock
35	vazní trám	bond timber	der Binderbalken
36	krokev	rafter	die Sparre
37	laťování	lathing	die Lattung
38	střešní plášť	roof covering	der Dachbelag
39	tašková krytina	tile roofing	das Ziegeldach
40	hřeben střechy	ridge	der Dachfirst
41	komín	chimney	der Schornstein
42	střešní okno	skylight	das Dachfenster
43	vikýř	dormer	die Dachgaube
44	oplechování	flashing	die Blechverkleidung
45	žlab	gutter	die Dachrinne
46	svod	downspout	das Abfallrohr
47	podloží	subsoil	die Untergrund
48	zemina	earth, soil	die Erde, das Boden
49	základová spára	footing bottom	die Sohle
50	základová patka	footing	das Einzelfundament
51	železobetonový rám	concrete frame	das Betonrahmen
52	sloup	column	die Stütze
53	průvlak	girder	der Unterzug
54	deska	slab	die Platte
55	podhled	lower ceiling	die Untersicht
56	tepelná izolace	thermal insulation	die Wärmedämmung
57	dlažba	pavement	die Bodenfliesen
58	terasa	terrace	die Terrasse
59	obvodový plášť	peripheral wall	die Aussenwand
60	cihla	brick	der Ziegel
61	tvárnice	block	der Blockstein
62	omítka	plaster	der Putz
63	plochá střecha	flat roof	das Flachdach





ZÁKLADNÍ TŘÍDĚNÍ POZEMNÍCH STAVEB A2

Basic Classification of Building Structures
Grundgliederung von Hochbauten

Stavebnictví se dělí na na čtyři základní obory: *pozemní stavitelství, průmyslové stavitelství, inženýrské stavitelství* a *vodní stavitelství.* Produkty stavební činnosti jsou *stavební objekty,* které lze podle charakteru a účelu rozdělit do čtyř skupin:

- *Pozemní stavby:* stavby pro bydlení, občanské stavby, stavby pro průmysl, energetiku a zemědělství,
- *Dopravní stavby a podzemní stavby:* silnice, mosty, tunely, železnice aj.,
- *Vodohospodářské stavby:* přehrady, meliorace, úpravy vodních toků aj.,
- *Speciální stavby:* stožáry, podzemní kolektory aj.

■ Funkční třídění pozemních staveb

Z hlediska účelu (tj. hlavní funkce), pro který se objekt staví, lze rozdělit pozemní stavby do následujících skupin a podskupin:

- *stavby pro bydlení*
  - obytné domy: bytové domy, rodinné domy
  - stavby pro individuální rekreaci: chaty, rekreační domky aj.
- *občanské stavby*
  - stavby pro zdravotnictví a sociální péči: nemocnice, polikliniky, jesle aj.
  - školské stavby: mateřské školy, školy aj.
  - sportovní stavby: tělocvičny, sportovní haly, hřiště, stadiony, koupaliště, jízdárny, loděnice aj.
  - stavby pro vědu, kulturu a osvětu: divadla, kina, knihovny, kostely, galerie, výstavní síně, muzea, výstaviště, výzkumné laboratoře, archívy aj.
  - stavby pro služby a obchod: prodejny, obchodní domy, restaurace, jídelny aj.
  - stavby pro dočasné ubytování: hotely, penziony, ubytovny, motely aj.
  - budovy pro dopravu a spoje: odbavovací haly letišť a nádraží, pošty aj.
  - administrativní budovy
- *průmyslové stavby*
  - výrobní objekty: výrobní haly, vícepodlažní výrobní objekty
  - skladovací objekty
  - budovy pro energetiku: kotelny, transformovny, čerpací stanice aj.
- *zemědělské stavby*
  - stavby pro živočišnou a rostlinnou výrobu: stáje, seníky, skleníky, sklady.

■ Materiálové a technologické třídění

Z materiálového hlediska dělíme hlavní nosné konstrukce v pozemních stavbách na pět základních skupin:

- *dřevěné konstrukce*
  - konstrukce z hraněného a deskového řeziva
  - konstrukce lepené z hraněného řeziva a z dřevěných lamel (lamelové konstrukce)
  - konstrukce na bázi dřeva (z překližek, z aglomerovaného dřeva aj.)
- *konstrukce z kamene*
  - konstrukce z lomového kamene
  - konstrukce z opracovaného kamene

- *konstrukce z keramických materiálů*
  - konstrukce z cihel a cihelných tvárnic
  - cihelné konstrukce vyztužené a předpjaté
  - konstrukce z cihel z nepálené hlíny
- *betonové konstrukce* - konstrukce z prostého betonu
  - konstrukce železobetonové
  - konstrukce z předpjatého betonu
  - konstrukce z lehčeného betonu (pórobetonové nebo s lehčeným kamenivem)
- *kovové konstrukce* - ocelové konstrukce
  - konstrukce z litiny
  - konstrukce z ostatních kovů a kovových slitin (hliník, dural)

Kompletační konstrukce mohou být z hlediska základního materiálu zařazeny ještě do dalších skupin:
- *konstrukce a materiály na bázi skla*
- *konstrukce a materiály na bázi plastů*
- *konstrukce a materiály na bázi textilií, pryže, atd.*

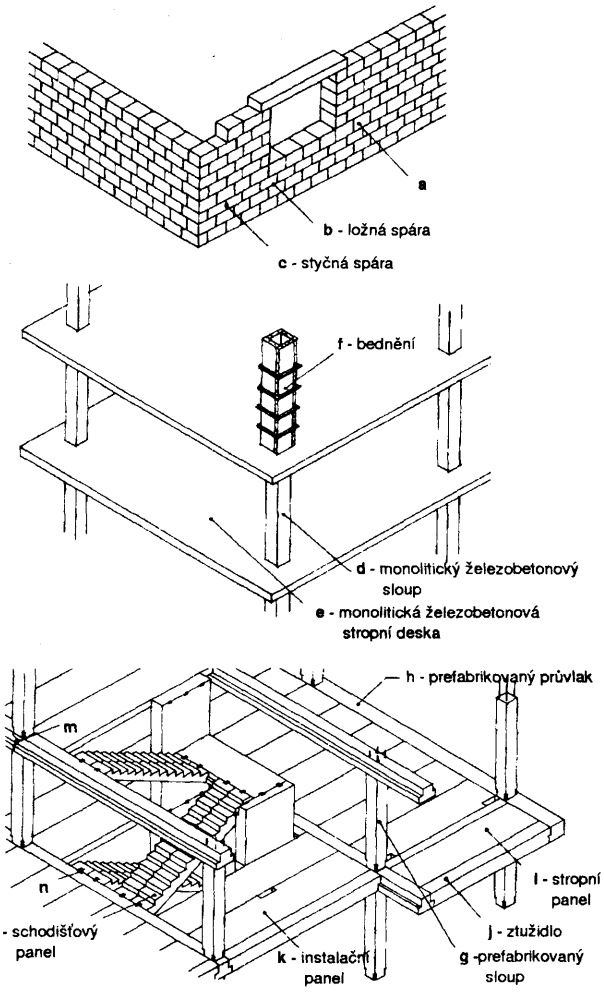
Kromě vyjmenovaných skupin existují i konstrukce na bázi v našich podmínkách netradičních nebo historických materiálů jako je *rákos, sláma, bambus, led, vyztužený led, papyrusové listy, hlína, textilie, kůže* apod.

Z technologického hlediska dělíme konstrukce na tři základní skupiny:

- *zděné konstrukce*:
  konstrukce z kusových staviv (*a*) nebo dílců menších rozměrů vyzděné na maltu nebo jinou spojovací tenkovrstvou hmotu (*b*, *c*); celistvost zděné konstrukce je zajištěna skladbou kusových staviv (vazbou zdiva),

- *monolitické konstrukce:*
  konstrukce, jejichž jednotlivé části (*d*, *e*) vznikají přímo na stavbě a to zatuhnutím materiálu v připravené formě a tvoří tak s ostatními částmi konstrukce jednolitý (monolitický) celek; nejčastějším případem je betonová monolitická konstrukce vzniklá zatuhnutím betonové směsi v bednění (*f*),

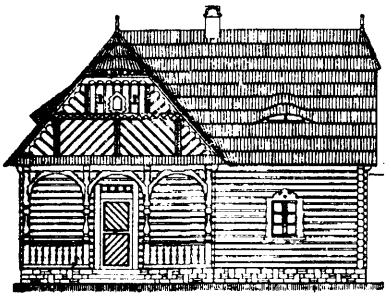
- *prefabrikované konstrukce*:
  konstrukce složené z předem vyrobených stavebních dílců (*g* - *l*) (prefabrikátů), které jsou vzájemně spojené (smontované) ve stycích (*m* - *n*).



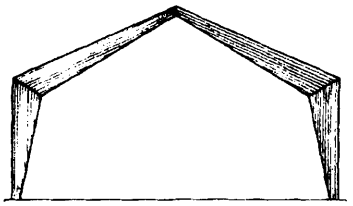
Většina konstrukcí a konstrukčních systémů v pozemních stavbách je však založena na kombinaci uvedených skupin materiálového a technologického třídění a mnohdy je nelze (**ani není nutné a účelné**) jednoznačně zařadit. Při popisu a zatřídění konstrukčního systému se nejčastěji vychází z materiálu konstrukce hlavních nosných prvků a technologie jejich zpracování na stavbě (např. železobetonová prefabrikovaná konstrukce; vyztužené zdivo z betonových dutinových tvárnic apod.).

■■ Dřevěné konstrukce

Výhody:
- přírodní materiál - obnovitelný surovinový zdroj - vhodný z hlediska ekologického stavění,
- estetické kvality,
- snadná zpracovatelnost a montáž konstrukce, jednoduché styky, možnost lepení prvků,
- možnost snadné demontáže a odstranění konstrukce a následné recyklace materiálu,
- výborné statické vlastnosti ve vztahu k malé hmotnosti prvků,
- malá objemová hmotnost, snadná doprava a manipulace, malé dopravní náklady,
- velká variabilita použití,
- dobré tepelně technické vlastnosti,
- snadná dostupnost (v určitém čase a místě).

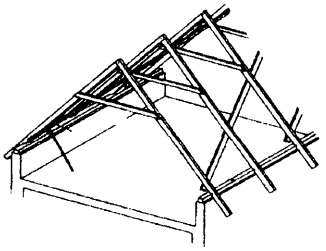


historické stavby - srubový objekt



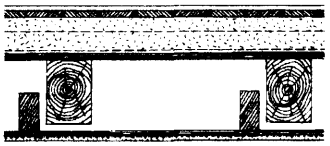
dřevěná konstrukce haly z lepených lamelových prvků

Nevýhody:
- malý modul pružnosti a z toho vyplývající značná deformabilita,
- omezená únosnost - nevhodné pro velká zatížení,
- hořlavost dřeva, omezení podlažnosti z požárních důvodů, potřeba protipožární ochrany,
- nasákavost, degradace dřeva v důsledku zvýšené vlhkosti,
- degradace dřeva stářím a v důsledku napadení biologickými a živočišnými škůdci (často v souvislosti se zvýšenou vlhkostí).



dřevěný krov

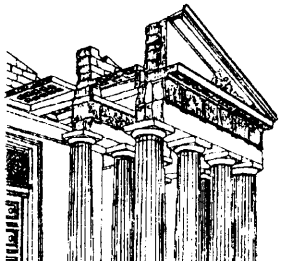
Použití:
- historické stavby, lidové stavby, stavby tradiční technologie: dřevěné trámové stropy, dřevěné krovy, podlahy
- v závislosti na dostupnosti suroviny: dřevěné stavby v některých částech světa značně rozšířeny (např. USA, Kanada, Skandinávie, některé rozvojové země),
- u nás: dřevěné konstrukce hal, sbíjené konstrukce zastřešení, krovy, chaty, rodinné domy, dřevěné stropy, okna, dveře apod.



dřevěný trámový strop

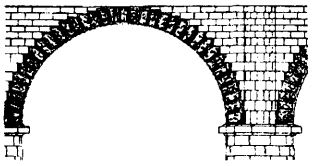
■■ Konstrukce z kamene

Výhody:
- přírodní materiál v určitých oblastech snadno dostupný,
- estetické kvality, velká životnost, trvanlivost, možnost recyklace
- velká pevnost v tlaku,
- velká tepelná jímavost materiálu (akumulace),
- nehořlavost materiálu,



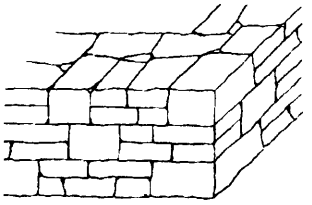
historické stavby

Nevýhody:
- neobnovitelná přírodní surovina,
- vysoká cena opracovaného kamene,
- vhodné pouze pro tlačené konstrukce,
- velká objemová hmotnost, velké dopravní náklady, velká pracnost, větší nároky na manipulaci na staveništi,
- malý tepelný odpor,
- omezení výstavby v zimním období.



kamenná klenba

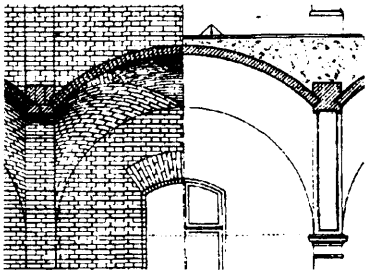
Použití:
- historické stavby, lidové stavby,
- dříve: klenby, kamenné stěny, opěrné stěny, schodiště,
- nyní: kamenné obklady a dlažby u reprezentativních budov,
- kámen je základní složkou betonu a základní surovinou pro výrobu cementu a vápna



kamenné zdivo

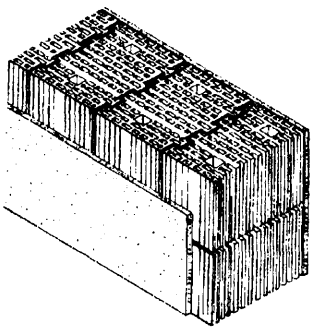
■■ Konstrukce z keramických materiálů

Výhody:
- materiál na bázi přírodních surovin,
- základní keramické stavební prvky jsou menších rozměrů (cihly, tvárnice, keramické stropní vložky apod.); z toho vyplývá vysoká variabilita návrhu konstrukce,
- jednoduchá výstavba, snadná zpracovatelnost, malé nároky na těžkou stavební mechanizaci,
- variabilita povrchových úprav, snadné omítání,
- menší objemová hmotnost než u betonu a kamene, menší dopravní náklady, menší nároky na manipulaci na staveništi,
- dobré tepelně technické vlastnosti: větší tepelný odpor v závislosti na vylehčení keramiky dutinami,
- nehořlavost, velká odolnost proti ohni, některé keramické materiály jsou vhodné i pro konstrukce vystavené velkému žáru,
- dobrá únosnost v tlaku,
- malá teplotní roztažnost → větší velikost dilatačních úseků.



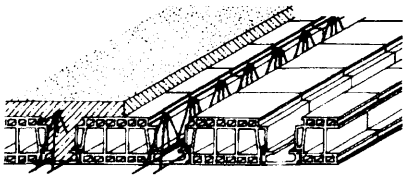
cihelné stavby, cihelné klenby

Nevýhody:
- značná spotřeba energie při výrobě (vypalování), vliv na ŽP
- velká pracnost zděných konstrukcí,
- minimální únosnost zdiva a vlastních keramických prvků v tahu,
- menší únosnost v tlaku → omezení výšky staveb,
- omezení výstavby v zimním období.



zdivo z dutinových cihelných tvárnic

Použití:
- historické stavby; do pol. 20. stol. nejběžnější stavební materiál,
- nosné zdivo nižších objektů,
- nenosné svislé konstrukce (příčky, obvodové pláště apod.),
- keramické tvarovky jako výplň železobetonových žebrových a kazetových stropů,
- keramické obklady a dlažby.

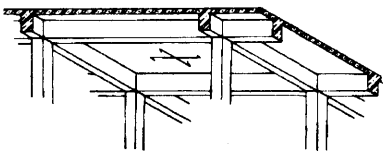


stropy s keramickými výplněmi

■■ Betonové konstrukce

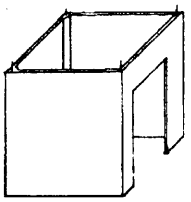
Výhody:

- materiál, jehož vlastnosti lze předem navrhnout vhodnou volbou poměru a kvality jednotlivých složek: vysokopevnostní beton, samozhutnitelný beton, lehčený beton
- možnost téměř libovolného tvarování konstrukcí, vysoká variabilita návrhu,
- velká pevnost v tlaku,
- možnost vyztužování betonu ocelí vzhledem k přibližně shodnému koeficientu teplotní roztažnosti → železobeton,
- možnost předpínání betonu → předpjatý beton,
- železobeton: velká pevnost v ohybu i tahu,
- nehořlavost, velká protipožární odolnost (beton do určité míry chrání výztužnou ocel před žárem,
- možnost realizace ve vlhkém prostředí event. přímo ve vodě,
- velká životnost a trvanlivost materiálu,
- velká tepelná jímavost materiálu (akumulace),
- monolitické konstrukce: možnost variabilního tvarování konstrukce přímo na stavbě, nižší dopravní náklady,
- prefabrikované konstrukce: rychlá výstavba, možnost montáže i v zimním období, menší staveništní pracnost.



monolitické železobetonové konstrukce

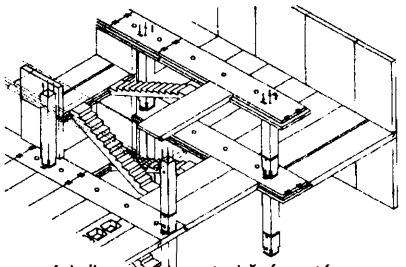
prefabrikované betonové a železobetonové dílce



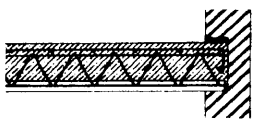
prostorová prefabrikace

Nevýhody:

- minimální tepelný odpor → nutnost tepelné izolace obvodových konstrukcí z betonu; nebezpečí vzniku tepelných mostů,
- reologické změny betonu → smršťování a dotvarování konstrukčních prvků,
- monolitické konstrukce: velká staveništní pracnost - pracné a nákladné bednění, nutné technologické přestávky, omezení výstavby v zimním období,
- prefabrikované konstrukce: velké dopravní náklady, potřeba těžké mechanizace pro dopravu i na staveništi,
- degradace povrchových vrstev betonu v důsledku karbonatace, koroze výztuže, nákladná sanace,
- technicky i ekonomicky náročná demontáž a demolice,
- nákladná (ale možná) recyklace materiálu.



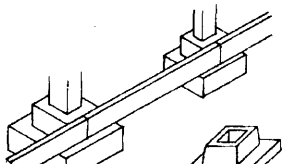
prefabrikované konstrukční systémy



spřažené prefa-monolitické konstrukce

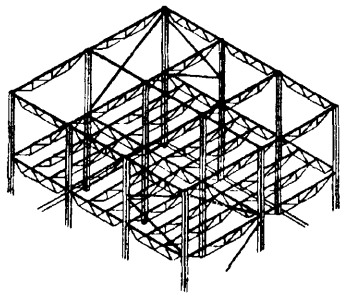
Použití:

- od počátku 20. století, v současné době nejrozšířenějším stavebním materiálem především pro nosné konstrukce,
- monolitické konstrukce: sloupové a stěnové systémy, železobetonové stropy, skořepiny, základy, opěrné stěny, schodiště,
- prefabrikované konstrukce: sloupové a stěnové systémy, stropní panely, schodišťové dílce, prostorová prefabrikace, předepnuté konstrukce,
- spřažené prefa-monolitické konstrukce,
- výškové stavby - nejvyšší železobetonová budova: Hong Kong - Central Plaza 374 m (1993).



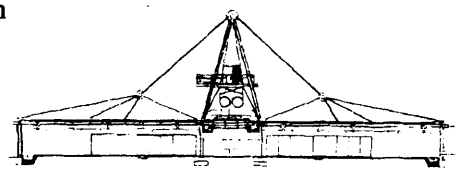
betonové základy

■■ Kovové konstrukce



ocelová skeletová konstrukce

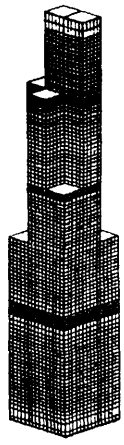
Výhody:
- rychlá montáž nevyžadující technologické přestávky,
- montáž lze realizovat v zimě i v nepříznivém počasí,
- prvky konstrukce jsou předem vyrobeny s velkou přesností,
- menší staveništní pracnost, menší dopravní náklady a nároky na manipulaci na staveništi,
- nehořlavý materiál,
- snadná a rychlá demontáž konstrukce, snadná recyklace,
- relativně malá vlastní tíha prvků vzhledem k jejich únosnosti,
- ocelové konstrukce: velká únosnost oceli v tahu, tlaku a ohybu při relativně malých průřezech prvků, možnost realizace velkých rozponů stropů, zastřešení a konstrukcí velkých výšek,
- litinové konstrukce: velká únosnost v tlaku, litina nekoroduje,
- možnost výhodné kombinace ocelových prvků s betonem (spřažené stropy ocelobetonové apod.).



ocelová konstrukce haly

Nevýhody:
- značná spotřeba energie při výrobě (tavení oceli), vliv na ŽP
- při vyšších teplotách ztráta pevnosti - nutná protipožární ochrana,
- ocel: koroduje - nutnost ochrany a údržby,
- náročnost na přesnost návrhu i realizace,
- v některých případech doprava rozměrných prvků.

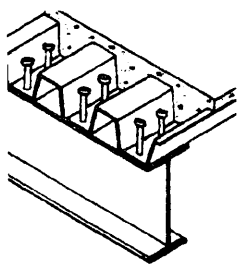
Použití:
- ocel: nosné konstrukce o velkých rozponech, zatíženích a výškách, běžné vícepodlažní budovy (ocelové skelety, ocelové vazníky, ocelové příhradové desky, tažené konstrukce zastřešení, ocelové stropy aj.),
- litina: 2.pol. 19. století, v současnosti se používá méně často,
- ostatní kovy: hliníkové konstrukce lehkých obvodových plášťů a oken, oplechování z pozinkovaného plechu, mědi apod.,
- nejvyšší budova na světě (ocel. konstr.): Petronas Towers 448 m,
- tažené konstrukce zastřešení o rozponech větších než 200 m.



Sears Tower - Chicago (441 m)
nejvyšší budova na světě do roku 1996

■■ Materiálově a technologicky kombinované konstrukce

Při návrhu konstrukčního systému je snaha o optimální využití vlastností konstrukčních materiálů. Proto se s výhodou využívá kombinace různých konstrukčních materiálů a prvků. Typickým příkladem je využití vysoké únosnosti oceli v tahu a betonu v tlaku. Běžný železobetonový průřez vychází z uvedeného principu - ocelová výztuž přenáší tah na tažené straně ohýbaného průřezu a beton přenáší tlak na tlačené straně. Ze stejného principu vychází i spřažená ocelobetonová stropní konstrukce, kde ocelový nosník a trapézový ocelový plech na spodní straně přenášejí tah a nabetonová deska přenáší tlak. Stejně se využívá kombinace dřevěných prvků a ocelových táhel u vazníků, kombinace zdiva s ocelovou výztuží apod.



spřažený ocelobetonový strop

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústřední knihovna fakulty stavební a fakulty architektury
166 29 Praha 6, Thákurova 7
IČO: 68407700

■ Stavebně konstrukční třídění

Z hlediska stavebně konstrukčního lze objekty pozemních staveb rozdělit do čtyř základních skupin:

- ***jedno a vícepodlažní konstrukce***: konstrukční systém je charakterizován především svislými nosnými konstrukcemi a jejich uspořádáním v souvislosti se zajištěním prostorové tuhosti, (sloupový systém, stěnový systém, kombinovaný systém apod.),

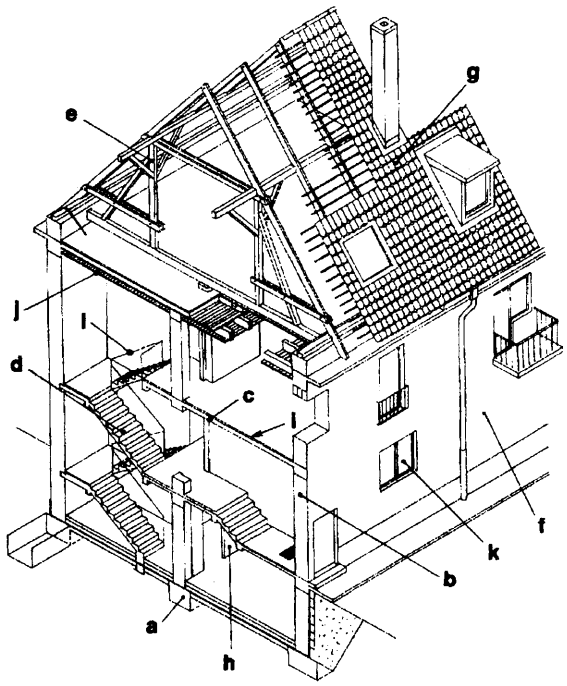
- ***halové a velkorozponové konstrukce***: konstrukční systém je charakterizován především vodorovnými konstrukcemi zastřešení, eventuálně zastropení na velký rozpon (tažené konstrukce, tlačené konstrukce, ohýbané konstrukce apod.),

- ***výškové konstrukce:*** konstrukční systém je vzhledem k velkému počtu podlaží charakterizován především způsobem zajištění prostorové tuhosti a stability; výška konstrukce vyžaduje některá speciální konstrukční řešení z hlediska statického, provozního, bezpečnostního, požárního, rozvodů TZB a technologie provedení,

- ***speciální konstrukce:*** např. *superkonstrukce* (dvoustupňový nosný systém skládající se z primárního nosného systému podporujícího sekundární nosný systém).

Konstrukční systémy objektů pozemních staveb lze rozdělit na jednotlivé subsystémy podle jejich primární funkce:

- ***Nosné konstrukce:***
  - základové konstrukce (*a*)
  - svislé nosné konstrukce (*b*)
  - stropní konstrukce (*c*)
  - schodiště (*d*)
  - nosné konstrukce zastřešení (*e*)
- ***Kompletační konstrukce - obalové a dělící*** *(primárně nenosné konstrukce):*
  - obvodové pláště (*f*)
  - střešní pláště (*g*)
  - příčky (*h*)
  - podlahy (*i*)
  - podhledy (*j*)
  - výplně otvorů (*k*)
  - doplňky: povrchové úpravy, zábradlí (*l*) aj.
- ***Konstrukce technického zařízení budovy:***
  - elektroinstalace
  - sanitární instalace (vodovod, kanalizace)
  - rozvod plynu
  - vytápění
  - vzduchotechnika
  - doplňky TZB
- ***Konstrukce funkčního a technologického vybavení:***
  - interiérové vybavení (včetně výrobního zařízení, zařízení pro skladování a dopravu)
  - exteriérové vybavení.



KONCEPCE NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB

B

Building Design Concept
Entwerfen von Hochbauten im Konzept

B1	**VÝVOJ KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB**	*Development of Building Design and Construction*	*Entwicklung der Hochbaukonstruktionen*
	■ Historie stavění	*History of Building Construction*	*Baukunstgeschichte*
	■ Vztah materiálového, konstrukčního a technologického řešení staveb	*Relation between Material, Structural and Technological Design Concepts*	*Verhältnis zwischen material-spezifischer, konstruktiver und technologischer Lösung der Bauten*
	■ Tendence a směry vývoje v pozemních stavbách	*Trend of Building Construction*	*Entwicklungstendenzen und -richtungen im Hochbau*
B2	**POŽADAVKY NA POZEMNÍ STAVBY**	*Requirements Relating to Building Construction*	*Anforderungen an Hochbauten*
	■ Architektonické požadavky	*Architectural Requirements*	*Architektonische Anforderungen*
	■ Obecné požadavky na bezpečnost a užitné vlastnosti staveb	*General Requirements on Safety and Building Performance*	*Allgemaine Anforderungen an Sicherheit und Nutzung*
	■ Odolnost konstrukce vůči vnějším vlivům	*Resistance against Climatic Effects*	*Widerstandsfähigkeit der Konstruktion gegen Ausseneinflüsse*
	■ Požadavky na pohodu a hygienu vnitřního prostředí	*Indoor Environment Requirements*	*Anforderungen an Behaglichkeit und Hygiene*
	■ Technologické požadavky	*Technology Requirements*	*Technologische Anforderungen*
	■ Ekologické požadavky	*Environmental Requirements*	*Ökologische Anforderungen*
	■ Ekonomické požadavky	*Economical Requirements*	*Wirtschaftliche Anforderungen*
B3	**KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY**	*Building Materials*	*Baustoffe*
	■ Fyzikální vlastnosti konstr.materiálů	*Physical Properties of Materials*	*Physikalische Eigenschaften der Baustoffe*
	■ Chemické vlastnosti konstr.materiálů	*Chemical Properties of Materials*	*Chemische Eigenschaften der Baustoffe*
	■ Ekonomické a technologické charakteristiky	*Economical and Technological Criteria*	*Wirtschaftliche und technologische Charakteristiken*
	■ Ekologická kritéria	*Environmental Criteria*	*Ökologische Kriterien*
B4	**KONSTRUKČNÍ NÁVRH**	*Structural Design*	*Konstruktives Entwerfen*
	■ Systémový model objektu	*System Model of Building*	*Systemmodel des Objektes*
	■ Technika projektování	*Design Techniques*	*Technische Mittel für Entwurf*
	■ Principy konstrukčního návrhu	*Principles of Structural Design*	*Prinzipien des konstruktiven Entwurfs*
B5	**ŽIVOTNOST STAVEB, MODERNIZACE, REKONSTRUKCE**	*Service Life of Buildings, Modernization, Reconstruction*	*Lebensdauer, Modernisierung, Umbauten*
	■ Vliv času na budovy a stavební konstrukce	*Time Effect on Buildings and Structures*	*Zeitfaktor für Gebäude und Baukonstruktionen*
	■ Životnost budovy a stavebních konstrukcí	*Durability of Building and Structures*	*Lebensdauer von Gebäuden und von Baukonstruktionen*
	■ Životnost prvků v provozním stádiu budovy	*Service Life of Elements during the Service of Building*	*Nutzungslebensdauer der Bauelemente*
	■ Údržba a opravy	*Maintenance and Repairs*	*Unterhalt und Reparaturen*
	■ Modernizace a rekonstrukce	*Modenization and Reconstruction*	*Modernisierung und Umbaute*
	■ Adaptace	*Adaptation*	*Adaptation*
B6	**PROCES NÁVRHU A REALIZACE STAVEBNÍHO DÍLA**	*Design and Construction Process*	*Entwurfs- und Ausführungsprozess des Bauwerks*
	■ Hlavní účastníci procesu výstavby	*Participants in Construction Process*	*Hauptteilnehmer im Ausbauprozes*
	■ Fáze procesu výstavby	*Stages of Construction Process*	*Etappen des Ausbauprozesses*

Autoři: Brabec V. (B5 část), Červenka J. (B4 část), Hájek P. (B1, B3, B4, B5 část), Pavlíková M. (B2, B6)

VÝVOJ KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB B1

Development of Building Design and Construction
Entwicklung der Hochbaukonstruktionen

■ Historie stavění

Vývoj stavění je součástí vývoje techniky a tím společenského vývoje lidstva. Vazba na společenský vývoj je dána existenčními potřebami, které člověk zajišťoval ve všech vývojových etapách na úrovních odpovídajících tehdejším technickým možnostem. Základní potřeby lidí ovlivňující bezprostředně vývoj konstrukcí staveb jsou bydlení, obživa, kultura a hygiena. Proto v průběhu celého vývoje civilizace vznikaly stavby obytné (chýše, paláce, obytné domy aj.), kulturní stavby (chrámy, kostely, divadla aj.), výrobní stavby (pro průmysl a zemědělství), sportovní stavby a další typy pozemních staveb.

Vývoj konstrukcí pozemních staveb je tedy *ovlivněn vývojem techniky a společnosti.* Rozhodující pro úroveň konstruování pozemních staveb jsou především čtyři složky vývoje:

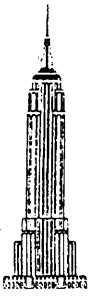
- *vývoj materiálové základny,*
- *vývoj architektury,*
- *vývoj techniky konstrukčního návrhu,*
- *vývoj technologie výstavby.*

Uvedené složky existují ve vztahu vzájemné *interakce* tzn., že se neustále vzájemně ovlivňují. Aktuální stav vývoje vytváří výchozí bázi pro úroveň konstruování pozemních staveb v daném období. Je zřejmé, že bez některého z vynálezů (např. výroba oceli, vynález železobetonu) by se vývoj konstrukčního řešení pozemních staveb, technologie výstavby i architektury musel ubírat jiným směrem. Poznání o statickém působení konstrukce umožnil vylehčení gotických katedrál a jejich realizaci do velkých výšek, čímž byl zásadně ovlivněn charakter tehdejší architektury. Ekonomické podmínky (vysoká cena pozemků v centrech amerických velkoměst) byly jedním z určujících motivů výstavby výškových staveb, které na jedné straně aktivizovaly techniku návrhu a technologii výstavby až k hranicím stávajících možností a na druhé straně zásadně ovlivnily architekturu amerických velkoměst. Největší výšky objektů, ale i největší rozpony hal jsou limitovány možnostmi materiálně technické základny používané v daném období. Podobných příkladů vzájemné interakce lze nalézt velké množství. Zamyšlení se nad chronologickým přehledem (viz dále) umožní vytvoření vlastní představy o významu určitých objevů a vynálezů na vývoj konstrukcí pozemních staveb.

Vývoj techniky konstrukcí pozemních staveb začíná v období, kdy se člověk usazuje a přechází na zemědělství a chovatelství a začíná stavět stavby pro bydlení a hospodářství. První konstrukce staveb vycházejí z *místních přírodních surovin* - dřeva, hlíny, rákosu, kamenů; technologie jejich výstavby je jednoduchá, nevyžadující speciální nástroje. Význačné sakrální, pohřební a palácové stavby se začínají stavět ze sušených cihel (3000 př.n.l.), později z cihel pálených (2000 př.n.l.) a opracovaných kamenů (pyramidy v Egyptě). *Zděná technologie staveb z cihel a kamenů* byla společně s dřevěnými konstrukcemi až do poloviny 18. stol. jediným a až do začátku 20. stol. nejvíce používaným způsobem stavění. Rozvoj technologie *zpracování železa* umožnil od 19. stol. jeho uplatnění i v konstrukcích pozemních staveb. Rozhodujícím mezníkem byl *vynález železobetonu* a jeho používání od konce 19. stol. Železobeton se postupně stal nejrozšířenějším konstrukčním materiálem pro nosné konstrukce vícepodlažních objektů. Výstavba výškových objektů a velkorozponových halových objektů byla umožněna především vzhledem k využití vysoké pevnosti oceli. 20. století je charakterizováno *vývojem nových materiálů* nejenom na bázi plastů (PVC, polystyren, polypropylen aj.), ale i na bázi známých materiálů jako je beton (vysokopevnostní betony, samozhutnitelné betony aj.), kovy (hliníkové a další slitiny kovů), dřevo (lepené lamelové prvky, aglomerované dřevo). Nové materiály umožňují odlehčení konstrukcí, důslednější oddělení nosné konstrukce od konstrukcí ostatních a uplatnění průmyslové výroby dílů staveb i celých konstrukčních systémů.

■■ Chronologický přehled rozhodujících objevů a vývojových mezníků

3000	3000	Mezopotámie	- zakládána první opevněná města, velké stavby ze sušených cihel, stavby z rákosu a hlíny
př.n.l.	2900	Evropa	- kamenné stavby megalitických kultur
	2893	Indie	- vápenná malta ke zdění cihel
	2750	Mezopotámie	- nádrže na uchovávání vody v átriových domech
	2650	Egypt	- velké pyramidy z dokonale opracovaných kamenných kvádrů
	2600	Mezopotámie	- domovní i městský kanalizační a vodovodní systém
			- valená klenba, nepravá kopule z ustupujících řad cihel
	2550	Egypt	- kamenné sloupy montované z jednotlivých bubnů
2000	2000	Mezopotámie	- Sumerové používají pálených a glazovaných cihel
př.n.l.	1510	Indové a Chetité	- znalost hutnictví železa
	1400	Arménie	- příprava "uhlíkové" lité oceli ze surového železa
	1200	Chetité	- horkovzdušné vytápění
1000	750	Théby	- 4-5-ti podlažní zděné obytné domy s kupulovitou střechou a trámovými stropy
př.n.l.	700	Mezopotámie,Řím	- výstavba viaduktů (mostů) a akvaduktů (vodovodů)
	640	Řecko - Olympie	- první stavba s krytinou z pálených cihelných tašek
	610	Řím	- kanalizace v Římě byla napojena na centrální stoku
	650	Řecko	- řecké kamenné chrámy, architrávový systém
	323	Řím	- princip zaklenutí kopule
	150	Řím	- hydraulická malta z vypáleného vápna a cementu (vynález cementu)
			- lité zdivo do dřevěného bednění z kameniva a hydraulické malty - předchůdce betonu
1 n.l.	1-100	Řím	- sklo pro okenní tabulky, vodovod z olověných trubek, princip křížové klenby, klenba z betonu
	216	Řím	- teplovodní ústřední vytápění - Caracallovy lázně
	250	Čína	- visuté mosty ze železa
1000	1150	Francie	- gotický skeletový systém chrámů s opěrným systémem
	1330	Francie	- okenní tabulky z "točeného" plochého skla
	1678	R. Hooke	- Hookeův zákon
	1687	E. Weigel	- princip osobního výtahu s protizávažím
1700	1711	J.J. Partels	- vynález ventilace místností pomocí ventilátorů
	1728	Anglie	- válcování železného plechu
	1785	Anglie	- poprvé použito osvětlení svítiplynem
	1741	Anglie	- most ve Winchy - první řetězový most v Evropě
	1754	Anglie	- válcování profilového železa
	1765	L. Euler	- definice momentu setrvačnosti
	1779	Anglie	- most u Coalbrookdale - první železný (litinový) most na světě
	1786	W. Watson	- vynález nerezavějícího pozinkovaného plechu
	1796	J. Parker	- znovuobjevení cementu
1800	1801	Anglie	- litina jako konstrukční materiál v pozemních stavbách
	1803	Francie - Paříž	- most Pont du Louvre - první železný most podložený přesným statickým výpočtem
	1807	T.Young	- definice modulu pružnosti
	1824	J. Aspdin	- vyvinut portlandský cement
	1828	R. Walker	- vynález vlnitého plechu
	1849	J. Monier	- vynález vyztužování betonu železným drátem - vynález železobetonu
	1850	V.Brit.-Londýn	- Crystal Palace - výstavní pavilon ze železného skeletu a skla
	1857	USA - New York	- první osobní výtah na světě poháněný parním strojem
	1879	Edison, Swan	- vynález elektrické žárovky
	1883	USA - Chicago	- první mrakodrap s ocelovým skeletem - sedmnáctipodlažní Monadnock Building (60 m)
	1885	Praha	- tlakový vodovod v Praze
	1886	W. Döhring	- vynález předpjatého betonu
	1889	Francie - Paříž	- ocelová konstrukce Eiffelovy věže (300 m)
	1890	Praha	- městská podzemní kanalizace v Praze
	1891	Praha	- Petřínská rozhledna (60 m), Průmyslový palác - ocelové konstrukce
	1892	F. Hennebique	- první několikaposchoďová budova ze železobetonu
	1899	F. Hennebique	- první velká stavba ze železobetonu - most Pont de Châtellerault
1900	1900	E. Fouché	- vynález autogenního svařování železa
	1901	V. Británie	- patentován betonový panelový systém, realizace v Liverpoolu 1904
	1912	Praha	- železobetonový skelet paláce Lucerna
	1919	Německo	- založen Bauhaus - avantgardní architekt. a um.prům. škola: W.Gropius, M. van der Rohe aj.
	1922	W.Banersfeld,F.Dischinger	- vyvinutí železobetonové skořepinové konstrukce
	1924	Německo	- počátek průmyslové výroby umělých hmot
	1926	W. Gropius	- realizace rodinných domů v Dessau - příčný panelový systém
	1930	USA	- počátek průmyslové výroby skelných vláken
	1931	USA - New York	- Empire State Building (381 m + 68 m anténa) - ocelový skelet
	1935	Německo	- zdokonalení a zavedení průmyslové výroby PVC
	1944	USA	- první výkonný digitální počítač MARK I (reléový)
	1950	Německo	- výroba polystyrenu
	1952	USA - New York	- Lever House - nový typ výškového objektu z oceli a zavěšených skleněných fasád
	1952	Le Corbusier	- obytný dům v Marseille pro 1600 obyv.s celým občanským vybavením- železobetonový monolit
	1961	Německo	- nafukovací přetlaková hala z lehké nylonové tkaniny (60 m dlouhá)
	1966	USA - New York	- World Trade Center (412 m) - ocelová konstrukce
	1971	USA	- první kapesní počítač s mikročipem (Texas Instruments)
	1972	Německo - Mnichov	- olympijský areál - tažená lanová konstrukce s polyesterovým pletivem a fólií PVC
	1973	USA	- solární rodinný dům v Delaware - 80% energie kryto sluneční energií
	1973	USA, Evropa	- prostorová prefabrikace - objekty sestavované z kompletizovaných prostorových jednotek
	1974	USA - Chicago	- Sears Tower (441 m) - do roku 1996 nejvyšší budova na světě - ocelová konstrukce
	1993	Hong Kong	- Central Plaza (374 m) - nejvyšší budova ze železobetonu
	1996	Kuala Lumpur	- Petronas Towers (448 m) - nejvyšší budova na světě - ocelová konstrukce



■ Vztah materiálového, konstrukčního a technologického řešení staveb

Z historického vývoje je zřejmý bezprostřední vztah materiálového, konstrukčního a technologického řešení staveb v jednotlivých vývojových etapách.

■■ Tendence zprůmyslnění výstavby

Až do začátku 20. stol. dominovalo využívání tradičních hmotných materiálů. Realizace lehčích ocelových staveb v 19. stol. byly ojedinělé a v případech pozemních staveb byly často z důvodů architektonických oplášťovány těžkými kamennými obklady. Teprve s rozvojem nového architektonického myšlení v první polovině 20. stol. (Le Corbusier, Bauhaus:W. Gropius a Mies van der Rohe, F. L. Wright aj.) se začalo uplatňovat větší odlehčení staveb, nové materiály a konstrukce a orientace na průmyslovou výrobu dílců a staveb. Používá se více oceli, skla, později lehkých slitin kovů a plastů.

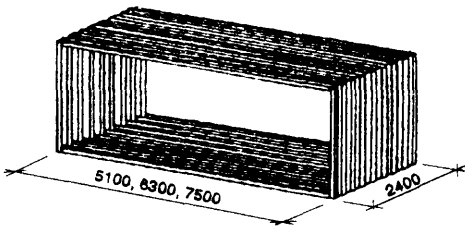
Myšlenky *zprůmyslnění výstavby* pozemních staveb se začaly v praxi výrazněji uplatňovat od 50-tých let (*ovlivňujícím* faktorem byl i poválečný stav v Evropě vyžadující rychlou výstavbu velkého množství bytů). Snaha o komplexní zprůmyslnění výstavby bytových objektů a nedostatečně rozvinutá lehká materiálově technická základna vedly k orientaci především na nosné konstrukce na silikátové bázi (rozvoj železobetonových prefabrikovaných panelových systémů). S konceptem průmyslové výroby staveb tzn. koncentrace výroby dílů do výroben je spojena otázka dopravních nákladů, které se výrazně zvyšují s rostoucí vzdáleností staveniště od výrobny a zároveň jsou závislé na hmotnosti a velikosti přepravovaných dílců. Z toho vyplývá, že železobetonové prefabrikované prvky s velkou hmotností jsou značně zatíženy dopravními náklady. Technické problémy v realizovaných panelových stavbách, vysoké dopravní náklady a poznání, že značná míra uniformity spojená s tehdejším pojetím průmyslové výroby staveb má širší dopady na sociální strukturu sídlišť vedly po 70-tých letech ve většině vyspělých států k určitému odklonu od tohoto způsobu výstavby. Vývoj se naopak soustředil na důslednější uplatnění prefabrikace kompletačních konstrukcí (okna, dveře, příčky, podhledy, střešní pláště, obvodové pláště aj.), systémů technického a technologického vybavení. S tím byla spojena snaha o maximální omezení mokrých procesů a důslednější uplatnění montážní technologie. Zároveň se rozvíjely nové technologie v oblasti zděných i monolitických betonových konstrukcích zrychlující výstavbu a snižující staveništní pracnost. Prefabrikace se orientovala na výrobu velmi přesných prvků s vynikající kvalitou povrchových úprav. Zároveň se výrazně rozvíjejí kombinované technologie prefa-monolitické.

■■ Materiálová náročnost staveb, recyklace materiálu

V období začátku našeho letopočtu (narození Krista) bylo na Zemi cca 150 miliónů lidí, kolem roku 1800 cca 1 miliarda, v současné době je na Zemi cca 6.5 miliardy lidí. Je zřejmé, že zdroje pro existenci lidí na Zemi jsou omezené zvláště v kontextu se zvyšujícím se počtem lidí a jejich zvyšujícími se nároky na zajištění jejich potřeb (jejichž součástí je bydlení, práce, kultura, sport aj.). Proto je v současné době kladen veliký důraz (***a v budoucnosti musí být kladen ještě větší důraz***) na snižování materiálové náročnosti staveb a zajištění návratnosti použitých materiálů formou jejich *recyklace*.

Z hlediska možností snadné, rychlé (a energeticky méně náročné) recyklace materiálu je uplatnění některých průmyslových technologií výroby staveb s použitím lehkých a vysoceúčinných materiálů (ocel, kovové slitiny, plasty, vysoce účinné izolace aj.) velmi perspektivní orientací a snad i jedním z možných řešení tohoto globálního problému. Principy průmyslově vyráběných kompletizovaných prostorových jednotek na bázi kovů, plastů a skla (na principu výroby aut automobilovým průmyslem) dosud pro jisté nevýhody masově neprorazily (vysoké dopravní náklady, extrémní náročnost na kompletizaci ve výrobně, nízká míra individuality výsledného řešení interiérů a celých objektů aj.).

Přesto se objevují neustále nové a nové teoretické práce na toto téma a byla realizována řada experimentálních staveb. Příkladem jsou prostorové jednotky z tvarovaných plechů realizované experimentálně v zahraničí, ale i u nás. Snad jediným systémem založeným na uvedeném principu, který dosáhl masového měřítka je výroba mobilních rodinných domků v USA Mobil Home. Nutno ovšem poznamenat, že představují sociální bydlení pro chudší vrstvy a zatím v rámci tohoto nebo podobných konstrukčních systémů se nepodařilo dosáhnout kvalitativního standardu srovnatelného s tradiční výstavbou.



prostorová jednotka z profilovaných plechů
FSv ČVUT

■■ Současnost

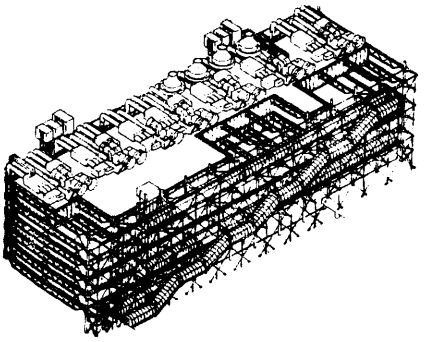
V současnosti konstruování pozemních staveb vychází ze dvou základních materiálově technických základen:

- *silikátová materiálově technická základna* - hmotné materiály (silikátové materiály - cihly, beton), tradiční technologie výstavby (zdění, monolitické konstrukce), ale i prefabrikace z hmotných železobetonových prvků,
- *lehká materiálově technická základna* - lehké materiály a konstrukce (ocel, lehké slitiny kovů, sklo, plasty), převládá průmyslová výroba dílů a montážní technologie výstavby.

Nosné konstrukce: V oblasti nosných konstrukcí vícepodlažních objektů stále převládá silikátová materiálově technická základna. U nízkých objektů (jedno a dvoupodlažních) převládá v některých oblastech (USA, Kanada, Skandinávie aj.) používání nosných konstrukcí na bázi dřeva. Pro vícepodlažní objekty dominuje použití železobetonu v kombinaci se zdivem u nižších objektů. Poslední období je ve znamení většího uplatnění kombinovaných prefa-monolitických technologií využívajících výhod prefabrikovaných konstrukcí ve formě lehkých prefabrikátů (pracnost spojená s vyztužováním přenesená do výroben, není potřeba bednění aj.) a výhod monolitických konstrukcí (menší dopravní náklady, větší variabilita návrhu). Zároveň je větší uplatnění ocelových a spřažených ocelobetonových konstrukcí.

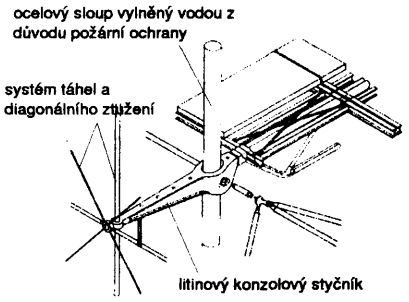
Kompletační konstrukce, technické, funkční a technologické vybavení: V posledním období jasně převládá orientace na uplatnění lehkých materiálů a konstrukcí, maximálně kompletizovaných ve výrobně a montovaných na stavbě (lehké kostrové příčky, sádrokartonové obklady podhledů a stěn, montované skladby podlah aj.). V této oblasti průmyslová výroba umožnila podstatné zkrácení realizace a vzhledem k rostoucí ceně pracovní síly ve vyspělých státech i snížení nákladů. Vzhledem k lehkému charakteru konstrukcí není jejich cena podstatně zatížena dopravními náklady a tak lze jejich výrobu koncentrovat do velkých výroben a využít tak všech výhod hromadné průmyslové výroby.

Od konce 70-tých let se začínají objevovat i stavby, které jsou z hlediska architektonické klasifikace označovány jako High Tech. Princip je založen na dokonalém zvládnutí konstrukce a detailu vycházejících z jejich jasného konstrukčního působení. Využívá se vysoce účinných materiálů (ocelí, plastů, skla, izolací) a detailů navržených tak, aby v maximální míře efektivně splňovaly požadavky na konstrukci. Vlastní výstavba má charakter montáže z prefabrikovaných prvků s vysokou mírou kompletizace. Často návrhy detailů vycházejí ze strojařských principů. Uvedený přístup je v podstatě velmi blízký principům maximálního zprůmyslnění konstrukcí,



Centre Georges Pompidou - Paříž 1977
autoři: R.Rogers, Piano

zefektivnění a vylehčení. Zásadní rozdíl je v tom, že klasický princip zprůmyslnění vychází z požadavku maximálního snížení nákladů na konstrukci prostřednictvím průmyslové výroby. Stavby typu High Tech jsou naopak velmi nákladné právě v důsledku použití drahých vysoce účinných materiálů a technologií. Z hlediska vývoje technologií i techniky návrhu má však přístup High Tech obrovský význam a pomáhá prorazit cestu k alternativě průmyslové výroby staveb s minimalizovanými materiálovými vstupy a možností snadné recyklace.



Centre Georges Pompidou - detail styčníku

Z přehledu vývoje je zřejmé, že stavitelství si udrželo mnoho původních *tradičních konstrukcí* (zdivo z cihel na maltu, lité konstrukce do bednění) i *tradičních technologií* (např. zděná technologie se ve své podstatě příliš nezměnila od dob jejího vzniku cca 3000 př.n.l.). Změny ve způsobu stavění se začaly více uplatňovat až během posledního století. Přesto zůstává vývoj stavění co do technologické stránky opožděn za rozvojem průmyslu. Stále převládá značný rozsah manuální, málo produktivní práce, stále se využívá značné množství hmotného materiálu, stále je pro stavby pozemního stavitelství charakteristický nesoulad mezi fyzickou a morální životností.

■ Tendence a směry vývoje v pozemních stavbách

Živelný rozvoj techniky v uplynulých dvou stoletích byl spojen (i) s devastujícím čerpáním neobnovitelných surovinových zdrojů, (ii) s eskalujícími objemy produkce škodlivých emisí (CO_2, SO_2, NO_x apod.) a (iii) s narůstajícím množstvím odpadů (průmyslových i komunálních).

Je zřejmé, že **zdroje pro existenci na Zemi jsou** v souvislosti s rychle narůstajícím počtem obyvatel a s jejich zvyšujícími se nároky **omezené**. Limitovaná je schopnost regenerace obnovitelných zdrojů, **neobnovitelné zdroje jsou nenávratně vyčerpatelné**. Je třeba hledat cesty jak zajistit při minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí dostatečné množství zdrojů pro kvalitní existenci lidí při zvyšujících se nárocích na její standard a při současném rychle se zvyšujícím počtu obyvatel na Zemi (= zajištění trvale udržitelného rozvoje). S nárůstem počtu obyvatel souvisí i zvětšující se objemy komunálních a průmyslových odpadů. Z principu sebezáchovy lidské existence vyplývá bezpodmínečná nutnost snižování materiálové a energetické náročnosti a zajišťování návratnosti použitých materiálů formou jejich recyklace. Negativní vliv techniky na životní prostředí lze shrnout do následujících bodů:

- *vyčerpávání neobnovitelných zdrojů*,
- rychlejší *vyčerpávání obnovitelných zdrojů* než je schopnost jejich regenerace,
- znečištění a zamoření škodlivými *emisemi a odpady*,
- přímé *negativní působení techniky* na okolí (hluk, otřesy, tepelná energie, odéry, aj.),
- ovlivnění přirozených funkcí *ochranných obalů Země* (vznik a zvětšování ozónové díry a změny startující v důsledku skleníkového efektu globální oteplení Země).

Uvedené vlivy vedou k ohrožení životního prostředí ve stávající formě, včetně existence lidské populace.

V roce 1987 byla ve zprávě Světové komise pro životní prostředí a rozvoj OSN (Brundtland Report) definována potřeba regulace technického i netechnického rozvoje s ohledem na budoucí generace:

TRVALE UDRŽITELNÝ ROZVOJ:

ROZVOJ, KTERÝ USPOKOJUJE POTŘEBY SOUČASNÉ GENERACE, ANIŽ BY OHROŽOVAL MOŽNOST DALŠÍCH GENERACÍ USPOKOJIT JEJICH VLASTNÍ POTŘEBY

■■ Význam stavebního průmyslu

Stavební průmysl a jeho produkty (stavby) představují v globálním měřítku rozhodující podíl v čerpání surovinových a energetických zdrojů. Stavebnictví uvádí do pohybu v porovnání s jinými odvětvími *největší materiálové toky*, přičemž se většinou jedná o suroviny.

Současný stav, kdy dochází ke značnému nárůstu množství průmyslových a komunálních odpadů, musí nutně vést ke hledání nových technologií umožňujících použití prvků z druhotných recyklovaných surovin, nahrazujících především neobnovitelné přírodní surovinové zdroje. Je třeba zdůraznit, že vedle běžně uváděných neobnovitelných surovinových zdrojů jako je uhlí, ropa, zemní plyn, železná ruda aj. patří do této kategorie i tradiční stavební materiály jako je kámen (štěrk, kamenivo do betonu), písek, vápenec (výroba vápna a cementu), cihlářská hlína (výroba cihelných prvků a keramiky) apod. Mnohé z posledně uvedených surovin byly donedávna (už nejsou?) považovány za nevyčerpatelné a odpovídajícím způsobem se s nimi zacházelo. Je zřejmé, že jejich používání nelze zcela zastavit, lze však nalézt taková technická a technologická řešení, která budou jejich spotřebu snižovat na nejnutnější možnou míru. Cestou k tomu je optimalizace spotřeby materiálů zahrnující ve větší míře využívání druhotných recyklovaných surovin nahrazujících přírodní surovinové zdroje.

■■ Obecné tendence a směry vývoje

Stavění bude v nejbližší budoucnosti pravděpodobně ovlivněno faktory vyplývajícími z obecného požadavku zajištění *trvale udržitelného rozvoje*:

- omezení energetických zdrojů a tím zvyšování cen energie v celosvětovém měřítku povede k dalšímu zvyšování požadavků na ***snižování celkové energetické náročnosti budov*** a to nejenom z hlediska jejich provozu (vytápění, klimatizace, teplá voda aj.), ale i z hlediska energetické náročnosti na realizaci stavby, údržbu stavby, demolici stavby a recyklaci materiálu,
- vzhledem k omezeným surovinovým zdrojům bude větší tlak na ***snižování materiálové náročnosti staveb*** a na využívání sekundárních zdrojů z recyklovaných surovin,
- mnohem přísněji se bude posuzovat případný ***vliv stavby na okolní prostředí***; s tím bude spojeno omezování škodlivých odpadů ze stavební činnosti i z provozu budovy,
- z důvodů omezených surovinových zdrojů a ochrany životního prostředí bude mnohem přísněji vyžadována ***recyklace stavebních materiálů*** z demolovaných staveb,
- budou se více prosazovat tendence ***ekologického stavění***, větší používání přírodních materiálů a materiálů zdravotně nezávadných,
- bude tendence k ***omezování používání plastů***, u kterých nebude zajištěna jejich recyklovatelnost,
- bude více uplatňována ***realizace staveb s řízenou životností*** tzn. se sladěnou životností fyzickou a morální,
- potřeba zajištění značného počtu bytů vzhledem ke stále rostoucí populaci v některých částech světa povede k ***vyššímu stupni zprůmyslnění stavebnictví,***
- bude převažovat ***tendence modernizací a rekonstrukcí*** morálně nebo fyzicky zastaralých tradičních staveb nad jejich demolicemi - důvody jsou v zachování lidského měřítka sídel, snižování materiálové náročnosti i snižování stavebních odpadů,

Některé z uvedených tendencí se již výrazněji uplatňují, některé budou vyžadovat vytvoření legislativních a ekonomických podmínek.

POŽADAVKY NA POZEMNÍ STAVBY

B2

Requirements on Buildings
Anforderungen an Hochbauten

Každá budova, každá stavba je umělým dílem člověka. Na jedné straně používá materiálů, jejichž základem jsou přírodní suroviny, je postavena v prostředí přírody, je její součástí, je ovlivňována a přímo determinována přírodními zákony (gravitace, pohyb atmosféry, teplotní změny, atd.), na druhé straně je výsledkem lidské tvůrčí činnosti, která zákonitě reaguje na společenské podmínky, na zákonitosti života a rozvoje společnosti, ve které vzniká.

Jejím prvotním, dá se říci společenským, posláním je vytvoření prostoru, ve kterém vznikne vhodné prostředí pro nerušený průběh životních nebo jiných provozních procesů. Tento prostor musí především plnit svou funkci - být bytem, školou, tělocvičnou, skladem, výrobní halou ,apod. a zaručovat určitý komfort při jeho využívání. Splnění tohoto základního poslání je možné pouze při respektování velkého množství vnějších i vnitřních vazeb a je o to komplikovanější, že tyto vazby nejsou konstantní v čase. Mění se stupeň poznání přírodních zákonů, míra znalostí o chování materiálů a výrobků v rozdílných podmínkách, vyvíjejí se i nároky uživatelů na kvantitativní i kvalitativní parametry nově vytvářeného prostředí.

Tyto všechny aspekty je třeba brát v úvahu při stanovení souhrnu všech požadavků, kladených na pozemní stavby. Pouze na základě respektování těchto požadavků lze provést výběr stavebních materiálů, prvků a konstrukcí, jejich uspořádání do životaschopného celku, zakomponování tohoto celku do krajiny při současné vazbě na odpovídající technologii výroby a ekonomické možnosti.

Nelze rovněž obejít fakt, že řada požadavků si vzájemně protiřečí, a proto je třeba hledat vždy pokud možno optimální míru jejich splnění.

Většinu z požadavků lze vyjádřit pomocí určitých konkrétních jevů, jejich vlastností a parametrů, pro které jsou mezní hodnoty a způsob jejich stanovení v dané době normativně určeny. Tyto parametry a jejich způsob stanovování se rovněž vyvíjejí spolu s rozvojem schopností poznat jejich podstatu a matematicky ji popsat. Podobně je tomu také s úrovní normativně stanovených hodnot těchto parametrů.

Specifickou skupinu, kterou tvoří nejzákladnější požadavky mající obecnou platnost - požadavky veřejného zájmu - v sobě zahrnuje legislativní dokument: *Vyhláška o obecných technických požadavcích na výstavbu (OTP)*. Ustanovení této vyhlášky se týkají základních požadavků na *územně-technická* a *stavebně-technická* řešení staveb a jejich vnitřního prostředí, které jsou vyjádřené požadavky na užitné vlastnosti. V souladu s OTP se stavby navrhují, provádějí, upravují, užívají a udržují se zřetelem na stanovený účel využívání a se zřetelem na požadavky na ochranu zájmů společnosti i chráněných zájmů organizací a občanů tak, aby spoluvytvářely zdravé, bezpečné a kulturní prostředí. Vyhláška je přímo svázána se Stavebním zákonem, který na vyhlášku ve svých ustanoveních odkazuje a požaduje, aby byla uplatňována orgány státní správy a stavebními úřady při legislativních úkonech (schvalovacím řízení) - viz B6. Vyhláška tedy představuje ucelený nástroj pro investory, projektanty i orgány státní správy, který shrnuje základní požadavky na pozemní stavby, které byly dříve specifikovány v rozsáhlé soustavě státních a oborových norem.

Technické normy jsou souhrny ustanovení, které předepisují určité technické vlastnosti a parametry nebo technologické postupy opakovaných konstrukčních řešení za účelem zajištění jejich jakosti a bezpečnosti. *České technické normy - ČSN* se řídí zákonem 142/1991 Sb., který nabyl účinnosti 15. Května 1991. Normy vydávané po tomto datu mají vyznačeny ty části, které jsou pro všechny osoby

oprávněné k podnikatelské činnosti a orgány státní správy závazné. Závaznost norem vydávaných před tímto termínem je zveřejněna prostřednictvím Českého normalizačního institutu (ČSNI).
Ztráta závaznosti ČSN neznamená ztrátu jejich platnosti. Požadavek klienta (investora) na jejich dodržování ale musí být smluvně zakotven.

V rámci mezinárodního úsilí o sjednocení technických předpisů dochází v současné době k postupné *harmonizaci norem* různých států sdružených v celosvětové Federaci národních normalizačních orgánů ISO. Česká republika je přidruženým členem Evropského výboru pro normalizaci (CEN), která postupně od r. 1980 soustavu evropských norem zpracovává. Jejich základním princip je dvoustupňový. Sestává jednak ze systému zásad, které mají být bezpodmínečně dodrženy, a aplikačních pravidel, která dávají osvědčený návod, jak zásadám vyhovět, ale nevylučují jiné postupy.
Základem sjednocení na poli technických předpisů pro stavebnictví je Směrnice Rady Evropských Společenství č. 89/106 o stavebních výrobcích, která je nástrojem právní regulace trhu se stavebními výrobky. Směrnice stanovuje 6 základních požadavků na stavební výrobky, které mají plnit při běžné údržbě objektů a jejich částí v ekonomicky přiměřeném časovém úseku.
V České republice je tato směrnice promítnuta do výše zmíněné vyhlášky č.137/1998 Sb. O obecných technických požadavcích na výstavbu (OTP) - viz kap. B2, část 2: Obecné požadavky na bezpečnost a užitné vlastnosti staveb.
Pro stavební materiály a výrobky se požadavky Směrnice uplatňují v Zákoně č.22/1997 O technických požadavcích na výrobky, který zavazuje výrobce, dovozce a distributory pořizovat technickou dokumentaci výrobků, zajistit systém jakosti jejich výroby, zajistit posouzení shody výrobku s technickými požadavky stanoveným postupem (jedním z nich je tzv. certifikace) a vydat o tom písemné prohlášení.

V oblasti navrhování konstrukcí pozemních staveb je postupně vydávána soustava harmonizovaných normativních dokumentů označovaná pracovně *Eurokódy (EC)*, které slouží v jednotlivých státech jako předběžné normy (ENV). Po jejich ověření a případném zdokonalení se stanou Evropskými normami (EN). Celkem je zpracováváno 9 oddělených Eurokódů pro zásady navrhování a zatížení konstrukcí, navrhování zděných, betonových, ocelových, ocelobetonových, dřevěných, hliníkových a geotechnických konstrukcí a navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení.

Přehled požadavků

- ***Architektonické požadavky***
  - Urbanistické požadavky
  - Provozní požadavky
  - Estetické požadavky
- ***Obecné požadavky na bezpečnost a užitné vlastnosti staveb***
  - Základní požadavky
    - mechanická odolnost a stabilita
    - požární bezpečnost
    - ochrana zdravých životních podmínek a životního prostředí
    - ochrana proti hluku a vibracím
    - bezpečnost při užívání
    - úspora energie a ochrana tepla
  - Požadavky na stavební konstrukce a technická zařízení budov
  - Zvláštní požadavky pro vybrané druhy staveb
- ***Odolnost konstrukcí vůči vnějším vlivům***
- ***Požadavky na pohodu vnitřního prostředí***
- ***Technologické požadavky***
- ***Ekologické požadavky***
- ***Ekonomické požadavky***

■ Architektonické požadavky

■■ Urbanistické požadavky

Stanovují nároky na organizaci území, která musí především zabezpečovat trvalý soulad všech přírodních a civilizačních prvků a vytvářet podmínky pro uchování a zlepšování životního prostředí.

Požadavky na strukturu obcí a jejich rozvoj

- skladba a vzájemné návaznosti jednotlivých zón (bydlení, práce, rekreace, atd.),
- řešení sítí (dopravní, energetické, telekomunikační a pod.) v rozsahu přiměřeném skladbě zón,
- vzájemný vztah skladby zón a struktury sítí s cílem vyváženosti v každé etapě rozvoje,
- řešení ukládání a likvidace odpadů.

Požadavky na umístění staveb

- respektování krajinného, urbanistického a architektonického charakteru území,
- respektování vazeb na existující a plánované stavby,
- možnost napojení na komunikace a technické vybavení,
- zachování dosavadních funkcí v rámci území příp. obcí bez jejich omezení,
- vzájemné odstupy staveb (od hranic pozemku a od sousedních staveb),
- řešení přístupu ke stavbám, včetně rozptylových ploch a parkování,
- připojení staveb na inženýrské sítě,
- maximální zachování existující zeleně,
- respektování ochranných pásem (ochranná pásma železnice, čistírny odpadních vod, jaderného zařízení a pod.).

Požadavky na intenzitu využití pozemků

Tyto požadavky zohledňují druh existující a plánované výstavby. Intenzita využití pozemků je vyjádřená v procentech jako podíl zastavěné plochy z celkové plochy území. Je stanovována s ohledem na existující a výhledový způsob využívání pozemků.

Požadavky na stavební pozemek

Požadavky na vlastnosti každého jednotlivého pozemku určeného k zastavění (tvar, velikost, poloha, geologické poměry a pod.) jsou formulovány se základním cílem zabezpečení účelné realizace stavby a jejího bezpečného užívání.

■■ Provozní požadavky

Týkají se koncipování vnitřní dispozice objektů z hlediska jejich provozu, zejména s ohledem na druhy místností, jejich velikosti a vzájemné návaznosti, přičemž berou ohled i na případné výhledové změny v provozu. Někdy jsou označovány jako *požadavky typologické*. Budovy a jejich konstrukce by měly být schopné v co největší míře tyto změny absorbovat bez náročných úprav. Základem řešení dispozice je snaha o vytvoření provozního schématu budovy s plynulými a kapacitně dostatečnými provozními a komunikačními vazbami, při kterém zároveň dochází k optimálnímu využití všech prostor a ploch.

■■ Estetické požadavky

Estetické požadavky jsou do značné míry ovlivněny subjektivním názorem, ale řeší i dílčí otázky kvality. Patří mezi ně zejména požadavky na:

- *výtvarové řešení celku* (objemové řešení stavby, které odpovídá charakteru budovy a vystihuje současné umělecké trendy, respektuje charakter existující zástavby a je citlivě zasazeno do okolního prostředí - v této oblasti se nejvíce projeví osobnost koncepčního tvůrce),
- *tvarové řešení částí a ploch*
  - geometrické - linie spár (přímost, průběžnost), rovinnost ploch,
  - vzhledové - čistota (výskyt skvrn, hromadění nečistot), barva, jas, reflexe, stejnorodost povrchu (struktura i barva povrchu).

V této části je nezbytné rovněž zmínit problematiku *památkové péče*, která se týká všech kulturních památek, tedy i stavebních. Nejedná se pouze o jednotlivé objekty kulturně, historicky a technicky ceněné, ale rovněž o celé sídelní soubory, nejčastěji historická jádra měst. Ochrana památkově chráněných objektů a míst vyjadřuje snahu o jejich zachování v celku i v detailech a rovněž snahu o jejich účelné využívání a začlenění do současnosti, navrácení jejich funkce příp. nalezení vhodné funkce nové. K tomu je přihlíženo při jakýchkoliv úpravách dotýkajících se vnějšího i vnitřního vzhledu památek. Ochrana stavebních památek tedy ovlivňuje i koncepci řešení nových budov v případě dotváření již existujících celků.

■ Obecné požadavky na bezpečnost a užitné vlastnosti staveb

Tato skupina požadavků v sobě zahrnuje v podstatě požadavky ochrany zájmů veřejnosti, především bezpečnosti a ochrany zdraví a majetku. Tyto požadavky mají prvořadý význam a jejich plnění je kontrolováno zejména orgány státní správy při všech stupních schvalovacího řízení.

■■ Základní požadavky

Tato část požadavků je obsažena ve vyhlášce č.137/98 a promítá zásadní nároky Evropské Směrnice 89/106, která je základním dokumentem harmonizovaných předpisů pro stavební výrobky – viz úvod. Směrnice uvádí celkem 6 základních požadavků na stavební výrobky.

1. Mechanická odolnost a stabilita

Tyto požadavky vyjadřují nároky na nosnou způsobilost konstrukcí pozemních staveb. Konstrukce mají být navrženy a provedeny takovým způsobem, aby byly s přijatelnou pravděpodobností schopny užívání k požadovanému účelu. A to se zřetelem k předpokládané době životnosti a pořizovacím nákladům a aby s odpovídajícím stupněm spolehlivosti odolaly všem zatížením a vlivům, jejichž výskyt lze během provádění a užívání očekávat. Přitom by měly mít přiměřenou trvanlivost ve vztahu k nákladů na udržování. Kromě toho musí být konstrukce navrženy tak, aby nebyly poškozeny neočekávanými událostmi. Uvedené požadavky lze zajistit volbou vhodných materiálů, přiměřeným dimenzováním, konstrukčními úpravami a kontrolními mechanizmy při projektování, provádění a užívání.
Během zatěžování prochází konstrukce spojitě stavy napjatosti a přetvoření, které jsou popsány matematicky na základě znalostí stavební mechaniky.

- **Mezní stavy**

Mezní stavy jsou stavy, po jejichž překročení již konstrukce nesplňuje podmínky spolehlivosti. Rozlišují se tyto mezní stavy:
- mezní stav únostnosti,
- mezní stav použitelnosti.

Mezní stavy únosnosti jsou ty mezní stavy, které se vztahují ke zřícení nebo jiným způsobům vzniku poruch konstrukce, která může ohrozit bezpečnost lidí:
- ztráta rovnováhy konstrukce nebo její části jako tuhého tělesa,
- porucha nadměrným přetvořením, příp. ztráta tvarové stability konstrukce nebo její části.

Matematické vyjádření podmínky spolehlivosti z hlediska únosnosti konstrukce:

$S_d \leq R_d$

S_d ...výpočtová hodnota vnitřní síly příp. momentu,
R_d ...odpovídající výpočtová hodnota odporu konstrukce zahrnující všechny vlastnosti konstrukce jejich výpočtovými hodnotami,
určuje se z těch návrhových hodnot vlastností materiálů, geometrických veličin a účinků zatížení, které se mohou uplatnit.

Mezní stavy použitelnosti odpovídají stavům, po jejichž překročení nejsou splněny předepsané podmínky použitelnosti konstrukce. Konstrukce nesmí přestat ani dočasně plnit funkce, pro které byla navržena, a nesmí se chovat způsobem, který by vyvolal omezení nebo i dočasné přerušení provozu, např. i nepohodlím osob nebo vnějším vzhledem konstrukce.
Vnější projevy jeho dosažení jsou:
- přetvoření (deformace), které ovlivňují vzhled nebo účinné využití konstrukce, způsobují poškození povrchových úprav nebo nenosných prvků,
- kmitání, které způsobuje nepohodlí osob, poškozuje objekt nebo jeho technická zařízení, příp. omezuje jeho funkčnost,
- vznik poškození (včetně trhlin), která nepříznivě ovlivní vzhled, trvanlivost nebo funkci konstrukce.

Matematické vyjádření podmínky spolehlivosti z hlediska použitelnosti konstrukce:

$E_d \leq C_d$

C_d... nominální hodnota nebo funkce určitých materiálových vlastností vztažených k účinkům zatížení (např. přípustné napětí, přípustná hodnota průhybu, přípustná šířka trhlin)
E_d ... výpočtová hodnota účinků zatížení stanovená příslušnou kombinaci zatížení

Trvanlivost konstrukce znamená její schopnost zachovat si své vlastnosti během předpokládané životnosti. Souvisí se změnou vlastností stavebních materiálů v průběhu životnosti konstrukcí, ve kterých jsou zabudovány, při různých podmínkách působení. Na rozdíl od předešlých dvou kritérií tyto změny nelze obvykle v současné době exaktně matematicky popsat.

- **Zatížení**

Zatížení je mechanický nebo jiný fyzikální vliv, který vyvolává napjatost, přetvoření, příp. jejich změny, nebo změny tvaru a polohy konstrukcí a jejich částí. Stanovení všech druhů zatížení, které na konstrukce působí, jejich velikostí a kombinací, ve kterých mohou současně působit, je důležitým základem pro navrhování a posuzování všech konstrukcí.
Řada druhů zatížení nemá stálou intenzitu, jeho velikost se mění náhodně a rovněž doba trvání jeho působení je proměnlivá.
Účinky zatížení jsou odezvy konstrukce na zatížení (např. vnitřní síly a momenty, napětí, poměrná přetvoření). Návrhové hodnoty účinků zatížení E_d se stanovují z těch návrhových hodnot zatížení, geometrických parametrů a vlastností materiálů, které se mohou uplatnit.

Velikost zatížení

Návrhová hodnota velikosti zatížení F_d, která se uplatňuje pro návrhové situace (prokázání, že příslušný mezní stav není překročen za daných podmínek) je vyjádřena obecným vztahem:

$F_d = \gamma_F \cdot F_k$

γ_F ... parciální součinitel přihlížející k odchylkám zatížení, nepřesnostem výpočtového modelu, k nejistotám v určení účinků zatížení,
F_k ... charakteristická hodnota zatížení, která jsou stanovena v Eurokódech, v R lze použít normová zatížení podle ČSN 73 0035.

Klasifikace zatížení

- Podle účinků:
  - *Přímé zatížení* (síla, břemeno působící na konstrukci)
  - *Nepřímé zatížení* (vynucená přetvoření např. od účinků teploty nebo sedání)

- Podle proměnlivosti v čase
  - *Stálé zatížení (G)* (např. vlastní tíha konstrukce, vybavení, příslušenství)
  - *Nahodilé zatížení (Q)*
    - *dlouhodobé* (např. od skladování)
    - *střednědobé* (např. užitné)
    - *krátkodobé* (např. od větru a sněhu)
    - *okamžité*
    - *mimořádné (A)* (např. výbuchy nebo nárazy vozidel)

- Podle proměnlivosti v prostoru:
  - *Pevná zatížení* (např. od vlastní tíhy)
  - *Volná zatížení* (působí v různých sestavách, např. pohyblivá užitná zatížení, zatížení sněhem)

- Podle odezvy konstrukce:
  - *Statické* (vyvolává v konstrukci vznik napětí a deformací, ale nikoliv zrychlení - ev. je zrychlení zanedbatelné).
  - *Dynamické* (vyvolá takové zrychlení konstrukce, že již nelze zanedbat vliv vzniklých setrvačných sil)

- Podle druhu:
  - *Stálé zatížení*
    - *Zatížení vlastní tíhou konstrukce*
    - *Zatížení působícími tlaky*
    - *Zatížení předpětím*
  - *Nahodilé zatížení*
    - *Užitné zatížení*
    - *Klimatická zatížení*
      - *zatížení sněhem*
      - *zatížení větrem*
    - *Zatížení od vynucených přetvoření*
      - *zatížení teplotou*
      - *zatížení reologickými změnami*
      - *zatížení poklesem podpor*
    - *Montážní zatížení*
    - *Seismické zatížení*
    - *Zatížení tlakovými vlnami*
    - *Zatížení havarijní*

Zatížení vlastní tíhou

Rerezentuje vlastní tíhu všech trvale zabudovaných konstrukcí. Stanovuje se na základě geometrických rozměrů a objemových hmotností materiálů.

Zatížení trvale působícími tlaky

- *Zatížení zemním a horninovým tlakem* (působení na podzemní části objektů),
- *Zatížení vodním tlakem* (působení spodní vody na podzemní části objektů, působení tlaku vody v nádržích a bazénech).

Zatížení předpětím
Záměrné vnesení určitého napětí do konstrukčního prvku za účelem zvýšení jeho únosnosti.

Zatížení užitné
Vyplývá ze skutečného nebo výhledově předpokládaného účelu užívání objektu.

- *Zatížení stropů, střech a schodišť*

reprezentuje zatížení od lidí, zvířat, zařízení, výrobků, skladovaných materiálů, dopravních prostředků, technologických zařízení, dělících příček a všech částí objektu, jejichž poloha se může v průběhu užívání objektu změnit.

  - *užitné zatížení rovnoměrné* (uvažují se účinky podle skutečného rozložení zatížení nebo jako náhradní rovnoměrné zatížení podle druhu užívaného prostoru v rozmezí 1,5 - 5,0 $kN.m^{-2}$)
  - *zatížení tíhou dělících příček* (započítává se podle skutečného rozmístění příček nebo jako náhradní rovnoměrné zatížení)
  - *zatížení stroji a zařízením* (týká se tíhy technologického zařízení včetně obsahu náplně strojů, tíhy skladovaných materiálů i výrobků
  - *zatížení vysokozdvižnými vozíky* (zatížení statické i dynamické se složkou svislou i vodorovnou - setrvačné síly)

- *Zatížení zábradlí, říms a okapů*
  - *zatížení zábradlí* účinky vyvozované osobami na vlastní konstrukci zábradlí i na jeho upevnění (uvažuje se jako rovnoměrné zatížení ve směru svislém i vodorovném a soustředěné zatížení ve staticky nejnepříznivějším místě
  - *zatížení říms* (uvažuje se pouze u střešních říms širších než 200mm)
  - *zatížení okapů* (pouze v případě umístění okapů ve výšce větší než 4 m nad zemí)

- *Zatížení jeřáby*

  Znamená účinky jeřábů na jeřábové dráhy statické, dynamické a na únavu.

Zatížení klimatické.
Je způsobené vnějšími povětrnostními vlivy, kterým je vystaven objekt a jeho součásti.

- *Zatížení sněhem*

Působí na vodorovné a šikmé obalové konstrukce objektů pozemních staveb. Jeho velikost závisí především na poloze objektu vzhledem ke klimatickým pásmům. Určuje se ze základního zatížení sněhem v příslušném pásmu a koeficientů zohledňujících tvar střešní konstrukce a typ střešního pláště.

- *Zatížení větrem*

Působí ve skutečnosti všemi směry, ale do výpočtu se obvykle zavádí jako vodorovný účinek v tom směru, který je pro navrhovanou konstrukci nejnepříznivější. Jeho statická složka se projevuje jako tlak, sání, ve výjimečných případech tření. Dynamická složka se uvažuje pouze u objektů velmi vysokých nebo štíhlých. Velikost zatížení větrem závisí na zeměpisné oblasti, na poloze objektu v krajině, na tvaru a velikosti objektu. Zatížení větrem má nelineární průběh v závislosti na výšce objektu, který lze ve výpočtech zjednodušeně nahradit konstantním tlakem (sáním), jehož velikost se zvětšuje se vzrůstající výškou objektu ve výškových pásmech.

Zatížení od vynucených přetvoření
Vynucená přetvoření jsou takové deformace, které u staticky určité konstrukce způsobují změnu tvaru nebo polohy, aniž by v ní došlo ke změně napjatosti. Takové přetvoření má zatěžovací účinek na další navazující konstrukce.

- *Zatížení teplotními objemovými změnami*

K objemovým změnám dochází v závislosti na teplotní roztažnosti materiálu vlivem změn teploty, které je konstrukce vystavena a která kolísá v průběhu dne i v průběhu roku, a která je navíc rozdílná od teploty, při které je konstrukce zhotovována.

- *Zatížení reologickými objemovými změnami*

Změna objemu může být rovněž způsobena smrštěním nebo dotvarováním materiálu, jeho bobtnáním a sesycháním vlivem změny vlhkosti, příp. chemickými reakcemi, probíhajícími dlouhodobě.

- *Zatížení poklesem podpor*

Pokles některých podpor (nerovnoměrné sedání objektu) může být způsoben rozdílnými vlastnostmi a nepravidelnostmi v základovém podloží, různou hloubkou založení nebo různou velikostí zatížení jednotlivých částí budovy, kolísáním hladiny spodní vody a pod.

Zatížení montážní

Jedná se o zatížení vznikající při výstavbě konstrukcí, při výrobě, přepravě a montáži jednotlivých částí a prvků. Do zatížení montážního se zahrnuje i tíha všech hmot a výrobků, použitých při realizaci (tlak betonové směsi, zatížení lešením a pod.).

Zatížení seizmické

V určitých zeměpisných oblastech je třeba při návrhu konstrukcí počítat i s účinky zemětřesení a jiného seizmického působení.

Zatížení tlakovými vlnami

Uvažuje tlakové vlny způsobené výbuchem, přeletem nadzvukových letadel a pod.

Zatížení havarijní

Mohou být vyvozena závadami a poruchami zařízení, havarijním narušením technologického procesu při realizaci stavby, havarijním přetvořením základů nebo základové půdy náhlými zlomy a propady půd.

2. Požární bezpečnost

Zásady navrhování objektů pozemních staveb s ohledem na jejich požární bezpečnost sleduje dvě hlavní linie.

- **Zabránění vzniku a šíření požáru**

Znamená prevenci před vznikem požáru a realizuje se především zabudováním bezpečnostních zařízení do objektu, jako jsou:

- elektrická požární signalizace,
- samočinné hasící zařízení,
- samočinné požární odvětrání,
- jiná zařízení (detektory plynu, samočinné uzavírací ventily a pod.).

- **Zabránění ztrát na životech, zdraví a majetku při vzniku požáru**

Dojde-li k požáru, musí být koncepcí a konstrukcí objektu zaručeno:

- zachování stability a únosnosti konstrukcí po určitou stanovenou dobu,
- bezpečná evakuace z hořící nebo požárem ohrožené stavby příp. její části na volné prostranství nebo do jiného požárem neohroženého prostoru,
- bránění šíření požáru mimo budovu (na sousední budovu nebo její část),
- bránění šíření požáru a jeho zplodin mezi jednotlivými částmi téhož objektu,
- umožnění účinného zásahu požárních jednotek.

Splnění požadavků požární bezpečnosti se prokazuje v projektu požární ochrany, který zahrnuje zejména:

- rozdělení objektu do *požárních úseků* (část vnitřního prostoru vymezená požárně dělícími konstrukcemi, které mají za úkol bránit šíření požáru na jinou část objektu po určitou stanovenou dobu),
- stanovení *požárního rizika* (vyjadřuje pravděpodobnou intenzitu požáru, závisí na charakteru a seskupení hořlavých látek, podmínkách odhořívání a podmínkách, které ovlivňují průběh požáru včetně bezpečnostních zařízení),
- stanovení *stupně požární bezpečnosti* (určuje souhrnné požadavky na stavební konstrukce, které jsou specifikovány zejména jejich požární odolností,
- posouzení *požární odolnosti* konstrukcí (doba, po kterou jsou konstrukce schopny odolávat účinkům požáru, aniž by došlo k porušení jejich funkce), požární odolnost souvisí a hořlavostí materiálů a konstrukčními úpravami, které hořlavost omezují (např.povrchové úpravy),
  Pozn.:Zde jsou důležité zvláště nosné konstrukce, jejichž požadovaná požární odolnost je stanovena na 60, 90, příp.120 min. v závislosti na počtu podlaží,
- stanovení kapacit *únikových cest* s ohledem na počet evakuovaných osob a stanovenou maximální dobu jejich úniku z daného typu budovy, týká se i dostatečného nadimenzování rozptylových ploch před objektem
- vymezení požárně nebezpečného prostoru a stanovení *odstupových vzdáleností* od objektu, tj. nepodkročitelných vzdáleností daného objektu od objektů sousedních,
  vymezení *zásahových cest* (vnitřních i vnějších) a technického vybavení pro účinný zásah požárních jednotek.

2. *Ochrana zdravých životních podmínek a životního prostředí*

• Zdravotní nezávadnost

Stavba nesmí žádným způsobem ohrožovat zdraví uživatelů, způsobit krátkodobá nebo dlouhodobá onemocnění příp. alergie. Z hlediska zdravotní nezávadnosti se sleduje zejména uvolňování látek nebezpečných zdraví a životu ze stavebních konstrukcí a přítomnost nebezpečných částic ve vzduchu jako důsledek:

- činnosti člověka (veškerými činnostmi, rovněž kouřením a pod.)
- uvolňování ze stavebních konstrukcí a vnitřního vybavení, nábytku a pod.
- chemické škodliviny (oxidy uhlíku, dusíku, formaldehyd, styrén, aldehydy)
- pevné částice (azbest, minerální a jiná vlákna)
- záření (záření vznikající rozpadem prvků, které jsou obsaženy ve stavebních konstrukcích - např. radon)

V ČR upravuje maximálně přípustné koncentrace škodlivin v ovzduší vnitřním i vnějším Směrnice Ministerstva zdravotnictví O zásadních hygienických požadavcích č.58.

• Hygiena vnitřního prostředí

Tato skupina požadavků vyjadřuje nároky na řešení prostoru a jeho vybavení tak, aby byl zabezpečen zdravý a subjektivně spokojený pobyt uživatelů. Ovlivňují zejména následující oblasti koncepčního návrhu budov:

Objemové řešení, které zohledňuje zejména požadavky na minimální rozměry jednotlivých místností a jejich umístění (zvláště vzhledem k terénu, k hladině spodní vody a pod.).

Vybavení objektů a jejich prostoru, které sleduje uspokojení alespoň minimálních hygienických nároků, uplatňovaných uživateli. Zabezpečuje vybavenost objektů a jejich částí základním hygienickým vybavením, zásobování *pitnou vodou* v dostatečném množství a kvalitě.

Denní osvětlení je bezesporu přirozeným aspektem psychické pohody uživatelů budov a je požadováno závazně pro některé druhy staveb a místnosti v nich (např. obytné místnosti bytů, ložnice a

pokoje zařízení pro dlouhodobé ubytování a rekreaci, učebny, vyšetřovny a lůžkové místnosti zdravotnických zařízení, místnosti pro oddech určené pro uživatele prostorů bez denního osvětlení aj.).
Proslunění je požadováno v obytných a dalších pobytových místnostech. Požadavky na proslunění uvádí norma ČSN 73 4301 Obytné budovy.
Větrání je jedním z nejdůležitějších technických prostředků pro zabezpečení čistoty vzduchu v interiérech budov. *Intenzita výměny vzduchu*, udávající nutný počet výměn celkového objemu vzduchu v místnosti za časovou jednotku (obvykle 1 hod.), závisí na druhu a množství škodlivin ve vzduchu obsažených, na množství osob v místnosti a druhu činnosti, kterou vykonávají. Větrání se uskutečňuje přirozeným způsobem otvíravými výplněmi otvorů a infiltrací nebo nuceným způsobem. Přitom se sleduje i kvalita přiváděného vzduchu.

- ***Vliv staveb na životní prostředí***

Při hodnocení vlivu staveb na životní prostředí se sleduje především:

- množství emitovaných škodlivin při při provozu budov (např. vytápění) a technologických procesech (oxidy uhlíku, síry, dusíku, těžké kovy),
- odpadní vody (typ, složení, množství) a způsob jejich odvádění a čištění,
- tuhé odpady a způsob jejich likvidace (komunální, nebezpečný, radioaktivní),
- hluk, vibrace,
- záření radioaktivní, elektromagnetické,
- negativní vlivy při výstavbě (prašnost, hluk).

4. Ochrana proti hluku a vibracím

Pro jednotlivé druhy prostorů jsou stanoveny nejvyšší přípustné hladiny hluku a vibrací vyhovující pro pracovní a životní prostředí tak, aby nebylo ohroženo zdraví uživatelů, byl zaručen noční klid a podmínky akustické pohody.
Obecně lze říci, že nejlepší ochranou obecně je vždy prevence.
Při zajišťování *ochrany před vnějším hlukem* (zejména dopravním) jsou upřednostňována urbanistická opatření, např. vhodným zasazením objektů do terénu při využití terénních vln, návrhem objektů respektujících faktor hluku (pavlačové domy) apod.
V případě existence zdrojů hluku *uvnitř budov* je vhodné tyto zdroje umístit co nejdále od akusticky chráněných místností (výtah – ložnice).
Instalace všech zařízení, která způsobují hluk a vibrace musí být provedena tak, aby se zabránilo přenosu hluku a vibrací do stavební konstrukce a jejich šíření. Zařízení tohoto druhu není vhodné umisťovat v místnostech bezprostředně sousedících s akusticky chráněnými prostorami, příp. je nutné provést dostatečnou akustickou izolaci dělícími konstrukcemi. Rovněž je nutné zabránit šíření hluku jakýmkoliv potrubím především způsobem jeho vedení.

Akustická pohoda je souhrn všech příznivých účinků akustického prostředí na člověka při jeho určité činnosti v určitém psychickém stavu. Při posuzování akustické pohody je třeba znát všechny vnější a vnitřní zdroje hluku a způsoby jeho přenosu.
Mírou akustické pohody v místnostech je *hladina akustického tlaku* L_{pA}, která se objektivně zjišťuje měřením. Podle druhu místnosti a činností v ní vykonávaných jsou stanoveny její maximálně přípustné hodnoty (ČSN 73 0531 Ochrana proti hluku v pozemních stavbách).
Akustické vlny se šíří vzduchem i hmotou konstrukcí. Základním požadavkem je ochrana před účinky zdrojů hluku, které se nacházejí vně objektů nebo v jiných částech objektu.

Vzduchová neprůzvučnost je schopnost konstrukce bránit přenosu akustických vln, které se šíří vzduchem. Vzduchová neprůzvučnost je charakterizována činitelem neprůzvučnosti R [dB], který ale představuje široké spektrum hodnot pro různé kmitočty akustických vln.
Pro určitou oblast kmitočtů platí závislost stupně neprůzvučnosti na plošné hmotnosti konstrukce:

$R = 20 \log (m'.f) - 47,5$ [dB

m'...plošná hmotnost konstrukce [kg.m^{-2}]
f ...kmitočet [Hz]

Proto se vzduchová neprůzvučnost popisuje jednočíselně vyjádřitelnou váženou hodnotou stavební nebo laboratorní vzduchové neprůzvučnosti R_w' resp. R_w.
Pro jednotlivé dělící konstrukce včetně dveří jsou stanoveny maximální přípustné hodnoty těchto veličin.

Kročejová neprůzvučnost je schopnost konstrukce bránit přenosu akustických vln šířených vlastní hmotou konstrukce.
Kročejový hluk vzniká účinkem mechanických impulsů. Ve stavebních objektech působí zejména na stropní konstrukce. Hodnotícím parametrem je *normalizovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku* $L_{n,w}$ [dB]. Její maximálně přípustné hodnoty jsou stanoveny normativně pro různé druhy místností. Kročejovou neprůzvučnost lze zlepšit vložením pružné a pohltivé vrstvy.

Vibrace znamenají kmitavý pohyb stavební konstrukce zpravidla v kmitočtu, který odpovídá vlastnímu kmitočtu některých částí konstrukce. Tím může dojít k zesílenému vyzařování zvuku. Zejména otřesy o nízkých kmitočtech mohou přispět k únavě konstrukce nebo při dostatečné intenzitě až k jejímu porušení.

5. Bezpečnost při užívání

Stavební objekt musí být navržen tak, aby se při jeho užívání a provozu nevyskytovala nepřijatelná rizika, že dojde k úrazu následkem nárazu, pádem, uklouznutím, popálením, elektrickým proudem nebo výbuchem. Tento základní požadavek ovlivňuje dispoziční i konstrukční řešení, volbu materiálů zvláště povrchových úprav, řešení osvětlení a větrání, koncepci instalací až po vnitřní vybavení včetně zábradlí a orientačního značení. Zvláštní pozornost je věnována komunikacím uvnitř budov, které musí umožnit přepravu předmětů o rozměrech 1950 x 1950 x 800 mm, kromě rodinných domů a staveb pro individuální rekreaci.

Požadavky na bezbariérový provoz tvoří specifickou část požadavků na bezpečnost staveb při jejich užívání, a sice při užívání osobami se sníženou schopností pohybu a orientace. Uplatňují se v bytových domech nově stavěných a více než třemi bytovými jednotkami, v zařízeních ústavního charakteru určených pro tyto osoby, v občanských budovách v těch částech, které jsou určené veřejnosti a v budovách, ve kterých se předpokládá zaměstnávání více než 20ti osob. Tyto budovy musí umožňovat osobám se sníženou schopností pohybu a orientace veškeré činnosti.
Tyto specifické požadavky se týkají především následujících oblastí:
Vstup do budovy musí být řešen (alespoň jeden) bez stupňů (s rampou ev. výtahem).
Komunikace musí mít předepsané rozměry, sklony, povrchy rovné a upravené proti skluzu, přechody vnímatelné odlišnou strukturou povrchů, vodící linie pro slepce.
Zařízení se týká především hygienického vybavení, tedy rozměrů místností pro osobní hygienu, rozměrů a konstrukcí zařizovacích předmětů a nábytku i jejich umístění včetně zámků, poštovních schránek nebo telefonních automatů.

6. Úspora energie a ochrana tepla

Vyčerpávání světových neobnovitelných zdrojů energie a množství škodlivin, které vznikají při jejich používání a znečišťují ovzduší, jsou hlavní důvody celosvětových snah o optimalizaci spotřeby energie. Přitom je třeba mít na mysli celkovou spotřebu energie potřebné pro celý životní cyklus budovy od výrovy stavebních materiálů až po jejich likvidaci (viz také B3 a B5). Proto je celková spotřeba energie významným hodnotícím kritériem kvality budov.
Uvažujeme-li o pozemních stavbách, největší množství energie se spotřebovává při provozu budov.

Snaha o úspory energie tedy musí znamenat její efektivní využívání k vytápění (zde se jí v podmínkách ČR spotřebovává nejvíce), ohřevu teplé užitkové vody, chlazení, větrání, osvětlení a dalším provozním funkcím.

Mezi nejdůležitější zásady návrhu budov s ohledem na úspory energie při provozu budovy jsou:

- respektování klimatických podmínek lokality,
- využívání obnovitelných zdrojů alespoň dílčím způsobem (např. solární energie pro přípravu teplé vody),
- tvarování budov s ohledem na minimalizaci ochlazovaných ploch,
- využívání vhodné orientace ke světovým stranám,
- navrhování obalových konstrukcí s vysokými tepelněizolačními schopnostmi, s vysokou tepelnou kapacitou a s nízkým poměrem prosklených ploch,
- důsledná eliminace všech tepelných mostů,
- navrhování efektivních systémů technického zařízení budov (vytápění, ohřev TUV, větrání), s důslednou regulací, senzory užívání apod..
- využívání rekuperace tepla,
- používání efektivní elektrických spotřebičů.

V ČR se povinně hodnotí se celková spotřeba energie na vytápění vztažená na objemovou jednotku celé budovy. Kriteriální hodnotou je celková tepelná charakteristika budovy $q_{c.k}$ /$W.m^{-3}.K^{-1}$/, jejíž velikost závisí na tepelnětechnických vlastnostech materiálů především obalových konstrukcí (R, k), na rozdílu teplot vzduchu uvnitř a vně budovy, na poměru ochlazované plochy a objemu budovy. Pro jednotlivé typy budov jsou požadované, doporučené i přípustné hodnoty tepelné charakteristiky předepsány normativně v ČSN 73 0540.

Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být zároveň navrženy tak, aby byly vytvořeny podmínky pro tepelnou pohodu uživatelů – viz podrobněji část Požadavky na pohodu vnitřního prostředí.

■■ Požadavky na stavební konstrukce a technická zařízení budov

Tato část požadavků tvoří těžiště vyhlášky OTP z hlediska jejího stavebně-technického významu. Požadavky na jednotlivé konstrukce (základy, stěny, stropy, podlahy, povrchy stěn a stropů, vodovodní přípojky, vnitřní vodovody, atd.) jsou formulovány pouze v obecné poloze, bez uvádění požadovaných hodnot jednotlivých kritérií (např. požadovaná hodnota tepelného odporu), které se v průběhu času mohou měnit, stejně jako výpočtové metody používané při navrhování a posuzování konstrukcí.
Autoři skript nepovažují za nutné tyto obecně formulované požadavky vyjmenovávat na tomto místě, protože jsou konkrétně uváděny při prezentování jednotlivých konstrukčních částí v těchto a dalších skriptech.

■■ Zvláštní požadavky pro vybrané druhy staveb

V OTP uváděná tato část požadavků není komplexním souhrnem všech technických požadavků na užitné vlastnosti jednotlivých druhů staveb, omezuje se pouze na výběr požadavků reprezentujících veřejné zájmy. Jsou zde uvedeny pouze vybrané druhy staveb s uvedením požadavků, které *zpřísňují obecné požadavky* (stavby, kde dochází ke shromažďování velkého počtu osob), nebo o stavby *se specifickým užíváním* (stavby zemědělské, stavby pro motorismus, stavby pro reklamu, informace a propagaci). Konkrétním a vyčerpávajícím způsobem je tato problematika zařazena do předmětu Nauka o budovách.

■ Odolnost konstrukce vůči vnějším vlivům

Působení vnějších vlivů jsou vystaveny ve větší či menší míře všechny konstrukce, zvláště obalové. Jedná se o cyklické namáhání, jehož důsledkem může být změna mechanicko-fyzikálních vlastností materiálů, ovlivňující trvanlivost konstrukce. Základními faktory tohoto namáhání jsou:

Podzemní voda
Působí na spodní stavbu budov včetně základů ve formě zemní vlhkosti, stékající (gravitační) vody nebo vody podzemní se souvislou hladinou. Svým chemickým složením může mít i agresivní charakter. Většina známých a používaných stavebních materiálů je třeba před účinky spodní vody chránit některou z nepřímých nebo přímých hydroizolačních metod.

Srážková voda.
K penetraci srážkové vody může dojít:
- spárami mezi jednotlivými prvky obalových konstrukcí (na pronikání srážkové vody spárami má vliv gravitace, kinetická energie srážkové vody, současné působení srážkové vody a větru)
- povrchem (rozhodující vlastností je nasákavost materiálů)

Vzdušná vlhkost.
K transportu vlhkosti obsažené ve vzduchu dochází sorpcí, difúzí nebo transmisí (při zvýšení obsahu vlhkosti může u řady materiálů docházet ke změně mechanicko-fyzikálních vlastností jako jsou pevnost, tepelná vodivost a pod.).

Proudění vzduchu
K pronikání vzduchu do interiéru budov, jehož důsledkem je zvýšení rychlosti proudění vzduchu v interiéru a vůbec změna teplotního režimu vnitřního prostředí, může dojít:
- spárami (spárová infiltrace),
- povrchem (materiálová infiltrace).

Proudění vzduchu může ovlivňovat rovněž estetické vlastnosti (např. v důsledku usazování nečistot unášených proudy vzduchu.)

Sluneční záření
Způsobuje zahřívání materiálů a v důsledku toho objemové změny teploty vzduchu v interieru, některé části spektra slunečního záření způsobují nežádoucí, vesměs degradační chemické reakce některých materiálů.

Agresivita prostředí
Takto je nazýváno působení látek, které vyvolávají chemické a jiné reakce v povrchových vrstvách materiálů a konstrukcí - např. korozi oceli, korozi betonu, mikrobiální korozi).

■ Požadavky na pohodu vnitřního prostředí

Pohoda prostředí je subjektivní pocit, při kterém nemá člověk negativní vjemy. Závisí tedy v prvé řadě na lidském subjektu, na jeho fyzické a psychické kondici, na věku, na činnosti, kterou vykonává. Dosažení těchto subjektivních pocitů je podmíněno splněním určitých zákonitostí, v nichž rozhodující roli sehrávají fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí. Z toho důvodu jsou někdy požadavky na pohodu vnitřního prostředí označovány jako požadavky stavebněfyzikální.

■■ Tepelně-vlhkostní mikroklima

Požadavky na zabezpečení tepelně-vlhkostní pohody prostředí se týkají všech budov, ve kterých je

třeba dodržet určitý stálý stav mikroklimatu z důvodu trvalého pobytu lidí nebo z důvodu zvláštního režimu provozu v nich.

Základní požadavky na koncepci těchto budov jsou:

- prevence tepelně-vlhkostních poruch,
- zabezpečení požadavků na fyziologickou pohodu uživatelů,
- zabezpečení požadovaného stavu vnitřního prostředí pro technologické činnosti,
- nízká spotřeba energie při provozu budov.

Z těchto zásad jsou odvozeny konkrétní tepelně-vlhkostní požadavky, které jsou vyjádřeny stanovením výpočtových hodnot určitých veličin, charakterizujících chování konstrukcí, místností a budov.

Požadavky se týkají následujících jevů:

- šíření tepla konstrukcí,
- šíření vlhkosti konstrukcí,
- infiltrace vzduchu,
- tepelná stabilita místností.

Každý z výše uvedených jevů je charakterizován specifickými, většinou fyzikálními parametry, které se dají matematicky popsat, vyčíslit a tudíž je možné pro ně stanovit i kriteriální hodnoty vycházející ze současných nároků uživatelů na pohodu vnitřního prostředí. Kriteriální hodnoty jsou uváděny v normě ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Možnost odstupňování kvality vnitřního prostředí je reprezentována tím, že jsou zde kromě hodnot důsledně *požadovaných* (normových) uvedeny i hodnoty *doporučené*, které zaručují vysoký kvalitativní standard, a rovněž hodnoty *přípustné*, kterých je možné použít v některých výjimečných situacích, např. při rekonstrukcích.

Šíření tepla konstrukcí

Tepelný odpor R /$m^2.K.W^{-1}$/ vyjadřuje schopnost konstrukcí (např. stěn, stropů, střech a podlah) bránit šíření tepla z prostoru s vyšší teplotou vzduchu do prostoru s teplotou nižší. Jeho velikost závisí především na tepelnětechnických vlastnostech materiálů použitých v konstrukci a na jejich uspořádání. Pro konstrukce, ve kterých lze uvažovat jednorozměrné šíření tepla, se tepelný odpor stanoví:

$$R = \sum R_i = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \qquad [m^2.K.W^{-1}]$$

d_i ... tloušťka i-té vrstvy [m]

λ_i ... součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy $[W.m^{-1}.K^{-1}]$

Normová hodnota tepelného odporu R_N určité konstrukce se obecně stanovuje v závislosti na rozdílu teplot na obou stranách této konstrukce, na typu budovy a na typu konstrukce.
Pro jednoduchý způsob navrhování a ověřování budov obytných a občanských je požadovaná, doporučená i přípustná normová hodnota tepelného odporu vyjádřena přímo svou hodnotou v závislosti na typu konstrukcí a na rozdílu vzduchu prostor, které tyto konstrukce oddělují.

Součinitel prostupu tepla konstrukcí k $[W.m^2.k^{-1}]$ je parametrem charakterizujícím zpravidla průsvitné výplně otvorů (podobně jako tepelný odpor charakterizuje obvykle neprůsvitné části stěn, stropů a střech).

Obecný vztah součinitele prostupu tepla a tepelného odporu je:

$$k = \frac{1}{R_i + R + R_e}$$

R_i , R_e ... odpor při přestupu tepla na vnitřní, vnější straně konstrukce /m^2.K.W^{-1}/

Velikost normové hodnoty závisí na druhu budovy a na rozdílu teplot na obou stranách otvorové výplně. Pro jednoduchý způsob navrhování a ověřování konstrukcí budov obytných a občanských s dlouhodobým pobytem osob je normativní hodnota součinitele prostupu tepla otvorovou výplní stanovena přímo podle typu dané výplně.

Nejnižší povrchová teplota konstrukce stěn, stropů a podlah vyjadřuje požadavek hygienický tím, že stanovuje vnitřní povrchovou teplotu všech konstrukcí vyšší než rosný bod o určitou teplotní bezpečnostní přirážku. Tím je zabezpečeno, že na povrchu konstrukcí nedochází ke kondenzaci vodní páry, která je obsažena ve vzduchu, což je nebezpečné zejména vzhledem k možnostem vzniku plísní.

Pokles dotykové teploty podlahy Δt_{10} vyjadřuje subjektivní pocit pohody při krátkodobém dotyku nohy s podlahou. Míra poklesu teploty nohy závisí na teplotě povrchu podlahy a na tepelné jímavosti podlahové konstrukce, především nášlapné vrstvy a vrstvy ležící bezprostředně pod ní.
Teplota Δt_{10} vyjadřuje pokles dotykové teploty po 10 minutách dotyku nohy s podlahou. Normová hodnota je stanovena v závislosti na druhu budovy a místnosti v rozmezí 3,8 až 6,9 °C. Podle poklesu dotykové teploty jsou charakterizovány podlahy jako *velmi teplé, teplé, méně teplé a studené.*

Šíření vlhkosti konstrukcí
Šíření vlhkosti konstrukcí *difúzí* je způsobeno rozdílem částečných tlaků vodní páry na obou stranách konstrukce. Velikost částečného tlaku vodní páry závisí na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu. Při difúzi vodní páry konstrukcí z místa vyššího částečného tlaku vodní páry na místo s částečným tlakem vodní páry nižším vzniká nebezpečí kondenzace vodní páry v místě, kde v důsledku nízké teploty konstrukce dojde k nasycení vzduchu vodní párou.
Výskyt kapalné fáze v konstrukcích je vesměs nežádoucí. Má za následek objemové změny, nepřípustný nárůst hmotnosti, zmenšení soudržnosti jednotlivých vrstev konstrukce, podporuje vznik a bujení plísní. Z tohoto hlediska se rozlišují dva typy konstrukcí:

1. Výskyt zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce ohrozí její požadovanou funkci:
   → výskytu kondenzace je nutné zabránit.
   $G_k = 0$ G_k...celoroční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce /kg.m^{-2}.rok/

2. Výskyt zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce neohrozí její požadovanou funkci:
   → je nutné zabezpečit odpaření celoročně zkondenzované vodní páry.
   $G_k < G_p$ G_p ... celoroční množství vypařené vodní páry uvnitř konstrukce /kg.m^{-2}.rok/
   G_k ...celoroční množství zkondenzované vodní páry, které nesmí překročit u jednoplášťových střech hodnotu 0,1 kg.m^{-2}.rok^{-1}, u ostatních konstrukcí 0,5 kg.m^{-2}.rok^{-1}.

Šíření vzduchu konstrukcí
Hodnotí se pronikání vzduchu spárami mezi výplněmi otvorů konstrukcí a spárami mezi jednotlivými částmi otvorových výplní. Kriteriální hodnotou je součinitel spárové průvzdušnosti $i_{l,v}$, který vyjadřuje množství vzduchu, který pronikne určitou spárou za určitý čas při daném rozdílu tlaků na obou stranách výplně. Toto množství vzduchu je omezeno na max. 0,5 $m^3.s^{-1}.m^{-1}.Pa^{-0,67}$.
Pozn.: V místnostech, kde není zabezpečena nucená výměna vzduchu, se větrání uskutečňuje výhradně infiltrací. Přitom je z hygienických důvodů stanovena minimální požadovaná intenzita výměny vzduchu v místnostech pro různé druhy činností, které se zde odehrávají. Hodnota požadované výměny vzduchu 0,25 až 0,5 reprezentuje počet výměn celého objemu vzduchu v místnosti za 1 hodinu.

Tepelná stabilita místností vyjadřuje požadavek stálosti vnitřního mikroklimatu, konkrétně stálosti teploty vnitřního vzduchu v místnostech. Na výši teploty v místnosti a její kolísání má vliv kvalita obalových konstrukcí - především hmotnost, orientace ke světovým stranám, velikost a umístění průsvitných konstrukcí, druh zasklení a pod. Tepelná stabilita místností musí být zabezpečena v zimním i letním období.:

- nejvyšší denní pokles výsledné teploty v kritické místnosti v zimním období na konci otopné přestávky nesmí překročit předepsanou hodnota (3 - 8 °C podle druhu místnosti)
- nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v kritické místnosti v letním období nesmí překročit předepsanou hodnotu (5 - 11,8 °C v závislosti na druhu budovy a teplotní oblasti)

■■ Zraková pohoda

Dobré světelné podmínky pro každou činnost závisí na množství a kvalitě světla ve sledovaném prostoru. Zraková pohoda je přitom ovlivňována i subjektivním stavem zraku každého jedince. Množství a kvalita světla jsou ovlivňovány architektonickými a konstrukčními vlastnostmi prostoru (např.barva a odrazivost povrchů, velikost a umístění otvorových výplní, zastínění předloženými konstrukcemi apod.) i urbanistickými podmínkami lokality (zastínění okolní zástavbou, zelení).

Denní osvětlení

Přirozené denní osvětlení je zabezpečováno výplněmi otvorů. Přitom záleží na umístění, velikosti, tvaru a konstrukci otvoru, výplně i druhu zasklení. Denní osvětlení se navrhuje a posuzuje podle následujících hledisek:

Úroveň denního osvětlení je vyjádřená kvantitativním kritériem - činitelem denní osvětlenosti e, který se skládá z několika složek:

$$e = \frac{E_i}{E_h}.100 \qquad [\%]$$

E_i...intenzita denního osvětlení v daném místě
E_h.. současná intenzita venkovní nezacloněné vodorovné roviny za předpokládaného nebo známého rozložení jasu rovnoměrně zataženou oblohou

$$e = e_0 + e_e + e_i$$

e_0... oblohová složka
e_e... vnější odražená složka
e_i... vnitřní odražená složka

Činitel denní osvětlenosti hodnotí rozložení denního světla v místnosti vyjádřením jeho hodnot v kontrolních bodech, rozmístěných v pravidelné síti na vodorovné srovnávací rovině zpravidla 0,85 m nad podlahou místnosti. Hodnoty jsou normativně stanoveny pro různé druhy zrakové činnosti (ČSN 73 0580 Denní osvětlení budov).

Kvalita denního osvětlení se vyjadřuje následujícími parametry:

- rovnoměrnost osvětlení,
- rozložení světelného toku a převažující směr osvětlení,
- výskyt jevů narušujících zrakovou pohodu (např. oslnění).

Umělé osvětlení

tedy osvětlení vnitřních prostorů umělými osvětlovacími prostředky slouží především k osvětlení vnitřních prostorů v době absence osvětlení denního (večer, v noci) nebo tam, kde nelze osvětlení denní zajistit ani v průběhu dne.

Rozlišuje se umělé osvětlení:

- hlavní (za obvyklých provozních podmínek),

- pomocné (pro pomocné práce mimo hlavní provoz),
- bezpečnostní (při poruše).

Sdružené osvětlení
je současné osvětlení denním a doplňujícím umělým světlem.

■■ Odérové mikroklima

Odéry jsou plynné složky ovzduší, vnímané jako pachy, produkované člověkem, jeho činností nebo uvolňované ze stavebních konstrukcí. Omezení nebo likvidaci odérů lze realizovat omezením nebo odstraněním zdroje, zabráněním šíření odérů po budově dispozičním a konstrukčním řešením a účinným větráním.

■■ Mikrobiální a aerosolové mikroklima

Mikroorganismy (bakterie, plísně, viry) způsobující onemocnění a alergie pronikají do vnitřního prostředí z venkovního prostoru, mohou se v budově šířit vedením vzduchotechniky, jejich zdrojem je člověk. Koncentrace mikroorganismů je limitována podle druhu vnitřního prostoru, z nichž některé mají mimořádné nároky na čistotu ovzduší (operační sály, výrobny léčiv, mikroelektroniky). Koncentraci lze snížit obdobnými zásahy jako u odérových škodlivin, příp. sterilizací vzduchu nebo zvláštími úpravami povrchů.
Aerosoly t.j. pevné nebo kapalné částice rozptýlené ve vzduchu vznikají především činností člověka. Samy o sobě mají negativní biologické účinky na lidský organismus, jejich největší nebezpečí však spočívá v tom, že jsou nositeli mikroorganismů. Koncentrace aerosolů v interierech budov je limitována.

■■ Elektrické mikroklima

Jedná se o složku prostředí, která je tvořena elektrickými toky v ovzduší.
Elektrostatické mikroklima charakterizuje velikost elektrostatického náboje, který vzniká většinou vzájemným pohybem pevných těles (chůze v pryžové obuvi po podlaze z plastické hmoty, česání vlasů a pod.). Výboje vznikající v důsledku rozdílu elektrostatických nábojů mohou mít biologický vliv na citlivé jedince, mohou event. způsobit zapálení nebo výbuch hořlavých nebo výbušných směsí.

Elektroiontové mikroklima je reprezentováno množstvím kladných a záporných iontů obsažených ve vzduchu, které ovlivňuje pozitivní i negativní odezvy lidského organismu. Některé konstrukce (dřevěné, cihelné) prakticky nedeformují elektrické pole uvnitř budovy, některé (železobetonové, ocelové) je silně odstiňují.

■ Technologické požadavky

Možnosti výroby, organizace výstavby, způsob dopravy i její dosah nebo způsob montáže mohou ovlivňit koncepci řešení budovy jako celku i jednotlivých konstrukčních částí a prvků, jejich kvalitativní parametry a tudíž jejich spolehlivost a trvanlivost, dobu výstavby i ekonomické aspekty. Jako nejzávažnější technologické vlivy lze uvést:

- dostupnost materiálů a technologií,
- možnost mechanizace a automatizace,
- kontrola jakosti,
- nároky na skladování,
- nároky na speciální zařízení při realizaci,
- vymezení podmínek realizace (sezónnost).

■ Ekologické požadavky

Stavební průmysl ovlivňuje podstatným způsobem vývoj kvality životního prostředí. K vytváření svých produktů (staveb jako jsou budovy, dálnice, elektrárny), využívá přírodních zdrojů, vyčerpává je a přitom přímo působí na zdraví jejich uživatelů. Proto se v poslední době stále častěji hovoří o *trvale udržitelném rozvoji*, který má zabezpečit harmonický stav mezi přírodním prostředím a člověkem, který je využívá a zároveň si je musí uchovat v dlouhodobém horizontu.
Koncentrace negativních vlivů stavění jako celku na zdraví lidí se projevuje zvýšeným výskytem onemocnění. To se týká i samotných budov, jejich základní koncepce, která musí klást na zdraví budoucích uživatelů zvláštní důraz, aby nevznikal tzv. *syndrom nemocných budov.*
Každá budova se stává součástí prostředí, je jím ovlivňována a zároveň má vliv na své okolí. Základní snahou, která se promítá do všech požadavků, je, aby vzájemné ovlivňování obou složek nemělo negativní důsledky. Při hodnocení vlivu staveb na životní prostředí se sleduje především:

- vyčerpávání zemské kůry (těžbou materiálů) a zemského povrchu (zastavěním),
- vyčerpávání zdrojů energie v kontextu celého životního cyklu staveb (množství *svázané energie*),
- množství emitovaných škodlivin (oxidy uhlíku, síry, těžké kovy, prach, hluk, záření) v celém cyklu od těžby surovin a výroby materiálů po likvidaci –*svázaná produkce škodlivin*
- nakládání se všemi druhy odpadů,
- kvalita vnitřního prostředí staveb.

Ekologické požadavky nemohou tvořit samostatnou skupinu. Ekologické aspekty se musí přirozeně promítat do všech požadavků na stavby, musí se stát přirozenou součástí navrhování a realizace staveb.

■ Ekonomické požadavky

Základním principem přístupu k ekonomický kritériím v souvislostí s konstrukcemi a budovami je cílená snaha o minimalizaci společenské práce vynakládané v průběhu životního cyklu budovy při optimální míře uspokojení veškerých uživatelských požadavků.
Zvláště je třeba zdůraznit, že ekonomické požadavky by neměly být v žádném případě jednostranně upřednostňovány před ostatními. Ekonomické aspekty mohou sloužit např. pro vyhodnocení technicky rovnocenných řešení (výběr z řady variant), často jsou ale ve skutečnosti limitujícím faktorem, který ve svém důsledku ovšem určitým způsobem ohraničí výslednou kvalitu stavby nebo její části.
Při navrhování objektů pozemních staveb je vždy zdůrazňováno, že veškeré konstrukce mají být navrženy takovým způsobem, aby bylo možné je využívat k požadovanému účelu se zřetelem k předpokládané době životnosti. Jinak koncipovaný bude výstavní pavilon, jinak administrativní budova. Přitom je třeba rozlišit různé druhy životnosti:
Životnost fyzická je čas, po který může budova existovat. Souvisí především se schopností plnit konstrukčně-statické požadavky. Volí se s ohledem na účel objektu.
Životnost morální je doba, po kterou je objekt schopen plnit funkční požadavky. Předem se dá obtížně odhadnout, neboť změna zejména uživatelských požadavků neprobíhá rovnoměrně.
Životnost optimální znamená z hlediska ekonomického takovou životnost, při které je souhrn veškerých vynakládaných prostředků minimální.

Z rozboru životního cyklu budovy vyplývá například, že neúnosné omezení nákladů vynaložených jednorázově na pořízení stavby vede často k uplatnění méně kvalitních technických řešení (např. nedostatečné tepelněizolační vlastnosti konstrukcí, nedostatečná kvalita povrchových úprav). To ale vyvolá zvýšení nákladů na provoz budovy (spotřeba energie na vytápění), které se vynakládají dlouhodobě a jsou tedy v konečném výsledku mnohem vyšší, případně zvýšení nákladů na nutné opravy a náročnější údržbu (PVC jako nášlapná vrstva v komunikačních prostorách je třeba měnit mnohem častěji, než keramickou nebo kamennou dlažbu).
Je nesmírně náročným úkolem najít potřebnou míru rovnováhy mezi technickou kvalitou spojenou se životností a ekonomickými parametry.

KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY

B3

Building Materials
Baustoffe

Vzhledem k rychlému vývoji technických materiálů a nových výrobních technologií dochází v posledním období ke značnému nárůstu počtu stavebních materiálů. Materiály používané ve stavebnictví lze obecně rozdělit do čtyř skupin:

- *kovy:* železo, ocel, litina, hliník, měď, kovové slitiny
- *silikáty:* kámen, beton, keramika, sklo, sádra
- *plasty:* PVC - polyvinilchlorid, PE - polyetylen, PS -polystyren, XPS - extrudovaný polystyren, PP - polypropylen atd.
- *přírodní organické materiály:* dřevo, bambus, korek, papyrus, rákos, sláma apod.

Aby bylo možné efektivně kombinovat jednotlivé druhy materiálů,je třeba znát jejich základní vlastnosti a charakter chování ve specifických situacích. Hlavní charakteristiky, které jsou postatné z hlediska použití materiálu v konstrukcích pozemních staveb jsou:

- *fyzikální vlastnosti:* - mechanické vlastnosti, teplotní objemové změny, tepelně technické vlastnosti, akustické vlastnosti, elektrické vlastnosti, optické vlastnosti, objemová hmotnost, nasákavost, radioaktivita aj.
- *chemické vlastnosti* - odolnost proti chemické a elektrochemické korozi
- *cena*
- *dostupnost*
- *zpracovatelnost*
- *zdravotní nezávadnost*
- *recyklovatelnost*

Následující stručný přehled uvádí pouze vlastnosti nejdůležitější z hlediska konstrukčního návrhu a zdaleka nepokrývá všechny parametry. Problematikou materiálů v souvislosti s jejich použitím v konstrukci se zabývá samostatný inženýrský obor - *materiálové inženýrství.*

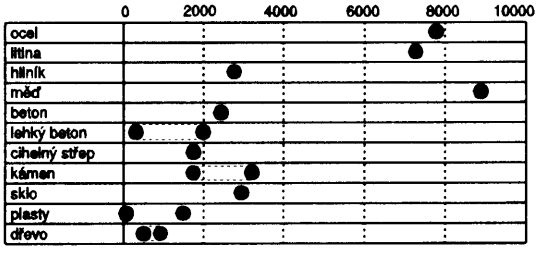
■ Fyzikální vlastnosti konstrukčních materiálů

■■ Mechanické vlastnosti

Rozhodující mechanické vlastnosti materiálů z hlediska konstrukčně statického návrhu jsou objemová hmotnost (ρ [kg/m^3]), pevnost (f [MPa]), pružnost (popsaná modulem pružnosti E [MPa]) a tažnost.

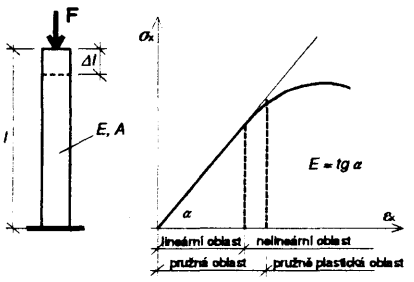
Při zatížení dochází obecně ke kombinaci pružné (elastické, vratné) deformace a plastické (nevratné) deformace. Lineárně pružné chování prutového prvku je popsáno elementárními vztahy - *Hookeovým zákonem* (Robert Hooke, Anglie, 17. století).

POROVNÁNÍ OBJEMOVÝCH HMOTNOSTÍ ρ [kg m^{-3}]



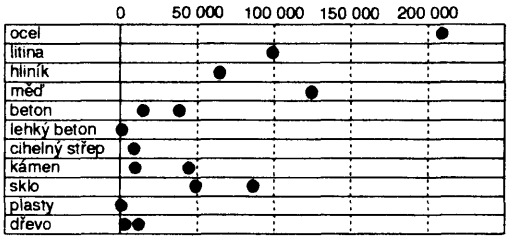
$$\sigma_x = E\,\varepsilon_x \qquad \varepsilon_x = \Delta l / l \qquad \sigma_x = F/A$$

kde	Δl	[m]	změna délky
	l	[m]	délka prvku
	ε_x	[1]	poměrné přetvoření
	E	[MPa]	Youngův modul pružnosti
	σ_x	[MPa]	normálové napětí (tlak/tah)
	F	[MN]	normálová síla
	A	[m^2]	plocha průřezu

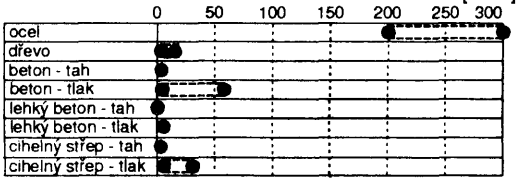


Chování materiálu při zatěžování lze popsat *pracovním diagramem* reprezentujícím vztah mezi napětím (osa *y*) a poměrným délkovým přetvořením (osa *x*). Z porovnání pracovních diagramů a mechanických charakteristik základních konstrukčních materiálů je zřejmé, že kovy mají vysoký modul pružnosti, jsou velmi pevné v tlaku a dostatečné tažné. Silikáty mají menší modul pružnosti než kovy, ale větší než přírodní organické materiály a plasty. Jsou relativně pevné v tlaku, méně pevné v tahu a křehké (především v tahu). U přírodních organických materiálů (dřevo,bambus aj.), které mají vesměs vláknitý charakter, záleží na směru jejich namáhání. Ve směru vláken jsou zpravidla několikanásobně pevnější než ve směru kolmém na vlákna. Plasty se vyznačují především vysokou tažností.

POROVNÁNÍ MODULŮ PRUŽNOSTÍ *E* [MPa]



POROVNÁNÍ VÝPOČTOVÝCH PEVNOSTÍ *R* [MPa]



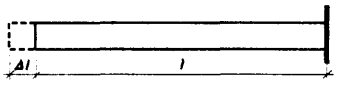
Některé mechanické vlastnosti materiálů se mění i se změnou teploty a vlhkosti. U základních konstrukčních materiálů (ocel, beton, keramika) je změna v běžných podmínkách zanedbatelná. Velmi důležitá je však v souvislosti s vysokými teplotami např. při požárech, kdy u některých materiálů dochází k rychlým změnám způsobujícím ztrátu mechanické pevnosti (u oceli již při teplotách vyšších než 350°C dochází k podstatnému snížení pevnosti a následně ke kolapsu konstrukce).

■■ Teplotní objemové změny materiálů

Veškeré materiály vystavené změně teploty mění svoje rozměry v důsledku teplotní dilatace. Velikost těchto změn je lineárně závislá na součiniteli teplotní roztažnosti α, který se pro různé materiály liší. Chování prvku při teplotním zatížení je popsáno vztahem:

$$\Delta l = l\,\alpha\,\Delta t$$

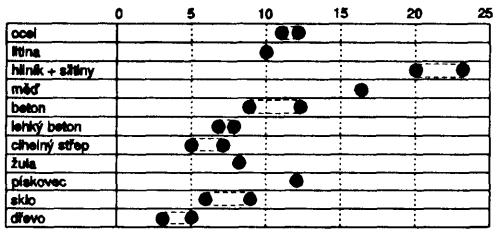
kde	Δl	[m]	změna délky
	l	[m]	počáteční délka prvku
	α	[K^{-1}]....	teplotní součinitel délkové roztažnosti
	Δt	[K]	rozdíl teplot



Velikost teplotní dilatace materiálů je podstatná z hlediska možnosti jejich kombinace v kompozitních materiálech. Pokud by jednotlivé složky kompozitního materiálu měly výrazně odlišné součinitele teplotní roztažnosti, docházelo by v důsledku změn teplot ke vzniku napětí od jejich vzájemné vazby nebo k porušení materiálu oddělením komponentů v důsledku různého protažení. Skutečnost, že ocel i beton mají součinitele teplotní roztažnosti přibližně shodné je rozhodující podmínkou pro existenci železobetonu.

Rozdíly v součinitelích teplotní roztažnosti materiálů je třeba uvažovat při návrhu konstrukce, kde dochází k pevnému spojení jednotlivých materiálů a konstrukcí. Nebezpečí vzniku poruch a nežádoucího namáhání od teplotní dilatace se omezuje správným návrhem *dilatačních spár* mezi jednotlivými prvky konstrukce i celými úseky objektů (viz kap. D).

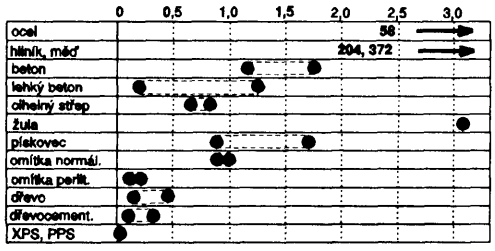
POROVNÁNÍ SOUČINITELŮ TEPLOTNÍ DÉLKOVÉ ROZTAŽNOSTI α [1/K]



■■ Tepelně technické vlastnosti:

Pro návrh konstrukcí z hlediska požadavků tepelné techniky je rozhodující tepelná vodivost materiálu λ [W $m^{-1}K^{-1}$]. Tepelná vodivost materiálu je významně závislá na objemové hmotnosti (souvisící s pórovitostí materiálu) a vlhkosti. Materiály s velkou objemovou hmotností (kovy, kámen, beton aj.) jsou dobrými vodiči tepla a naopak materiály s menší objemovou hmotností (lehký beton, dřevo aj.) jsou špatnými vodiči tepla - tzn. mají lepší tepelně izolační vlastnosti. Některé materiály na bázi plastů a materiály obsahující velké množství pórů a vzduchových dutin mají velmi nízký součinitel tepelné vodivosti a používají se jako tepelně izolační materiály (pěnový polystyren, desky a rohože z minerálních nebo skelných vláken aj.). Větší vlhkost pórovitých materiálů způsobuje zvýšení součinitele tepelné vodivosti tzn. snížení tepelně izolačních vlastností materiálů.

POROVNÁNÍ SOUČINITELŮ TEPELNÉ VODIVOSTI λ [W $m^{-1}K^{-1}$]



■■ Akustické vlastnosti

Pro vlastní materiál je z akustického hlediska podstatná schopnost zvukové vlny odrážet → *činitel zvukové odrazivosti* γ a schopnost zvuk pohlcovat → *činitel zvukové pohltivosti* α. Větší pohltivost mají látky vláknité a s otevřenými póry.

Akustické vlastnosti stavebních konstrukcí (stěn, stropů, příček aj.) jsou závislé nejenom na akustických parametrech jednotlivých materiálů skladby konstrukce, ale především na celkové sestavě a spojení prvků a posuzují se z hlediska *vzduchové neprůzvučnosti* a *kročejové neprůzvučnosti* (viz kap. B2). Vzduchová neprůzvučnost konstrukce je silně závislá na plošné hmotnosti jednotlivých vrstev (čím je plošná hmotnost větší, tím je zpravidla větší i vzduchová neprůzvučnost).

■■ Elektrické vlastnosti

Z hlediska konstrukcí pozemních staveb je podstatná *elektrická vodivost* materiálů používaných pro rozvody elektrické energie (vodiče z kovů: měď, hliník), hromosvody, výztužné oceli v případě předepínání betonu elektroohřevem aj. S širším uplatňováním plastů pro konstrukce je zvýrazněn i problém *statické elektřiny* (vznik elektrického náboje) jejíž vybití může mít nepříznivé, škodlivé až nebezpečné účinky na provoz v objektu (ohrožení lidí, ohrožení počítačové nebo jiné techniky, možnost vzniku požáru).

■■ Optické vlastnosti

Pro konstrukční návrh jsou podstatné *propustnost světla*, *odraz světla* (reflexe) a *pohlcení světla* (absorbce) materiálem. Především se těmito vlastnostmi zabýváme u transparentních materiálů určených pro zajištění denního osvětlení vnitřních prostor - tj. různých typů skla, transparentních plastů (polykarbonáty aj.).

■ Chemické vlastnosti konstrukčních materiálů

Vzduch a vlhkost obklopující stavební materiály obsahuje malá množství agresivních chemických sloučenin. Za určitých podmínek mohou tyto sloučeniny reagovat s materiálem konstrukce a degradovat tak jeho vlastnosti.

■■ Odolnost proti korozi

Koroze je rozrušení materiálu *chemickým* nebo *elektrochemickým* působením prostředí. Korozi lze bránit vhodnou volbou materiálu pro dané prostředí, vhodnou skladbou konstrukce (např. nevhodný kontakt dvou prvků z různých kovů - např. ocel a hliník - může vyvolat elektrokorozi jako důsledek vzniku tzv. *makročlánku*) nebo povrchovou úpravou (izolací) proti korozi. Koroze se nejčastěji týká *kovů* (ocel, měď, hliník), ale i nekovových materiálů jako je *beton* a *plasty*.

Koroze kovů je nejčastěji způsobena elektrochemickým působením prostředí. Na povrchu kovu obklopeného elektrolytem (nejčastěji vodou) vzniká elektrochemická reakce, jejímž výsledkem jsou korozní produkty (rez) na povrchu materiálu. V případě některých kovů a za určitých podmínek tato vrstva korozních produktů může sloužit jako ochrana kovu před dalším pokračováním koroze do hloubky materiálu (např. u mědi, za určitých podmínek i u oceli). U běžných konstrukčních ocelí je třeba provádět protikorozní povrchové úpravy *nátěry* nebo *pokovením* (vrstvičkou jiného ušlechtilého kovu - např. Ni, Cr). Někdy se pro ocelové konstrukce používá speciální oceli se zvýšenou odolností proti atmosférickým vlivům - ocel Atmofix (ochrana je tvořena pevnou vrstvou korozních produktů na povrchu prvku).

Koroze betonu je způsobována agresivními látkami obsaženými ve vodě i ve vzduchu. Chemickým působením agresivních látek dochází k vyluhování a postupnému snižování pevnosti cementového tmelu a zároveň ke krystalizaci produktů koroze v pórech betonu. Rostoucí krystaly vyvozují tlaky v pórech a postupně rozrušují beton.

Koroze železobetonu představuje komplikovaný kombinovaný mechanismus chemického a mechanického narušení materiálu zahrnující narušení povrchové betonové krycí vrstvy (korozí betonu) a korozi nosné výztuže železobetonového prvku. Po období, kdy byl beton a železobeton považován za materiál s téměř neomezenou trvanlivostí, se otázka koroze betonových konstrukcí, jejich sanace a ochrany dostala na popředí zájmu.

■ Ekonomické a technologické charakteristiky

■■ Cena a dostupnost materiálu

Pro volbu vhodného stavebního materiálu nejsou rozhodující pouze jeho materiálové vlastnosti, ale stejnou měrou i cena, která musí odpovídat dosaženým výsledným parametrům konstrukce. Je zřejmé, že při použití diamantu jako plniva do betonu by se pevnost zvýšila, ale zároveň extrémní cena takovéto konstrukce by jistě neodpovídala dosaženému efektu.

Cena stavebního materiálu je závislá na jeho dostupnosti tzn. na oblasti, ve které se stavba realizuje. V místech s dostatečnými zdroji určité suroviny (železa, dřeva, keramické hlíny, kamene) budou pravděpodobně výrobky z této suroviny levnější než v místech, kde je suroviny nedostatek nebo se musí dovážet. Dopravní náklady tak mohou zcela zásadně ovlivnit cenu výsledných produktů. Cenu ovlivňuje také cena pracovní síly, která je v různých státech různá. Tyto aspekty podstatným způsobem ovlivňují materiálovou základnu stavebnictví v určitých zemích a oblastech. Není tedy náhodou, že v mnohých částech světa je např. značně rozšířená výstavba ze dřeva (Kanada, USA, Skandinávie) a naopak v některých zemích téměř úplně chybí.

Ve středoevropských podmínkách je stavebnictví založeno především na *silikátové materiálové bázi* zahrnující v sobě konstrukce betonové a konstrukce z keramických materiálů. V poslední době se začínají více uplatňovat ocelové stavby přes to, že ocel je relativně velmi drahá, ale na druhé straně umožňuje vyšší míru zprůmyslnění výstavby a snížení staveništní pracnosti.

Minimalizace ceny realizace objektu pozemních staveb je cílem optimalizačních snah ať již intuitivními nebo matematickými metodami (viz kap B4). Cena materiálu a technologie zpracování je zpravidla základním a rozhodujícím parametrem ovlivňujícím volbu optimálního řešení. S ohledem na požadavky zajištění trvale udržitelného rozvoje je třeba do ceny zahrnout i veškeré externality vyjadřující ekologické aspekty použití určitých materiálů (obnovitelnost zdrojů suroviny, svázané hodnoty spotřeby energie a škodlivých emisí aj. - viz dále).

■■ Zpracovatelnost

Zpracovatelnost materiálu úzce souvisí s cenou pracovní síly v dané oblasti. Jsou materiály a technologie výstavby vycházející z malých prvků a nevyžadující těžkou dopravu a manipulaci na stavbě (vhodné především v místech, kde je levná pracovní síla) a jsou materiály a technologie, které vyžadují průmyslové zpracování, dopravu speciálními prostředky a specializovanou montáž. Zpracovatelnost je tak parametrem, který ovlivňuje nejenom vlastní návrh a technologii výstavby určité konstrukce, ale především i její cenu.

■ Ekologická kritéria

■■ Zdravotní nezávadnost

V současnosti velmi sledovaným parametrem je *zdravotní nezávadnost stavebních materiálů*. V dřívějších dobách se používaly i materiály, které jsou v současnosti vzhledem ke zdravotní závadnosti zakázány pro konstrukční použití. Příkladem jsou výrobky z azbestu (azbestocementová krytina, obkladové fasádní desky, potrubí aj.), výrobky z dřevotřískových desek lepených lepidly obsahujícími formaldehyd aj. Vzhledem k nebezpečnosti azbestu (karcinogenní materiál) je v některých státech nejenom zakázáno jeho používání, ale v případě jeho použití u starších staveb se musí odstranit a nebo zakonzervovat, tak aby nemohlo dojí k uvolňování azbestových vláken. V souvislosti s ekologickými tendencemi se i u nás rozvíjí trend tzv. *ekologického stavění* založeného na používání ekologicky čistých stavebních materiálů. Často jsou v rámci těchto přístupů uplatňovány staré technologie stavění ze dřeva, nevypálené hlíny apod.

■■ Svázané hodnoty spotřeby energie a škodlivých emisí

Každý konstrukční materiál použitý ve stavbě vyžaduje v průběhu svého životního cyklu určité energetické a materiálové vstupy a produkuje škodlivé emise a odpady. Z hlediska komplexního hodnocení vlivu stavebních konstrukcí na životní prostředí se posuzují hodnoty ekvivalentní svázané spotřeby energie a vyprodukovaných škodlivých emisí v rámci celého nebo části životního cyklu: tj. těžba surovin → výroba stavebního materiálu → výroba konstrukčního prvku → doprava → výstavba → užívání → údržba, rekonstrukce, modernizace → demolice → recyklace.

Obecně akceptovanými ekvivalenty pro hodnocení vlivu stavebních konstrukcí na životní prostředí jsou:

- *svázaná spotřeba energie* (embodied energy),
- *svázaná produkce* CO_2 (embodied CO_2) - hodnocení z globálního hlediska - globální oteplení
- *svázaná produkce* SO_2 (embodied SO_2) - hodnocení z regionálního hlediska

Svázané hodnoty představují celkové množství energie nebo emisí CO_2 a SO_2, které byly spotřebovány resp. vyprodukovány, aby mohl určitý konstrukční prvek existovat a plnit svoji funkci.

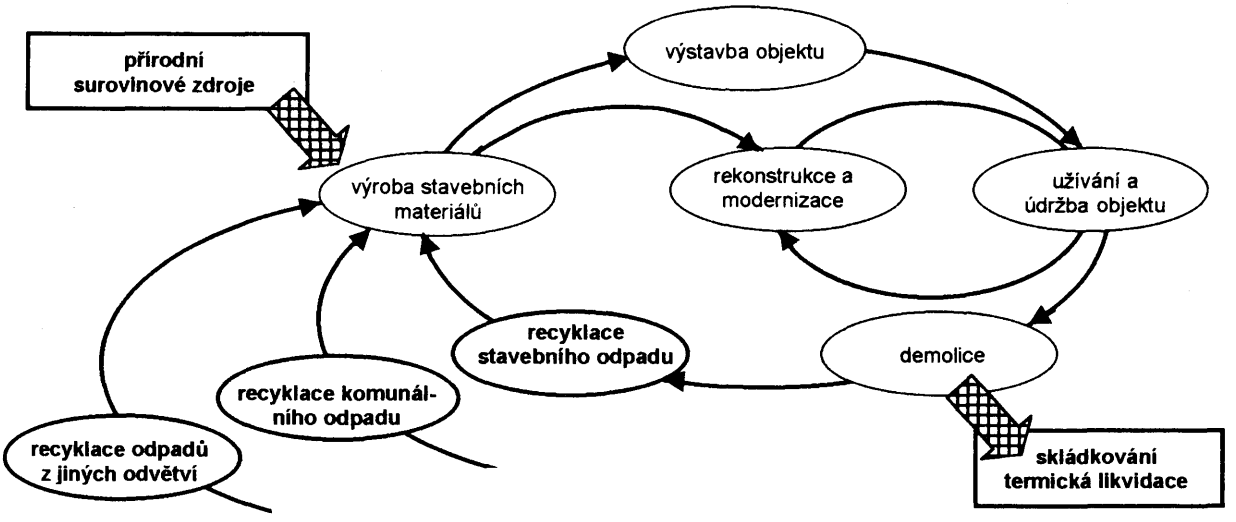
Pro stanovení svázaných hodnot konkrétních konstrukcí je třeba znát jednotkové hodnoty pro jednotlivé materiály. Určení těchto hodnot musí být založeno na podrobném statistickém rozboru celého výrobního procesu a představuje tak velmi složitý problém. V zahraničí se objevují databáze s hodnotami zpravidla vztaženými k okamžiku zabudování prvku do konstrukce. V uvedené tabulce jsou zřejmé výrazné rozdíly mezi měrnými svázanými hodnotami jednotlivých materiálů. Záporná hodnota u dřeva vyjadřuje skutečnost, že množství spotřebovaného CO_2 v průběhu vlastní produkce (růstu) dřeva je vzhledem k fotosyntéze větší než produkce CO_2 během těžby, zpracování a dopravy dřevěných prvků.

Svázané hodnoty vybraných konstrukčních materiálů

zpracováno podle SIA-Documentation D 0123, Švýcarsko	svázané (embodied) hodnoty		
	energie MJ/kg	CO_2 kg/kg	SO_2 g/kg
beton	0.8	0.13	0.5
pórobeton	4.2	0.46	1.4
cihla	2.7	0.25	0.9
malta	1.4	0.18	0.6
lehká malta	2.5	0.28	0.9
výztužná ocel	13.0	0.77	3.6
konstrukční ocel	39.0	2.59	11.5
hliníkový plech	410.0	20.98	152.0
dřevo - řezivo	4.7	-1.44	2.2

■■ Recyklovatelnost, opětné využití recyklovaných materiálů ve stavebnictví

Výrazné snížení spotřeby primárních neobnovitelných surovin je základním principem zajištění udržitelného rozvoje. Požadovanou rovnováhu ve využívání přírodních materiálů lze hledat ve formě uzavřených cyklů materiálů při jejich užívání ve výrobě. Toho lze dosáhnout prostřednictvím maximálního využívání recyklovaných materiálů jako náhrady za materiály z primárních surovin. Stavebnictví, které je charakteristické používáním velkých objemů materiálů v relativně nenáročných technologiích, má předpoklady pro využívání materiálů získaných z terciální recyklace (recykláty z výrobků a konstrukcí, které mají již ukončenou životnost a jsou odpadem). Jako suroviny pro recyklaci lze využít nejenom stavebních odpadů, ale i odpadů z jiných průmyslových odvětví nebo komunálního odpadu.



Recyklací se rozumí využití starého materiálu pro nové použití. Často jsou náklady na recyklaci konstrukce značně vysoké, zpravidla podstatně vyšší než vlastní hodnota nově získané suroviny. Nejsnažší recyklovatelnost je u ocelových konstrukcí, kde lze téměř bez ztrát využít původní ocel jako surovinu pro výrobu nových ocelových prvků. Cihelné stavby lze rozebrat a celé cihly znovu použít, případně po rozdrcení použít cihelných kousků jako plniva do betonu. Obtížnější je demolice a recyklace železobetonových konstrukcí. V současnosti existují technologické postupy pro rozrušení a rozbití železobetonové konstrukce, oddělení ocelové výztuže a rozdrcení betonu na malé kousky. Rozdrcený beton se používá místo kameniva jako plnivo do nového betonu.

KONSTRUKČNÍ NÁVRH

B4

Structural Design
Konstruktives Entwerfen

Hlavní cíl činnosti v oblasti návrhu a realizace objektů pozemních staveb musí být vytvoření kvalitního prostředí pro daný účel. Znamená to navržení a realizaci provozně promyšleného, architektonicky, esteticky vyřešeného objektu, splňujícího požadavky z hlediska vnitřního prostředí i požadavky ve vazbě na okolí objektu (viz B2), přičemž kvalita by měla být zajištěna po dobu celé předpokládané životnosti objektu (viz B5). Volba materiálů, technologií výroby a výstavby i konstrukčního řešení musí respektovat obecné požadavky zajištění trvale udržitelného rozvoje (viz B1).

■ Systémový model objektu

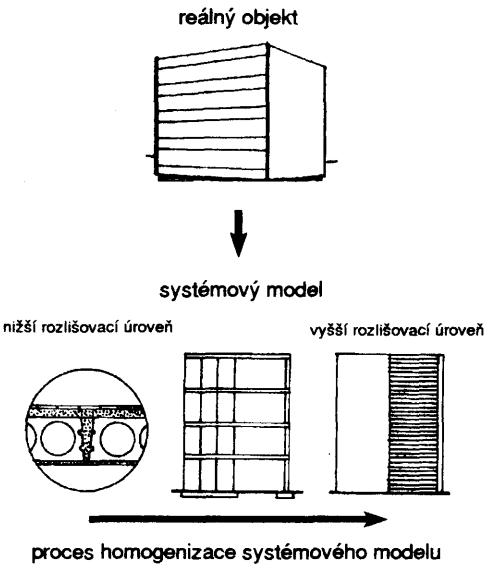
Podstatou systémového pohledu na stavební objekt je definovat a utřídit složitý komplex prvků, vazeb mezi nimi a jejich funkcí, které ve svém souhrnu vytvářejí stavební objekt. Cílem je vytvoření *systémového modelu* zahrnujícího podstatné prvky a vlastnosti z hlediska problému, pro který je model určen.

■■ Členění na subsystémy a konstrukční prvky

V teorii systémů je *systém* definován jako *celek tvořený z množiny prvků a vazeb mezi nimi, existující v interakci s okolím a prokazující cílové chování.* Cílové chování systému představuje takový vývoj systému, jenž je určován dynamickými vlastnostmi prvků systému a vlastnostmi okolí.

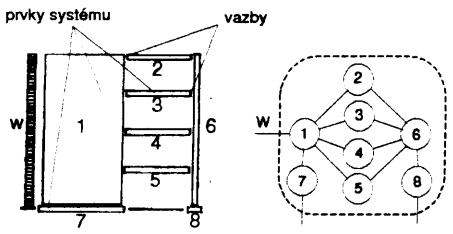
Stavební objekt je celek skládající se ze značného množství navzájem propojených konstrukčních prvků, které jsou vzhledem k vnějšímu působení okolí (zatížení, přírodní vlivy apod.) ve vztahu vzájemné interakce (spolupůsobení). Jde o velmi složitý komplex mnohoparametrických funkcí prvků a vztahů mezi nimi, který je závislý na jejich geometrických, fyzikálních, chemických a dalších vlastnostech. Tyto vlastnosti jsou obecně závislé na čase.

Přesně popsat ve všech podrobnostech konstrukční systém objektu prakticky nelze a proto je třeba jej homogenizovat a získat tak zjednodušený (homomorfní) model originálního systému. Podrobnost systémového modelu je dána rozlišovací úrovní tj. měřítkem reprezentace jednotlivých konstrukčních částí v modelu. Prvkem systémového modelu může být samostatný stavební dílec (např. stropní panel, tvárnice ale i vrstva malty nebo betonu), část konstrukce složená z dílců (např. sloup, stěna, stropní deska) nebo celá nosná konstrukce objektu. (Pozn.: v duchu systémové teorie by v závislosti na rozlišovací úrovni mohly být prvky systémového modelu i atomy nebo molekuly konstrukčních látek - je zřejmé, že takovýto model by nebyl účelný, ale ani reálný z hlediska stávající úrovně poznání ani z hlediska stávající úrovně techniky zpracování modelů na počítačích.). Z uvedeného vyplývá základní problém stanovení míry *přípustného zjednodušení* (tj. zanedbání nebo zjednodušení určitých vlastností a vazeb prvků) a problém výběru rozhodujících vlastností.



Aby bylo možné pracovat se složitým heterogenním komplexem prvků a subsystémů tvořících konstrukční systém je vhodné (**a nutné**) jej rozdělit na jednotlivé subsystémy a prvky a definovat jejich vzájemné vazby (společná rozhraní - *interface*) a vlastnosti podstatné pro chování v systému.

Spojením jednotlivých prvků nebo subsystémů v jeden celek pomocí vazeb dochází vzhledem k interakci s okolím ke vzájemnému ovlivňování mezi prvky systému (interakci). Pro konkrétní návrh a analýzu se vybírají pouze ty vlivy okolí, které jsou z hlediska sledovaných účinků podstatné.



1 - stěna , 2, 3, 4, 5, - příčle, 6 - sloup
7, 8 - základy, w - zatížení větrem

Systémový model pro statickou analýzu

■■ Systémový model objektu pozemních staveb, subsystémy a jejich funkce

Z předchozí kapitoly je zřejmé, že může existovat celá řada systémových modelů téhož objektu v závislosti na míře zjednodušení a účelu, pro který bude systémový model sloužit. Systém objektu pozemních staveb lze podle hlediska základní funkce rozdělit na čtyři základní subsystémy (viz také kapitola A2):

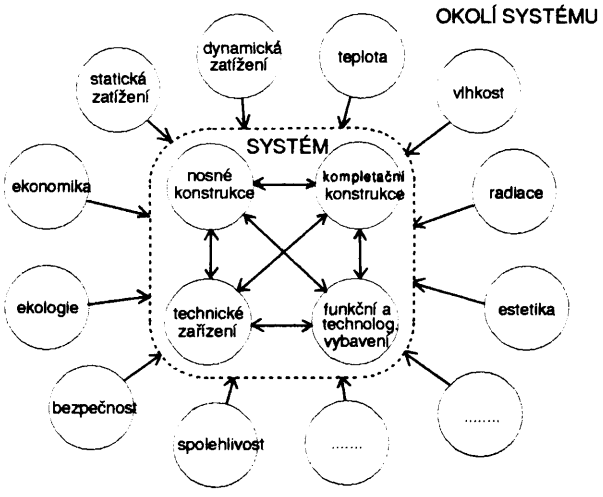
- *subsystém nosných konstrukcí* - primární funkcí je přenášení zatížení působících na objekt (zatížení od vlastní tíhy konstrukcí, užitná zatížení, klimatická zatížení aj.); do subsystému nosných konstrukcí patří základové konstrukce, svislé nosné konstrukce, stropní konstrukce, schodiště a další konstrukce podílející se na nosné funkci,

- *subsystém kompletačních - obalových a dělicích konstrukcí* - primární funkcí je vytvoření vnitřního prostředí požadovaného pro daný účel a zároveň i dotvoření vnějšího prostředí (po stránce provozu, estetiky, bezpečnosti a hygieny); z hlediska konstrukčně statického jde o *subsystém primárně nenosných konstrukcí*; do subsystému kompletačních konstrukcí patří např. obvodové pláště, střešní pláště, příčky, podlahy, výplně otvorů aj.),

- *subsystém konstrukcí technického zařízení* - funkcí subsystému je zajišťovat
  a) technický stav vnitřního prostředí (zajištění tepelně-vlhkostního mikroklimatu, zrakové pohody, odérového mikroklimatu aj.),
  b) distribuci energie a dalších médií (elektrická energie, voda, plyn, slaboproudé rozvody aj.) a
  c) odstranění odpadů (kanalizační splašky, tuhé odpady);
  do subsystému technického zařízení patří: elektroinstalace, sanitární instalace (vodovod, kanalizace), rozvod plynu, vytápění, vzduchotechnika aj.

- *subsystém konstrukcí funkčního a technologického vybavení* - funkcí subsystému je zajištění provozní funkce v objektu; do subsystému patří interiérové vybavení, výrobní zařízení, zařízení pro skladování a dopravu (včetně výtahů, eskalátorů aj.), s objektem související exteriérové vybavení aj.

Systém existuje v interakci s okolím. Okolí systému v sobě zahrnuje veškeré vnější zatěžovací vlivy (statická zatížení, dynamická zatížení, teplota, vlhkost atd.), ale i další vlivy týkající se návrhu konstrukce (estetika, ekonomie, ekologie, bezpečnost, spolehlivost apod.).



■ Technika projektování

PROJEKČNÍ ČINNOST MUSÍ BÝT VE SVÉ PODSTATĚ CÍLENOU SNAHOU O DOSAŽENÍ OPTIMÁLNÍHO ŘEŠENÍ KONSTRUKCE

Konstrukční navrhování objektů pozemních staveb je *interaktivní souhra umění a vědy*, která je založena na *zkušenostech*, *znalostech* a *umění* projektanta (inženýra nebo architekta) především v oblastech:

- architektonických principů (provozních, urbanistických a estetických) ,
- konstrukčně statických principů a jejich analýzy,
- stavebně fyzikálních principů a jejich analýzy

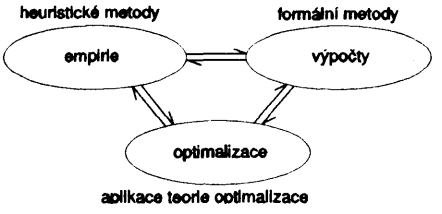
a dalších principů vyplývajících z požadavků na objekty pozemních staveb (viz kapitola B2).

Podstatná pro kvalitu výsledného návrhu je schopnost projektanta přizpůsobit konstrukční formy technickým, estetickým a dalším požadavkům (= *kreativní schopnost projektanta*). Smyslem projektování není navrhnout jakékoliv možné řešení splňující předepsané požadavky, ale v *iterativním procesu* (cyklicky opakovaném) hledat optimální řešení představující v řadě možných variant nejvýhodnější řešení ať již po stránce statické, stavebně fyzikální, tak po stránce estetické, provozní, technologické, ekonomické atd.

■■ Proces návrhu

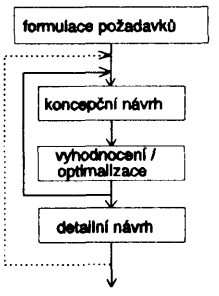
Za účelem přiblížení se k optimálnímu řešení je třeba vyhodnotit řadu alternativ na základě některého ze tří přístupů nebo jejich kombinace:

- *heuristické přístupy* (využití empirických poznatků - zkušeností z předchozích projektů a realizací),
- *formální metody* (využití výpočtů na matematickém výpočetním modelu konstrukce),
- *optimalizační přístupy* (založené na aplikaci teorie optimalizace - nalezení extrému cílové funkce).



Uvedené přístupy však nemohou existovat izolovaně, ale vzájemně využívají dosažených výsledků a poznatků. Matematická optimalizace využívá empirických znalostí a matematických modelů pro stanovení a porovnání efektivnosti jednotlivých alternativ řešení. Na druhé straně se generalizované zkušenosti z opakovaných výpočtů na matematických modelech a z řešení optimalizačních úloh mohou stát novými empirickými poznatky a zároveň vstupy pro vývoj progresivnějších výpočetních modelů konstrukce.

Projekční návrh je *iterativní proces*, který se cyklicky opakuje do dosažení řešení, které je z hlediska projektanta, investora i dodavatele kvalifikováno nejenom jako přípustné, ale jako dobré, eventuálně optimální (je třeba si uvědomit, že vzhledem k mnohoparametrické úloze, jakou projektování je, lze těžko optimum prokazatelně dosáhnout). Míra schopnosti přiblížit se k optimálnímu řešení je kritériem, kterým je podvědomě i přímo hodnocena úroveň projektanta ze strany investora i dodavatele a v konkurenčním prostředí se může stát zcela rozhodující z hlediska profesní úspěšnosti projektanta.



Řada iteračních cyklů v rámci procesu návrhu probíhá na základě zkušeností v úvahách projektanta a nevýhodné varianty jsou bez dalšího propracování automaticky zavrhovány. Prověření výpočty a rozkreslením se provádí zpravidla na vybraných alternativách, u kterých nelze předem odhadnout jejich výhodnost nebo nevýhodnost v porovnání s ostatními řešeními. Znamená to, že iterativní proces hledání optimálního řešení nemusí nutně představovat neúměrné zvyšování úsilí a času projektanta (závisí to na zkušenostech a schopnostech projektanta tyto zkušenosti aplikovat v jiných souvislostech).

■■ Využití výpočetní techniky při projektování

Využití výpočetní techniky se stalo nedílnou součástí procesu projektování ať již v oblasti analýzy konstrukcí, tak v oblasti grafického a textového zpracování projektu. Zejména projektování pomocí počítačů je dnes již pokládáno za ověřený způsob jak zvýšit efektivitu nejenom vlastních projekčních prací, ale i výstavby. Efektivitu projekčních prací a výstavby lze při použití počítačů pozitivně ovlivnit vzhledem k možnosti:

- dosažení větší přesnosti,
- snížení nebezpečí vzniku chyby,
- zvýšení rychlosti řešení,
- vzhledem k rychlosti řešení umožnění zpracování většího množství alternativ za účelem získání varianty co nejbližší k optimálnímu řešení; možnost parametrických studií alternativních řešení,
- možnost vytvoření digitální formy projektu, vhodné pro snadné a rychlé zaznamenávání změn, a to nejenom v procesu projekce a realizace, ale i během provozu objektu a v případech změn.

Automatizace projektování obecně představuje využívání prostředků výpočetní techniky při projektování výrobků, v našem případě staveb. Současným standardem projektování při využití výpočetní techniky je osa:

textový editor, event. tabulkový procesor - databáze - profesní programy - systém CAD

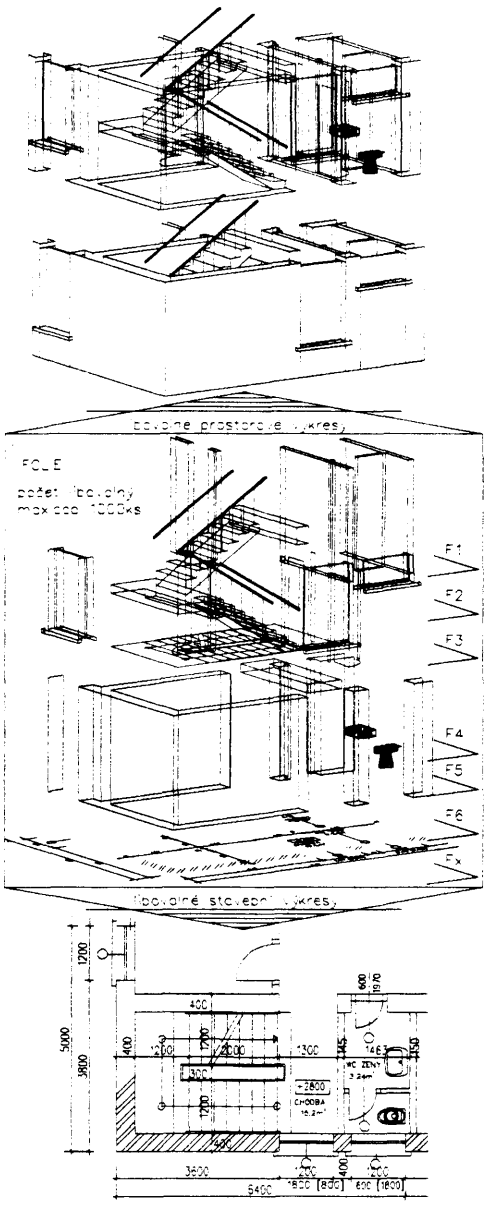
Zatímco u prvních skupin jde o využití všeobecné, využívání profesních programů je vázané na určité oblasti projektu, především návrh konstrukce (statika, technická zařízení budov, stavebně-fyzikální, ekonomika, geotechnika, technologie staveb aj.).

Využívání společných dat v propojených programech: Tato možnost naznačuje ne zatím běžný, globální přístup k projektování s vazbami na realizaci výstavby a se společnými daty jednou vytvořenými a poté využívanými v programech společného prostředí CAD. Uvedený případ lze vyjádřit základní osou:

výkresová dokumentace - profesní výpočty - - plánování - rozpočty staveb

Rozhodujícím řídícím systémem je sám systém CAD, který nejen tvoří společné programové prostředí, ale zároveň zajišťuje i vzájemnou vazbu mezi grafickými daty a systémovou databankou.

Přes veškeré výhody výpočetní techniky však zůstane tradiční forma projektování (tužka, papír) základní technikou, která v mnoha případech bude efektivnější a přirozenější (např. primární architektonické a konstrukční návrhy a studie, předběžné výpočty a vyhodnocení, koncepční návrhy detailů apod.).



■■ Optimalizace návrhu

Optimální návrh konstrukce je závislý na mnoha *kritériích* fyzikálního, ekonomického, provozního aj. charakteru. Komplexní formulace takto definovaného *multikriteriálního optimalizačního problému* je velmi náročná z hlediska vah vzájemného ohodnocení jednotlivých kritérií i z hlediska jejich funkčního vyjádření. Obecně komplexní problém vede na sestavení více *účelových funkcí*, které mohou být z hlediska jejich nezávislé optimalizace ve vzájemném protikladu (např. čím větší plošná hmotnost stropu, tím lepší akustické vlastnosti (+), ale tím větší spotřeba materiálu (-) a větší zatížení na vlastní konstrukci stropu i ostatní konstrukce (-)). Často se multikriteriální problém převádí na problém monokriteriální vyjádřením některých kritérií ve formě *omezujících podmínek*.

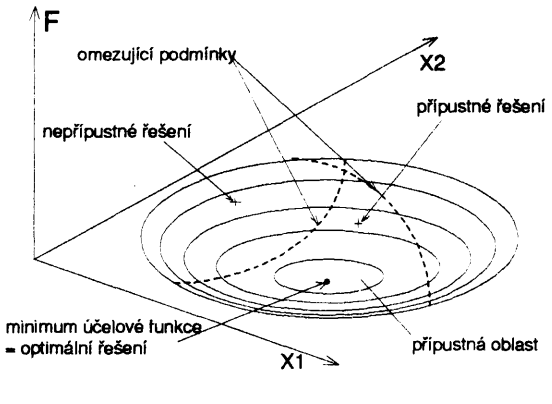
Cílem optimalizace je vybrat nejlepší řešení z množiny možných (*přípustných*) variant z hlediska určitého kritéria. Hodnotícím kritériem může být např. spotřeba konstrukčních materiálů, hmotnost konstrukce, finanční náklady na realizaci, finanční náklady na provoz, celková energetická náročnost, spolehlivost konstrukce, akustické nebo tepelně technické vlastnosti, životnost konstrukce aj. Velmi často se používá kritérií vyjádřených v *cenových nákladech* → cena je vhodným společným jmenovatelem pro posuzování různých kritérií (podle zásady: jablka nelze sčítat s hruškami, ale cenu jablek lze sčítat s cenou hrušek).

Hodnoty kritéria jsou popsány *účelovou (cílovou) funkcí* F, která nabývá hodnot v závislosti na hodnotě *proměnných návrhu* x_i. Cílem je *minimalizovat* (resp. maximalizovat) hodnotu kritéria (účelové funkce) prostřednictvím změn proměnných návrhu při splnění *omezujících podmínek*. Omezující podmínky jsou dány příslušnými normovými požadavky a dalšími požadavky investora a projektanta. Z matematického hlediska jde o nalezení *minima účelové funkce*. Obecně lze optimalizační problém formulovat zápisem

$$\min F(\{x\})$$

při splnění omezujících podmínek: $g_j(\{x\}) \leq 0$

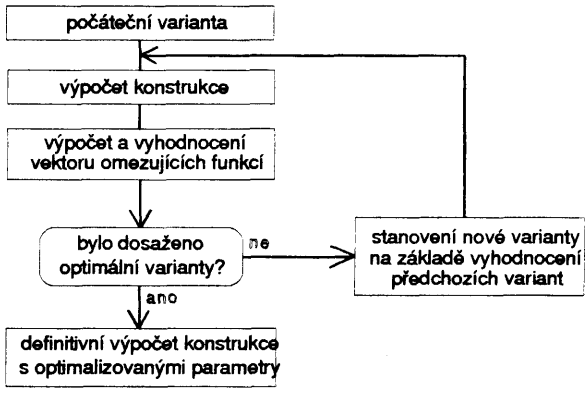
a $h_k(\{x\}) = 0$,



Grafické znázornění účelové funkce se dvěma optimalizačními proměnnými x_1 a x_2

kde $F(\{x\})$ .... účelová (cílová) funkce závislá na vektoru optimalizačních proměnných návrhu,
$\{x\}$ .... vektor optimalizačních proměnných x_i ,
$\{g\}$, $\{h\}$ .... vektory funkcí omezujících podmínek g_j a h_k.

Stanovení optimálního řešení (odpovídajícího minimu účelové funkce) lze provést pomocí *analytické* nebo *numerické* metody řešení. Analytické řešení je omezeno pouze na velmi jednoduché typy problémů. Pro běžné úlohy praxe se používají numerické metody založené na *iteračním procesu* hledání optimálního řešení. V průběhu každého iteračního cyklu jsou v rámci analýzy konstrukce vyčíslovány hodnoty veličin, které jsou porovnávány se stanovenými mezemi ve vektoru omezujících funkcí. Na základě vyhodnocení jsou podle příslušného algoritmu upravovány velikosti proměnných návrhu tak, aby se hodnota účelové funkce přibližovala k extrému v rámci stanovené přípustné oblasti.



Obecný iterační algoritmus procesu optimalizace

■ Principy konstrukčního návrhu

Konstrukční návrh vychází z požadavků specifikovaných investorem (resp. uživatelem) a z technických požadavků stanovených nebo doporučených technickými normami s cílem dosažení požadovaného standardu, spolehlivosti a bezpečnosti (viz kap. B2). Za účelem zefektivnění výstavby (tzn. snížení nákladů a zrychlení výstavby) se využívá koordinace rozměrů a tvarů dílů stavby i celých objektů. Tomu slouží stanovené zásady rozměrové a modulové koordinace, unifikace a typizace.

■■ Rozměrová a modulová koordinace, unifikace a typizace

Rozměrová a modulová koordinace, unifikace rozměrů a typizace stavebních dílů a konstrukčních systémů se zabývají sjednocováním rozměrů stavebních prvků a konstrukcí tak, aby je bylo možné účelně a ekonomicky kombinovat při návrhu a realizaci stavebního objektu. Potřeba koordinace a unifikace rozměrů souvisí především s průmyslovou výrobou dílů i celých konstrukčních systémů (cihly, stropní a stěnové panely, okna, dveře, prefabrikované soustavy aj.) a vytváří tak podmínky pro jejich sériovou výrobu. Modulová koordinace rozměrů prvků zároveň umožňuje zajistit jejich bezkolizní návaznost ve stycích.

Snaha o zjednodušení a zrychlení výstavby výrobou prvků, jejichž rozměry jsou stejné nebo v určitých násobcích, je velmi stará. Shodné rozměry prvků umožňují jejich hromadnou výrobu, usnadňují dopravu a především vlastní stavění. Již ve starém Egyptě a Řecku se vycházelo z modulů odvozených od proporcí lidské postavy. V Egyptě se používalo modulu vycházejícího z délky lidského loktu (královský loket - 0.525 m), v antickém Řecku bylo kamenné stavitelství založeno na principu předem vyrobených dílů, které byly vyráběny v přesných rozměrech a které vycházely z násobků délkových jednotek (athénská stopa). Již zde lze hovořit o uplatnění principů *rozměrové a modulové koordinace* prvků.

S rozvojem techniky je spjata tendence zvyšovat produktivitu a efektivnost výroby. Jedním z prostředků je i *standardizace* prvků a jejich rozměrová a modulová koordinace. Mnoho typů výrobků má *unifikované rozměry*, které se používají a) *v rámci jednoho výrobního programu* (LEGO, Barbie, průvlak systému MS 71), b) *v rámci státu nebo územního regionu* (cihly, láhve), c) *kontinentu* (rozchod kolejnic) nebo d) celého *světa* (diskety, CD disky, filmy do fotoaparátů).

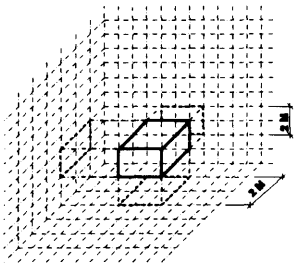
Modulová koordinace

Modulová koordinace je souhrn pravidel pro určování skladebných rozměrů prvků a objektů. Cílem modulové koordinace je zajistit soulad mezi rozměry prvků pomocí rozměrových jednotek - *modulů*. *Základní modul* ve stavebnictví se rovná 100 mm, *odvozené moduly* jsou jeho násobky nebo zlomky.

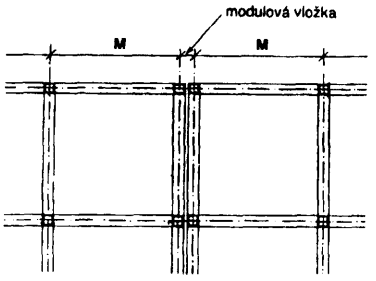
základní modul	odvozené moduly zvětšené	odvozené moduly zmenšené
M = 100 mm	3 M = 300 mm 6 M = 600 mm 12 M = 1200 mm 15 M = 1500 mm 30 M = 3000 mm 60 M = 6000 mm	1/100 M = 1 mm 1/50 M = 2 mm 1/20 M = 5 mm 1/10 M = 10 mm 1/5 M = 20 mm 1/2 M = 50 mm

Pro typizaci prvků a dílů stavby se používá rozměrových řad odvozených z uvedených modulů. Rozlišují se rozměrové řady *jednoduché* - tj. odvozené z jednoho modulu (např. 300, 600, 900, 1200, 1500 ..... atd.) nebo *složené*, odvozené ze dvou nebo více modulů (např. 300, 600, 900, 1200, 1800, 2400 .... atd.).

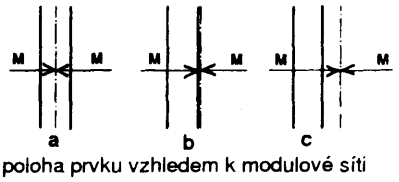
Základem pro konstrukční návrh by měla být *modulová prostorová síť* vycházející z vybrané modulové řady. Půdorysná modulová síť nejčastěji vychází ze čtvercové nebo obdélníkové osnovy, ale může být založena i na osnově trojúhelníkové nebo víceúhelníkové. V rámci jednoho objektu nemusí být (a zpravidla také není) pouze jediná modulová síť. Jedna modulová síť může být zvolena pro návrh nosného systému, podle jiné modulové sítě se může řídit skladba obvodového pláště, podhledů, příček aj. V případě narušení modulové osnovy nebo konfliktu dvou modulových sítí se do modulové osnovy vkládá tzv. *modulová vložka* (např. v případě narušení modulové osnovy konstrukcí dilatační spáry).



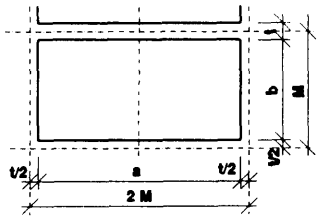
umístění prvku v modulové prostorové síti



modulová vložka



poloha prvku vzhledem k modulové síti



M - modul
M, 2 M - modulové rozměry prvku
a, b - základní rozměry prvku
t - tloušťka přilehlé spáry

Osazováním konstrukčních prvků do modulové sítě na základě stanovených zásad a principů lze dosáhnout bezkolizního sestavení objektu z předem vyrobených prvků bez nutnosti jejich úprav během montáže na staveništi. Konstrukční prvek může být umístěn vzhledem k modulové síti osově (*a*), lícově (*b*) nebo v určité vzdálenosti od líce prvku (*c*). S osazením prvků do modulové sítě souvisí otázka vztahu skladebných, základních a skutečných rozměrů prvků a způsobu jejich stykování.

- *Skladebný rozměr prvku:* rozměr, který prvek teoreticky zaujímá v modulové prostorové síti konstrukce tj. s uvažováním příslušné části spáry.

- *Základní rozměr prvku:* teoretický rozměr prvku předepsaný pro výrobu za předpokladu nulové tolerance.

- *Skutečný rozměr prvku:* rozměr vyrobeného prvku lišící se od základního rozměru o kladné nebo záporné úchylky, které by měly být v intervalu předepsané *výrobní tolerance*.

Unifikace rozměrů

Unifikace rozměrů ve výstavbě je činnost, kterou se sjednocují a vybírají rozměry stavebních objektů a konstrukčních prvků. Použití celé škály odvozených modulů by v praxi mohlo vést k neúměrně velkému množství skladebných rozměrů a sortimentu výrobků. Smyslem unifikace rozměrů je omezit tento počet a vybrat nejvýhodnější skladebné parametry pro konstrukční prvky i celé objekty.

Pro hlavní půdorysné skladebné osové rozměry nosného systému objektů pozemních staveb jsou doporučeny moduly v násobcích 600 mm (2400, 3000, 3600 mm ... atd.). Výškové skladebné parametry (konstrukční výšky podlaží) vycházejí z normových požadavků týkajících se minimální výšky prostor (doporučené hodnoty: 2400, 2800, 3000, 3300, 3600 atd.). Uvedené hodnoty jsou pouze doporučené. Pokud je to pro konkrétní objekt výhodné a opodstatněné, lze používat i jiných skladebných parametrů, případně u objektů s nepravidelným půdorysem vycházet z individuálně stanoveného osového systému, který nemusí nutně respektovat principy modulové koordinace.

Typizace

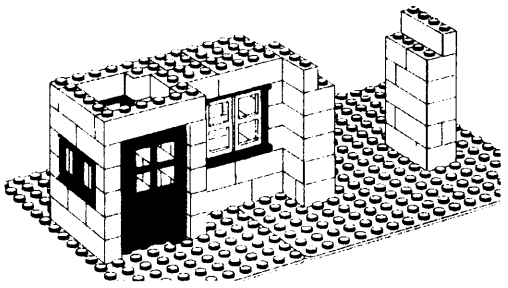
Typizací se omezuje velký počet výrobků, výrobních postupů a projektů stejného účelu. Typizace se může týkat jednotlivých prvků, ale i celých konstrukčních řešení a objektů. Smyslem typizace je omezit opakované řešení a použitím typových podkladů a typových systémů urychlit výstavbu a snížit vynaložené náklady. Typizace se může týkat jednotlivých dílů stavby, ale i celých sekcí a objektů - *objemová typizace*.

Vzhledem k nekriticky preferovanému postavení prefabrikované technologie v našich podmínkách v období 50 tých až 80 tých let se vyvinula řada železobetonových prefabrikovaných soustav pro výstavbu bytových, občanských, průmyslových i zemědělských staveb. V uvedeném období byla z ekonomických důvodů uplatňována důsledná typizace prvků i celých objektů a návrh konstrukce z atypických prefabrikovaných prvků byl prakticky nereálný. Princip prefabrikace však umožňuje i realizaci konstrukcí z atypických prvků při zachování většiny technologických výhod. Předpokládá to však přechod od konzervativního chápání typizace (objemová typizace, důsledná typizace prvků) k typizaci styků a rozhodujících rozměrových parametrů prvků v jemné modulové řadě. Skutečnost, že konstrukce je složena z pefabrikovaných typizovaných prvků tak nemusí nutně znamenat uniformitu a monotónnost vnějšího vzhledu a může vést ke kvalitnímu architektonickému řešení při zachování výhod sériové výroby.

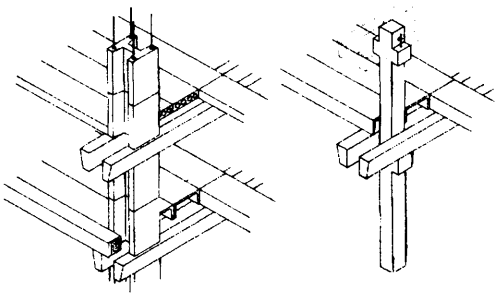
■■ Otevřený a uzavřený systém

Otevřený systém je systém schopný reagovat změnou vnitřního stavu na měnící se parametry vnitřních i okolních vazeb. Znamená to, že *otevřenost stavebního systému* souvisí se schopností variabilního přizpůsobení tvaru během projekce na základě individuálních požadavků a zároveň je systém dostatečně otevřený vstupu jiných systémů a subsystémů.

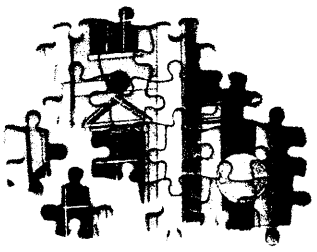
Otevřený systém: Systém dětské stavebnice LEGO (mimo jiné důsledně založený na modulovém principu, a důsledné unifikaci prvků a styků) je velmi otevřený z hlediska variability možností sestav různých konstrukcí a umožňuje v rámci vlastního systému vysokou míru tvořivosti při návrhu. Důvodem je dostatečně malý základní modulový prvek jako výchozí konstrukční element. Na druhou stranu je však systém LEGO uzavřený z hlediska kombinace s jinými systémy, které nemají uzpůsobené stykování, charakteristické pro systém LEGO.



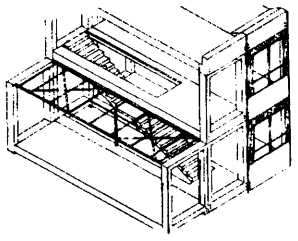
Příkladem *otevřené stavební soustavy* je prefabrikovaný systém INTEGRO jehož prvky jsou vyráběny pro konkrétní objekt na základě typizovaných styků a rozměrových řad, vycházejících důsledně z modulové prostorové sítě. Tento systém umožňuje vzhledem k důslednému dodržení modulových zásad i snadnou návaznost jiných systémů (obvodový plášť, příčky, podhledy aj.).



Uzavřený systém: Uzavřeným systémem je stavebnice typu "puzzle" nebo stavebnice plastových modelů letadel. Ze stavebnice lze sestavit pouze jeden konkrétní typ obrazu nebo letadla a prakticky neumožňuje žádnou variabilitu a minimální kreativitu při sestavování.



Příkladem *uzavřené konstrukční soustavy* je systém prefabrikovaných prostorových buněk VARIEL. Jednotlivé buňky jsou shodných rozměrů a lze je sestavovat pouze v jednom směru, přičemž průčelí musí být zachováno v rovině. Vysokou míru uzavřenosti má i většina prefabrikovaných stěnových systémů používaných v bytové výstavbě od 50-tých do 80-tých let.

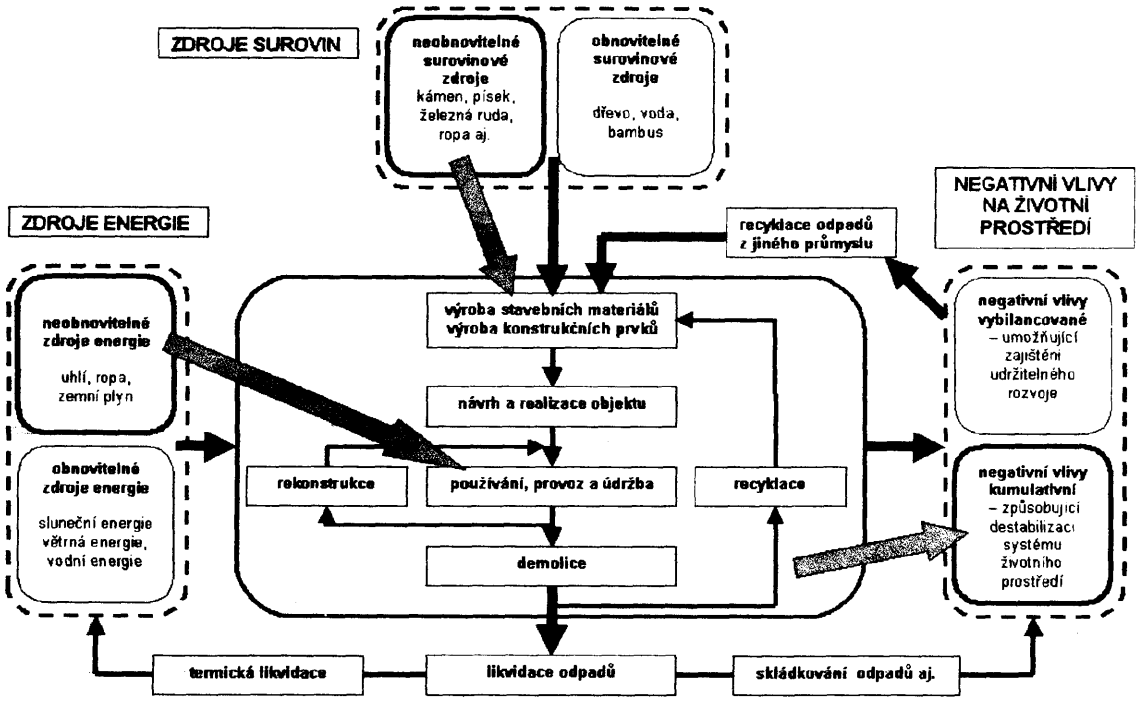


ŽIVOTNOST STAVEB, MODERNIZACE, REKONSTRUKCE

B5

Service Life of Buildings, Modernization, Reconstruction
Lebensdauer, Modernisierung, Umbauten

Každá stavební konstrukce (stejně jako jakýkoliv objekt živé či neživé povahy) prochází v průběhu svého života různými fázemi - od svého vzniku až po zánik. Vznik konstrukce je podmíněn nutnými materiálovými a energetickými vstupy, stejně tak v průběhu existence konstrukce vyžaduje materiálové a energetické vstupy, zánik (demolice) konstrukce opět vyžaduje určitou spotřebu energie a je charakteristický vznikem velkého množství odpadů. Odpady vznikají i v předchozích fázích vzniku a existence konstrukce. Některé odpady mohou být recyklovány pro další použití, některé mohou být energeticky využity, nebo jsou skládkovány s veškerými negativními důsledky pro životní prostředí. Cílem optimalizačních snah by mělo být co nejdéle udržet konstrukční materiály uvnitř uzavřeného materiálového cyklu (viz graf) a minimalizovat materiálové a energetické vstupy (především neobnovitelných zdrojů) a množství negativních dopadů na životní prostředí (odpady aj.).



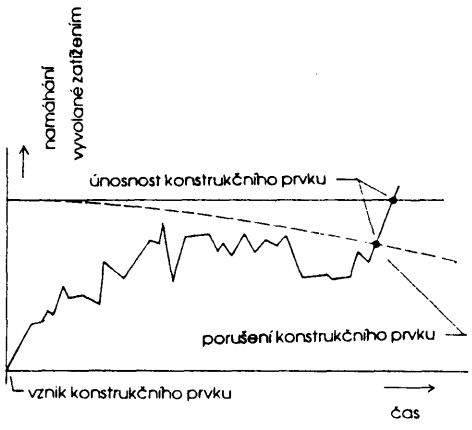
Životní cyklus stavebního objektu a vztah k okolnímu prostředí – materiálové a energetické toky
Tenké šipky : vnitřní vazby uzavřeného cyklu.
Silné šedé šipky: kritické toky rozhodující o ekologické stabilitě systému a měly by být proto minimalizovány

■ Vliv času na budovy a stavební konstrukce

U každé konstrukce se mění s postupem času řada důležitých vlastností. V důsledku stárnutí a degradace konstrukčních materiálů se snižuje schopnost konstrukce plnit požadované funkce a vzdorovat vlivům vnějšího prostředí. Snižuje se tak *míra odolnosti* (spolehlivosti) jednotlivých konstrukčních prvků i celého konstrukčního systému budovy z hlediska různých funkcí a požadavků.

Degradační proces je řízen přírodními zákony, určitými konstrukčními opatřeními jej lze zpomalit, nelze jej však úplně zastavit. Projevuje se postupným narušováním struktury konstrukčních materiálů (prvků a jejich styků) (i) *chemickou* nebo (ii) *biologickou korozí* (viz B3) a (iii) *mechanickým namáháním* působícím na konstrukci nerovnoměrně a s proměnnou intenzitou. Důsledkem je, že po určité době konstrukční prvek, resp. část budovy ztrácí schopnost plnit požadovanou funkci (např. vzdorovat zatížení) a dochází k poruchám (trhliny, vznik plísní aj.).

K postupné degradaci konstrukčních materiálů a jejich styků dochází u všech stavebních konstrukcí primárně nosných i u konstrukcí kompletačních. Odolnost jednotlivých konstrukčních materiálů a konstrukčních prvků vůči nepříznivým vlivům prostředí je velmi rozdílná, rozdílná je i intenzita vlivů prostředí působících na jednotlivé konstrukční prvky. Důsledkem je odlišná míra degradace jednotlivých částí budovy v daném časovém okamžiku. U starších budov je běžná situace, kdy některé části konstrukce plně vyhovují všem funkčním požadavkům, jiné části požadované funkce plní jen částečně a některé konstrukční prvky jsou v havarijním stavu. Odolnost konstrukčních prvků je závislá (i) na kvalitě primárně zvoleného konstrukčního materiálu, (ii) na kvalitě ochranné povrchové úpravy a (iii) na míře a kvalitě údržby.



Průběh namáhání konstrukčního prvku v čase

Se zvyšujícím se stářím budov se kromě materiálového (fyzického) znehodnocení konstrukčních prvků může snižovat i jejich užitná hodnota. Vývoj stavebních konstrukcí, materiálů a technologií vede k postupnému zavádění funkčně dokonalejších a úspornějších výrobků, lépe vyhovujících aktuálním požadavkům doby. Mnohdy se s časem mění i požadavky na parametry budovy z hlediska jejího provozu. Tato a řada dalších případů tzv. *morálních znehodnocení* nemusí přímo souviset se stárnutím budovy a jejích konstrukčních prvků a nejsou závislé na *fyzickém stavu* budovy a na její schopnosti plnit původně požadované funkce.

■ Životnost budovy a stavebních konstrukcí

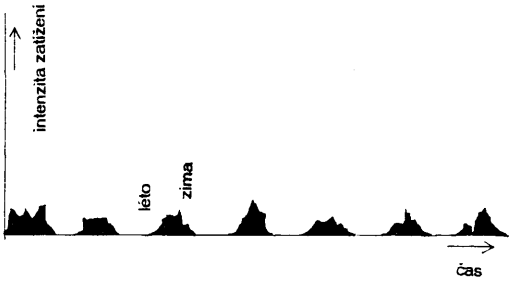
Životnost budovy, konstrukce nebo její části je doba, po kterou je schopná plnit v potřebném rozsahu požadované funkce. Životnost nemusí být chápána jen jako existence. Budova může existovat i ve stavu, který neumožňuje její užívání pro požadovaný účel (např. bez střechy aj.). I nefunkční (zchátralou) budovu lze, je-li to účelné, opravit a uvést do použitelného stavu.

Možnost využívání objektu může být omezena i změněnými požadavky kladenými na provoz. V důsledku takových změn se může objekt stát nevyhovující ačkoliv z hlediska fyzického je konstrukce schopna (při zachování původních požadavků) existovat ještě řadu let. Rozlišují se proto dva typy životností:

- *životnost fyzická,*
- *životnost morální.*

V rámci návrhu konstrukce by měla být předem stanovena *návrhová životnost* objektu představující předpokládanou dobu existence objektu bez zásadní modernizace nebo rekonstrukce. Vzhledem k této době je třeba sladit životnosti jednotlivých prvků a subsystémů tak, aby zbytečně nedocházelo ke znehodnocování velmi drahých a trvanlivých materiálů (srovnej: mramorové nebo žulové dlažby na provizorním sociálním zařízení s předpokládanou životností 3 roky a tytéž dlažby použité při rekonstrukci historické budovy).

Určení délky životnosti budovy je potřebné i pro stanovení maximálních zatěžovacích účinků, které se v extrémních případech vyskytují jen zřídka. Např. maximální hodnota zatížení sněhem nebo maximální hladina vody při povodni se vyskytuje s jistou mírou pravděpodobnosti jednou za určité období (sto let, 50 let aj.). Navrhuje-li se budova tak, aby odolávala účinkům zatížení s jistou mírou pravděpodobnosti, vychází se z přesnějšího určení intenzit zatížení na základě statisticky vyhodnoceného souboru naměřených hodnot.



Příklad naměřené intenzity zatížení sněhem v horské oblasti

Délka životnosti je předem dána pouze u některých typů staveb – např. u staveb provizorních (zařízení staveniště, výstavní pavilony dočasných výstav aj.) nebo některých provozních staveb limitovaných morálním zastaráváním technologického vybavení (benzínové čerpací stanice, haly supermarketů aj.). U většiny staveb je však velmi obtížné předem odhadnout morální zastarávání celé budovy i jednotlivých konstrukčních prvků a určení životnosti je tak především otázkou ekonomickou.

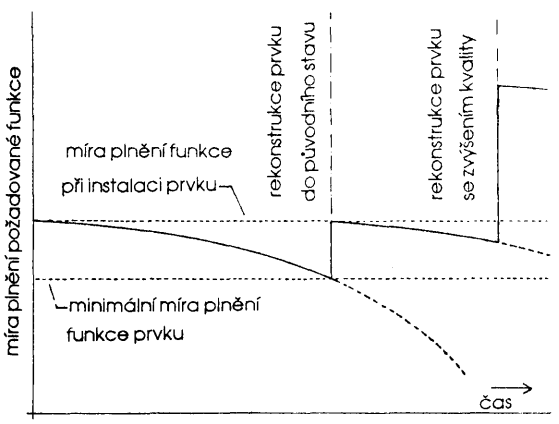
Nástroj, který účinně reguluje návrhovou životnost stavebních konstrukcí, je předepsaná doba odepisování ceny stavby. V současnosti se obytné budovy odepisují u fyzických osob 100 roků a budovy osob právnických 45 roků. V rámci Evropské Unie se požaduje minimální životnost pro nově stavěné budovy 50 let.

■ Životnost prvků v provozním stadiu budovy

Objekt je realizován pro zajištění všech požadovaných provozních funkcí v požadované kvalitě v průběhu celé životnosti – tzn. pro období, kdy bude užíván pro předem specifikovaný účel.

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, ideálním řešením problému životnosti budovy by bylo použití konstrukčních materiálů, výrobků a technologií zajišťujících stejnou životnost pro všechny konstrukční části budovy. U objektů pozemních staveb, které jsou složeny z velkého množství různorodých konstrukcí a jejichž životnost musí činit minimálně několik desetiletí, nelze stejnou životnost všech částí prakticky zajistit - a ani by to z hlediska morálního zastarávání určitých prvků (povrchové úpravy, technická a technologická vybavení aj.) nebylo účelné a efektivní. Různorodost vlastností konstrukčních materiálů, odlišnosti intenzity namáhání a škodlivých vlivů působících na jednotlivé prvky přispívají k odlišným životnostem částí konstrukce budovy (životnost nášlapné vrstvy podlahy je zpravidla mnohem kratší než životnost železobetonového stropu). O životnosti celého konstrukčního prvku rozhodují vlastnosti nejméně odolných konstrukčních materiálů. Proto je třeba pečlivě uvážit vhodnost kombinace materiálů s odlišnými životnostmi v jednom konstrukčním prvku.

Nelze-li navrhnout budovu z prvků se stejnou předpokládanou životností, je třeba při návrhu zohlednit potřebu oprav nebo výměn prvků s kratší životností. Čím obtížnější je výměna nebo oprava prvku, tím delší by měla být jeho životnost. Do celkových nákladů na objekt je třeba zahrnout nejen pořizovací náklady, ale i náklady provozní zahrnující náklady na udržení budovy v použitelném stavu. Např.: Jiné důsledky na ekonomickou efektivnost budovy má použití levnějších povrchových úprav s kratší životností pro obvodový plášť vícepodlažní budovy a jiné u budovy jednopodlažní, kde k obnově povrchové úpravy není třeba stavět nákladné lešení a omezovat provoz v okolí budovy.



Možnosti prodloužení životnosti konstrukčního prvku

Vzhledem k tomu, že u kompletačních prvků dochází zpravidla k rychlejšímu opotřebení i morálnímu zastarání, je účelné přistupovat k životnostem konstrukcí primárně nosných a konstrukcí kompletačních odlišně. Nosnou konstrukci je zpravidla vhodné navrhovat z konstrukčních materiálů s co nejdelší životností nebo je opatřit povrchovými úpravami zajišťujícími jejich dlouhodobou životnost. Kompletační prvky s kratší životností by měly být málo závislé na nosném systému. Styky, spoje a rozměry kompletačních prvků by měly umožňovat *snadnou výměnu prvků* za prvky nové, lépe vyhovující funkčním požadavkům. Princip nezávislosti nosného systému na ostatních prvcích umožňuje odlišné materiálové a technologické řešení nosných a kompletačních konstrukcí.

V některých případech se jeví jako účelné navrhovat prvky kompletační tak, aby je bylo možné snadno demontovat a případně použít v jiných částech budovy event. v jiném objektu. Tento přístup má význam hlavně u budov, kde se předpokládá změna vnitřního členění prostor s ohledem na měnící se provozní požadavky (např. u administrativních a výrobních budov).

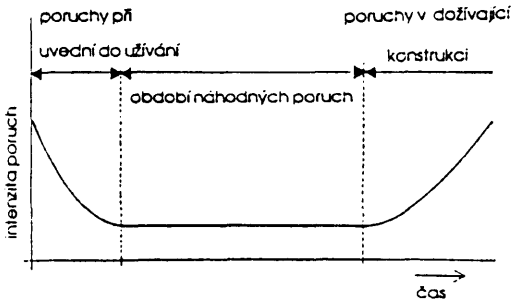
■ Údržba a opravy

S postupem času dochází k degradaci a narušování konstrukčních prvků od provozu.

- *Údržba* má za úkol snižovat míru degradace konstrukčních prvků zpravidla prostřednictvím obnovy ochranných povrchových úprav.

- *Opravami* se odstraňují poruchy konstrukčních prvků. Při opravách se mohou vyměňovat i některé poškozené konstrukční prvky (instalační prvky, zdeformovaná okenní křídla aj.).

Intenzita poruch vyžadujících opravy se podstatnou měrou mění v čase. Četnost výskytu poruch je vyšší v počáteční fázi existence budovy (v důsledku vad projekce a realizace), pak se snižuje a po relativně dlouhé období je téměř konstantní. V závěrečné fázi existence budovy opět počet vad narůstá. Na počátku tohoto období lze provést modernizaci nebo rekonstrukci a zajistit tak funkční způsobilost pro další období životního cyklu. Odklad stavebních úprav na pozdější období zvyšuje podstatným způsobem (vzhledem k urychlující se degradaci konstrukcí) nutné náklady.



Intenzita poruch během existence konstrukce

■ Modernizace a rekonstrukce

Zásadní úpravy stavební konstrukce směřující k prodloužení fyzické i morální životnosti objektu jsou realizovány v rámci modernizace a rekonstrukce.

Modernizace

- *Modernizace*: Stavební úpravy, kterými se zvyšují užitné vlastnosti objektu nebo jeho části, *aniž by se měnil jeho účel*. Modernizací se zvyšuje kvalita vybavenosti objektu a rozšiřuje se jeho použitelnost.

Hlavním cílem modernizace je zvýšení uživatelského standardu. Při modernizaci jsou nahrazovány opotřebené a zastaralé prvky a zařízení novými prvky s lepšími užitnými vlastnostmi. Hlavním předmětem modernizace starých objektů jsou zpravidla technická zařízení budovy:

- nahrazení lokálního vytápění topením etážovým nebo centrálním využívajících efektivnějších a ekologičtějších zdrojů energie,
- instalace nebo výměna rozvodů vody, elektřiny, kanalizace, plynu aj.,
- instalace nebo výměna výtahů, pohyblivých schodů aj.

Při modernizaci mohou být vyměňovány i nevyhovující konstrukční prvky (s ukončenou fyzickou nebo morální životností) jako jsou okna, dveře, nášlapné vrstvy podlah, ale i některé prvky nosného systému v případě změněných požadavků na zatížení.

Rekonstrukce

- *Rekonstrukce:* Z hlediska historického jde o uvedení objektu nebo jeho části do původního stavu při snaze o maximální dodržení původního vzhledu, případně i konstrukčního řešení. Z hlediska zákona o daních z příjmů je rekonstrukce stavební zásah, který má za následek změnu technických parametrů, popř. změnu účelu objektu.

Cílem rekonstrukce historických objektů je uvést fyzicky opotřebený objekt do původního stavu, při snaze o maximální dodržení původního vzhledu i konstrukčního řešení. „Čistá" rekonstrukce odpovídající uvedené definici se v praxi provádí výjimečně a to v případech historicky cenných staveb. Zpravidla se současně s rekonstrukcí provádí i modernizace objektu se zvyšováním uživatelského standardu.

Ve stavební praxi a z pohledu zákona o daních z příjmu se pod pojmem rekonstrukce uvažuje taková úprava konstrukční a technologické části objektu, která má za následek změnu technických parametrů, případně změnu funkce a účelu objektu. Pod pojmem rekonstrukce je často uvažována *komplexní modernizace a rekonstrukce objektu* se zásahy do nosné konstrukce objektu i s výměnami kompletačních konstrukcí. Komplexními rekonstrukčními zásahy lze prodlužovat fyzickou i morální životnost jednotlivých konstrukčních prvků i celého objektu.

V rámci hodnocení životního cyklu objektu (LCA – Life Cycle Assessment) je třeba zvážit do jaké míry je výhodné objekt modernizovat nebo rekonstruovat nebo provést demolici s následnou recyklací materiálů a pro nové provozní požadavky navrhnout a postavit nový objekt s využitím nových efektivních materiálů a technologií. Rozhodujícím parametrem při tomto rozhodnutí je posouzení nákladů na objekt z hlediska celého životního cyklu (LCC – Life Cycle Cost). Často vychází demolice a následná realizace nového objektu ekonomičtější než nákladná modernizace a rekonstrukce stávajícího objektu. Vždy je však třeba zvážit historickou hodnotu objektu.

Veškerá zhodnocení životního cyklu (vedoucí k rozhodnutí o výhodnosti modernizace, rekonstrukce nebo nové výstavby) by měla být provedena s ohledem na negativní dopady na životní prostředí v souladu s podmínkami trvale udržitelného rozvoje. V takovém případě se může ukázat modernizace objektu výhodnější než demolice s novou výstavbou při nezajištěné efektivní recyklaci stavebních materiálů z původní konstrukce.

■ Adaptace

- *Adaptace*: Stavební úpravy přizpůsobující objekt nebo jeho část jinému účelu.

V řadě případů je zapotřebí změnit po určité době provoz v budově. Změna provozu zpravidla vyžaduje zásahy do dispozičního řešení a s tím spojené úpravy nosných i kompletačních konstrukcí. V rámci adaptací se provádí nové otvory pro dveře, okna, provádí se zesilování nosných prvků apod. V praxi je často součástí komplexní modernizace a rekonstrukce objektu i adaptace vnitřní dispozice pro nový účel objektu.

PROCES NÁVRHU A REALIZACE STAVEBNÍHO DÍLA

B6

Design and Costruction Process
Ertwurfs-und Ausführungsssprozess des Bauwerks

Proces návrhu a realizace objektů pozemních staveb je ***vysoce komplexní činnost***, která předpokládá *důslednou koordinaci všech dílčích činností*. Pouze při respektování všech dílčích požadavků lze dosáhnout kvalitního výsledku. Je důležité si uvědomit, že výsledné produkty stavění více či méně uměle přetvářejí životní prostředí, často na dlouhou dobu, a ovlivňují tak celkovou úroveň hospodářského, společenského i kulturního stavu společnosti a jsou základem jejich budoucího rozvoje.

Navrhování objektů pozemních staveb tvoří jednu z rozhodujících fází tvůrčího procesu, jehož výsledkem je vznik stavebního díla – nové stavby, rekonstrukce nebo modernizace již existujícího objektu, rozšíření a úpravy objektů prostřednictvím nástaveb, přístaveb apod. *Projektování* jako součást tohoto procesu lze charakterizovat jako souhrn vzájemně svázaných tvůrčích a odborných činností, jejichž výsledným produktem je *projektová dokumentace*. Ta jednoznačně popisuje dané stavební dílo prostřednictvím výkresů, výpočtů a textových zpráv.

■ Hlavní účastníci procesu výstavby

S realizací určitého záměru tj. vybudovat novou stavbu, provést rekonstrukci, modernizaci nebo jiný stavební zásah do existujícího objektu je spojená rozsáhlá činnost, na které se podílí řada účastníků, kteří musejí úzce spolupracovat a svoji činnost koordinovat.

- ***Investor:*** Soukromá nebo právnická osoba, která pro sebe nebo jiného uživatele finančně zabezpečuje stavbu. Stanovuje základní funkční požadavky a ekonomické limity a sleduje jejich dodržování v průběhu celého procesu výstavby. Investorem je často osoba z jiného odvětví, než je stavebnictví, která nemá dostatek informací o celé rozsáhlé oblasti věcné i legislativní problematiky spojené s výstavbou objektů. Ve věci vlastní činnosti investora (od prvních úvah o investici, přes dozor ve všech fázích jejího návrhu a realizace, až po uvedení stavby do užívání) může vystupovat smluvně vázaný partner – *manager projektu.*

- ***Projektant:*** Soukromá nebo právnická osoba, která zajišťuje vypracování projektové dokumentace. Pro tuto činnost musí mít příslušné oprávnění k projektové činnosti podle zákona č.360/1992 Sb. o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě.

- ***Dodavatel:*** Soukromá nebo právnická osoba oprávněná k provádění stavebních prací, která realizuje stavbu na základě projektové dokumentace, schválené příslušným stavebním úřadem. V průběhu výstavby spolupracuje s *autorským dozorem projektanta* a s *technickým dozorem investora.* Pro výstavbu rozsáhlejších staveb je smluvním partnerem investora *generální dodavatel,* který garantuje realizaci celé stavby, i když ji celou neprovádí vlastními silami, ale najímá si další *subdodavatele.*

■ Fáze procesu výstavby

Proces návrhu a realizace objektů pozemních staveb lze rozdělit do následujících základní fází:

Příprava zakázky:
Investor formuluje základní funkční požadavky stavby a předkládá rozvahu o jejím finančním zabezpečení. Ve spolupráci s projektantem analyzuje staveniště zejména s ohledem na podmínky území, na kterém má být stavba realizována (poloha, uspořádání a rozloha pozemku, hydrogeologické poměry, regulační podmínky dané oblasti, dopravní a technická infrastruktura apod.). Stanovuje obsah a rozsah budoucích projektových prací a specifikuje souhrn potřebných podkladů a průzkumů, které budou potřebné pro jejich vypracování.

Návrh stavby:
Na základě podkladů z přípravné fáze jsou vypracovány a vyhodnoceny alternativní pracovní studie ve variantních řešeních, uskutečňují se předběžná jednání za účelem získání kladného stanoviska k zamýšlenému účelu dotčenými fyzickými a právnickými osobami a orgány veřejné správy. Cílem je vypracování *návrhu stavby,* ze kterého je patrné provozní, dispoziční, estetické a stavebně-technické řešení při respektování sociálních, ekologických i ekonomických podmínek.

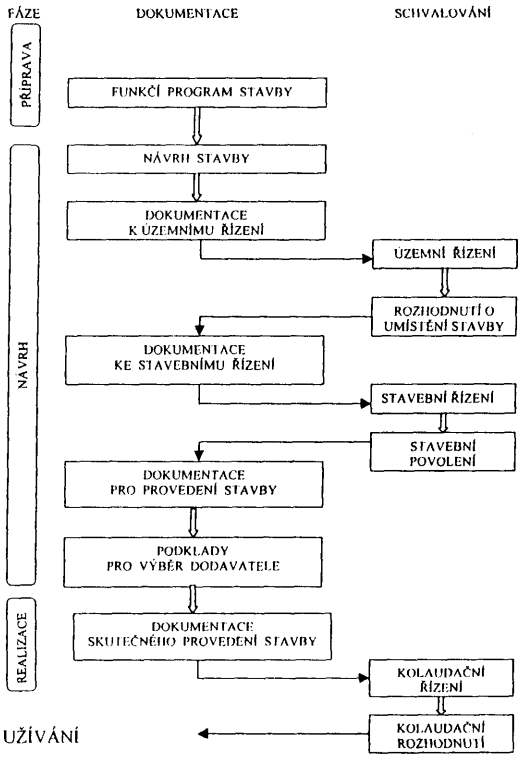
Vypracování dokumentace k územnímu řízení:
Rozsah projektu, který je předkládán k žádosti o vydání *rozhodnutí o umístění stavby*, je předepsán příslušným orgánem státní správy, který je zmocněn provádět územní řízení. Z výkresové části dokumentace je patrné celkové urbanistické a architektonické řešení a začlenění stavby do daného území včetně všech vnějších vazeb. Textová část kromě popisu předkládaného řešení vyhodnocuje podmínky území pro stavbu, podmínky požární ochrany, vliv na okolní stavby, pozemky a životní prostředí vůbec, nároky na infrastrukturu a další.

Vypracování dokumentace pro stavební řízení:
Na základě podmínek, které jsou formulovány v rozhodnutí o umístění stavby, vypracovává projektant *projekt pro stavební řízení,* který obsahuje stavební řešení včetně statického posouzení, řešení technického a technologického vybavení (vodovod, kanalizace, plyn, vytápění, elektroinstalace atd.). Dokládá se výkresovou částí se situací stavby i území (včetně nároků na dopravu a technické sítě), základními stavebními výkresy obvykle v měřítku 1:100 a dále částí textovou. Součástí dokumentace pro stavební řízení jsou rovněž vyjádření dotčených fyzických a právnických osob a dotčených správních orgánů (správci sítí, hygienická stanice, požární ochrana, památková péče atd.), základní popis staveniště, předpokládané termíny realizace výstavby a orientační odhad nákladů. Stavební řízení, ve kterém mohou všichni účastníci vyjádřit ve stanoveném termínu své připomínky, je organizováno příslušným stavebním úřadem. Ten je jako státní orgán zmocněn zastupovat zájmy veřejnosti a sleduje tudíž především, zda navrhovaný objekt splňuje obecné technické požadavky na výstavbu, především požadavky bezpečnosti a ochrany životního prostředí (viz kap.B2). *Stavební povolení k výstavbě objektu obsahuje zejména podmínky pro provedení a užívání stavby a rozhodne o* námitkách účastníků řízení. V případě jednoduchých staveb může stavební úřad sloučit územní a stavební řízení.

Vypracování dokumentace pro provedení stavby:
Projekt pro provedení stavby je podrobný projekt, který určuje jednoznačně kvalitu a charakteristické vlastnosti jednotlivých konstrukcí a prvků, výběr materiálů apod., tedy tzv. uživatelský a technický standard. Jeho součástí jsou vždy výkresy detailů (dispozičních, tvarových, konstrukčních, materiálových i technologických) v měř. 1:50 až 1:1 s textovými vysvětlivkami a popisy, odkazy na platné technické normy a zpracování výkazů výměr a specifikací . Stavební technické specifikace jsou jednoznačným popisem konstrukcí a částí stavby, doplňující výkresovou dokumentaci, které neumožní následnou polemiku o uživatelské a technické kvalitě, kterou projekt předpokládal. Podstatným efektem je jejich doplnění o cenové ukazatele.

Výběr dodavatele:
Výběr dodavatele se odehrává na základě předem daného postupu a na základě souhrnu porovnatelných údajů. V nich hrají zejména roli základní charakteristiky organizace, která se uchází o získání zakázky (velikost, majetek, zastoupení jednotlivých stavebních profesí, bankovní garance, referenční stavby, apod.) a přehled nákladů resp. cen podle podrobně zpracovaných technických specifikací všech prvků a částí stavby. Příprava *podkladů pro výběr dodavatele* je tedy významnou součástí celého procesu navrhování a výstavby. U zakázek, kde je jediným nebo dílčím investorem stát, postupuje se při vyhledání dodavatele podle ustanovení zvláštního zákona o zadávání veřejných zakázek.

Vlastní výstavba objektu
Výstavbu objektu provádí dodavatel buď sám nebo v součinnosti s dalšími subdodavateli. Po dobu celé realizace vykonává projektant *autorský dozor*, to znamená dohlíží na dodržování architektonické koncepce a podmínek stavebního povolení a posuzuje návrhy na eventuální změny a doplňky. *Technický dozor investora* zejména kontroluje dodržování kvality prací, dodržování časového harmonogramu a čerpání finančních zdrojů. V případě, že v průběhu výstavby dojede k odchylkám od původního projektu, vypracuje dodavatel *dokumentaci skutečného provedení stavby*, která je podkladem pro *kolaudační řízení*. Při něm se předkládají stavebnímu úřadu také výsledky kontrolních měření provedené v již realizované stavbě, zkoušky funkčnosti jednotlivých částí stavby (např. vytápění, klimatizace apod.), doklady o použitých materiálech (certifikace), atd. Po vydání *kolaudačního rozhodnutí*, ve kterém je uveden přehled vad a nedodělků včetně lhůt pro jejich odstranění, je objekt připraven pro užívání. V současné době se připravuje uzákonění povinnosti vypracovat návod k údržbě objektu, provozní a manipulační řád.



Literatura a normy k bloku B

[1] Hájek P.: *Konstrukce pozemních staveb – montované konstrukční systémy,* skriptum ČVUT, Praha 1988
[2] Hájek V. a kol.: *Pozemní stavitelství pro 1.ročník SPŠ stavebních,* SOBOTÁLES 1995
[3] Lauermann L.,Semeráková J.,:*Nauka o projektování I. – Vývoj stavebních konstrukcí,* skriptum ČVUT? Praha 1989
[4] Olin H.B.: *Construction, Principles, Materials & Methods,* VNR New York
[5] Orton A.: *The way we build now,* E&FN SPON, 1991
[6] Paturi F.R.:*Kronika techniky,* Fortuna Print, 1991
[7] Vanderplaats G.N.: *Otimization: An Emerging Technology,* Civil Engineering, červen1987
[8] Zeithammer K.: *Vývoj techniky,* ČVUT Praha 1994
[9] *Buildings and Health – Rosenhaugh Guide,* RIBA 1990
[10] *ČSN 73 1131 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd,* 1988
[11] *ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí,* 1986
[12] *ČSN 73 0038 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách.* 1986
[13] *ČSN 73 0532 Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách,* 2000
[14] *ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov,* 1995
[15] *ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb*
[16] *ENV 1-1 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí*

KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY POZEMNÍCH STAVEB

C

Building Structure Systems
Konstruktionssysteme der Hochbauten

C1 KONSTRUKČNÍ SYSTÉM	*Structural System*	*Konstruktives System*
■ Konstrukční systém a jeho funkce	*Structural System and its Function*	*Konstruktives System und seine Funktion*
■ Účinky zatížení na konstrukční systém	*Load Effects on Structural System*	*Belastungseinwirkungen auf Konstruktives System*
■ Konstrukční prvky nosných systémů	*Structural Elements of Load-bearing Systems*	*Konstruktionselemente der Tragsysteme*
■ Interakce konstrukčních prvků	*Interaction of Structural Elements*	*Wechselwirkung der Konstruktionselemente*
C2 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY JEDNO A VÍCEPODLAŽNÍCH BUDOV	*Structures of Singlestorey and Multistorey Buildings*	*Konstruktionssystem ein- und mehrgeschossiger Bauten*
■ Konstrukční, materiálové a technologické třídění konstrukcí	*Structural, Material and Technological Classification of Structures*	*Gliederung nach Konstruktion, Baustoffen und Technologien*
■ Uspořádání nosného systému	*Lay-out of Load-bearing System*	*Ordnung des Tragsystems*
■ Stěnové systémy	*Wall Systems*	*Wandsysteme*
■ Sloupové systémy	*Column and Frame Systems*	*Stützensysteme*
■ Kombinované systémy	*Combined Systems*	*Kombinierte Systeme*
■ Prostorová prefabrikace	*Space Units Prefabrication*	*Vorfertigung der Raumeinheiten*
■ Konstrukční systémy výškových budov	*Structural Systems for High-rise Buildings*	*Konstruktionssysteme der Hochhäuser*
■ Superkonstrukce	*Superstructures*	*Superkonstruktionen*
C3 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY HALOVÝCH STAVEB	*Structural Systems of Long Span Structures*	*Konstruktionssysteme der Hallenbauten*
■ Funkce a součásti halových a velkoobjemových objektů	*Function and Elements of Long Span and Large Space Buildings*	*Funktion und Teile der Hallenbauten und grossräumigen Objekte*
■ Konstrukční systémy halových objektů	*Structural Systems of Long Span Structures*	*Konstruktionssystem eines Hallenobjektes*
■ Ohýbané konstrukční systémy	*Flexural Structures*	*Gebogene Systeme*
■ Konstrukční systémy převážně tlačené	*Structures Behaving Mainly in Pressure*	*Mehrheitlich auf Druck belastete Systeme*
■ Konstrukční systémy převážně tažené	*Structures Behaving Mainly in Tension (Tension Structures)*	*Mehrheitlich auf Zug belastete Systeme*

Autoři: Bill Z. (C3 část), Brabec V. (C2), Hájek P. (C1), Žďára V. (C3 část)

KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

C1

Structural System
Konstruktives System

■ Konstrukční systém a jeho funkce

Konstrukční systém objektu pozemních staveb je velmi složitý komplex prvků, které jsou vzájemně spojeny ve stycích v celek a společně se tak podílí na zajišťování funkcí a splnění požadavků kladených na systém. Z obecné definice systému (viz B4) lze odvodit definici konstrukčního systému:

> ***Konstrukční systém*** *je celek složený z navzájem propojených konstrukčních prvků a subsystémů, které jsou vzhledem k vnějšímu působení okolí (zatížení aj.) ve vztahu vzájemné interakce. Konstrukční systém existuje v interakci s okolím a prokazuje cílové chování.*

Jde tedy o množinu konstrukčních prvků a vazeb mezi nimi vytvářející objekt nebo jeho část. Jednotlivé prvky mají své specifické základní funkce v systému a vzhledem ke spolupůsobení (*interakci*) s ostatními prvky se podílejí (ať již chtěně nebo nechtěně) i na zajišťování funkcí jiných. Efekt vzájemného spolupůsobení může být pozitivní (např. tuhá příčka zvyšuje prostorovou tuhost systému) nebo negativní (příčka nebyla schopná přenést namáhání od deformace nosného systému a došlo k jejímu porušení).

Okolí v sobě zahrnuje veškeré vnější vlivy působící na konstrukční systém:

- zatížení statická (zatížení vlastní tíhou, zatížení užitná, zatížení větrem, sněhem atd.),
- zatížení dynamická (zatížení seizmická, dynamické účinky provozu, výbuchy atd.),
- zatížení teplotou, vlhkostí, radiací, hlukem,
- vlivy způsobující mechanické opotřebení prvků systému,
- chemické vlivy na prvky systému,
- biologické vlivy na prvky systému,
- vlivy ovlivňující návrh i existenci systému jako je provoz, estetika, ekonomie , ekologie, bezpečnost, spolehlivost aj., a další vlivy.

Cílové chování konstrukčního systému představuje takový vývoj (působení) systému zatíženého vnějšími vlivy, který odpovídá vlastnostem prvků systému. Vlastnosti prvků systému jsou dynamické - tzn. mohou se v průběhu působení měnit (např. vliv vlhkosti pórobetonu na jeho pevnost i tepelnětechnické vlastnosti).

Dokonalé poznání chování jednotlivých konstrukčních prvků v konstrukčním systému a jejich interakce s ostatními prvky a okolím je základním předpokladem správného konstrukčního návrhu.

■■ Základní funkce konstrukčního systému

Základní funkce konstrukčního systému vyplývají z požadavků kladených na objekty pozemních staveb:

- *architektonická funkce*
- *statická funkce*
- *tepelně technická funkce*
- *akustická funkce*
- *protipožární funkce*
- *a další funkce vyplývající z požadavků na konstrukce objektů pozemních staveb (viz B2)*

Na zajištění všech funkcí se podílí celý konstrukční systém skládající se ze subsystému *nosných* konstrukcí, subsystému *kompletačních* (obalových a dělicích) konstrukcí, subsystému *technického zařízení* a sybsystému *funkčního a technologického vybavení* (viz A2). Ačkoliv je často považována za základní a nejdůležitější funkci nosná funkce (tvoří nutný základ objektu, bez kterého nemohou ostatní subsystémy existovat), *kvalitní konstrukční návrh objektu pozemních staveb musí v rovnováze a na stejné rovině důležitosti řešit všechny složky systému.* Tím se v zásadě odlišuje navrhování konstrukcí pozemních staveb od konstrukcí dopravních a konstrukcí vodního stavitelství, u kterých jednoznačně dominuje funkce nosná a ostatní části jsou statickému návrhu podřízeny.

Množství funkcí i požadovaná *komplexnost při navrhování* tak vyžaduje od projektanta pozemních staveb *paralelní* uvažování působení konstrukčních prvků z hlediska jednotlivých funkcí a uvažování vlivů jejich *vzájemné interakce.* Problém znesnadňuje i to, že některé požadavky mohou být ve vzájemném protikladu (např. požadavek minimalizace hmotnosti z hlediska snižování materiálové náročnosti i zatížení od vlastní tíhy je v protikladu k požadavku zajištění vzduchové neprůzvučnosti, která je závislá na plošné hmotnosti konstrukce). *Jednostranné preferování jedné funkce* (resp. jednoho požadavku) by vedlo k *nevyhovujícímu nebo neefektivnímu řešení.* Optimální návrh konstrukčního systému je tak určitým kompromisním řešením s uvážením všech kritérií s ohledem na váhy jejich důležitosti.

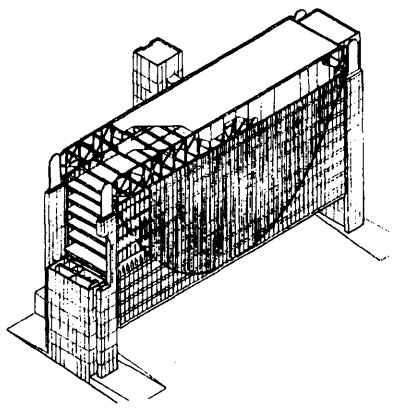
Vývoj konstrukčních systémů dospěl k *důslednějšímu oddělování jednotlivých konstrukčních subsystémů* (především v případě vícepodlažních a halových objektů s větší životností). Nosné konstrukce s větší předpokládanou životností jsou proto často navrhovány jako skeletové kostry objektů, které jsou obaleny kompletačními konstrukcemi a vybaveny konstrukcemi technického, funkčního a technologického vybavení. Takový přístup umožňuje do určité míry nezávislou optimalizaci nosného konstrukčního subsystému a ostatních subsystémů, ale na druhé straně vyžaduje důslednější řešení styků subsystémů tak, aby nedocházelo k poruchám v důsledku jejich vzájemné interakce a aby výměna některého subsystému s kratší životností nemohla ovlivnit funkci subsystému s životností delší.

■■ Volba konstrukčního systému

Volba konstrukčního systému vychází z obecných požadavků na konstrukce pozemních staveb (viz B2), z požadavků uživatele, investora a ze záměrů projektanta. Pro primární návrh jsou rozhodující následující parametry konstrukce:

- *prostorové řešení (tvar) objektu (půdorysný tvar, výška),*
- *základní modulace konstrukčního systému,*
- *rozpony vodorovných konstrukcí (stropů, zastřešení a předsazených konstrukcí),*
- *konstrukční výšky podlaží,*
- *volba materiálové báze a technologie výstavby.*

Již primární návrh konstrukčního systému by měl probíhat v interakci architekta, konstruktéra, statika a technologa tak, aby mohlo být dosaženo optimálního řešení se zohledněním všech rozhodujících kritérií včetně kritéria ekonomického. Pouze takové stavby, které byly navrhovány s komplexním uvažováním všech kritérií jsou i po delší době považovány za kvalitní a hodnotné. Není náhodou, že mnozí z význačných architektů vycházeli při navrhování z výborné znalosti konstrukčně statického působení a technologie a podařilo se jim tak efektivně skloubit architektonickou formu se statickou funkcí i technologií výstavby.



Federal Reserve Bank - USA - Minneapolis 1973
- ocelová superkonstrukce mostního typu zavěšená na dvou železobetonových jádrech

■ Účinky zatížení na konstrukční systém

Zatížení konstrukčního systému představuje z širšího hlediska *působení okolí na systém v průběhu jejich vzájemné interakce* a zahrnuje zatížení statická, dynamická, klimatická, chemické a biologické vlivy, hluk apod. Z hlediska užšího konstrukčně statického pohledu se pod pojmem zatížení chápe souhrn zatížení statických, dynamických a dalších, vyvozujících v konstrukci vznik napětí, deformace, eventuálně zrychlení. Jednotlivé typy zatížení jsou podrobně popsány v kapitole B2.

Zatížení vlastní tíhou konstrukce: Zatížení vlastní tíhou konstrukce zvyšuje namáhání a tím i dimenze vlastní konstrukce (stropy: zvětšení ohybového a smykového namáhání; svislé nosné konstrukce: zvětšení normálového namáhání tlakem; základy: zvětšení tlaku event. ohybu a smyku), ale i základové půdy. Z toho vyplývá snaha o minimalizaci vlastní tíhy konstrukcí a tím zároveň i snížení spotřeby materiálu. Na druhé straně může zvýšení vlastní tíhy (především u vícepodlažních objektů) příznivě působit na zajištění stability vzhledem k vodorovnému působení větrem. V případě plošných dělicích konstrukcí (stropních desek a stěn) má snížení plošné hmotnosti konstrukce za následek zhoršení akustických vlastností (vzduchové neprůzvučnosti). Proto je zpravidla požadována určitá minimální plošná hmotnost konstrukce.

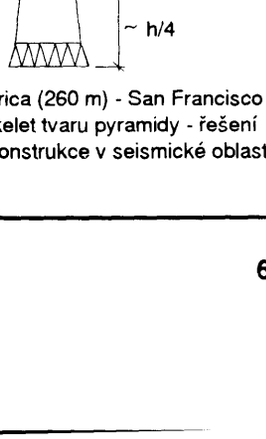
Zatížení užitná: Hlavním smyslem výstavby objektu je vytvořit prostor pro určitý provoz s daným užitným zatížením. Vzhledem k nahodilému působení užitného zatížení nelze počítat s pozitivním efektem z hlediska stability a akustických parametrů jako v případě vlastní tíhy. Minimální hodnota užitného zatížení pro daný provoz je dána normou. Z hlediska budoucích možných přestaveb a adaptací je výhodné uvažovat s určitou rezervou v užitném zatížení. Efektivnost nosného systému z hlediska únosnosti lze hodnotit poměrem celkového užitného zatížení k celkové vlastní tíze nebo v případě různých materiálů poměrem celkového užitného zatížení k ceně nosné konstrukce.

Zatížení větrem: Zatížení větrem vyvozuje ohybový účinek na konstrukční systém jako celek a působí tlakem a sáním na obalové konstrukce (obvodový plášť, střešní plášť, okenní výplně aj.). Z hlediska působení na nosnou konstrukci má rozhodující význam především u vyšších objektů. Čím vyšší je objekt, tím je větší význam vodorovného zatížení větrem pro návrh svislých konstrukcí a základů. Pro přenesení účinků zatížení větrem je třeba zajistit stabilitu a prostorovou tuhost konstrukce a stabilitu základové konstrukce. Kotvení obalových konstrukcí k nosnému systému musí být navrženo tak, aby bezpečně přeneslo účinky tlaku i sání od větru.

Zatížení sněhem: Zatížení sněhem má význam především u halových a velkorozponových staveb, kde může představovat podstatnou část celkového svislého zatížení na objekt. U vícepodlažních objektů se jeho význam s počtem podlaží zmenšuje. Stejně jako v případě užitného zatížení jde o zatížení nahodilé a nelze tak počítat s jeho pozitivním efektem.

Zatížení teplotou: Zatížení teplotou vyvozuje teplotní objemové změny v nosné konstrukci a obalových konstrukcích (obvodový plášť, střešní plášť aj.). Možným poruchám lze čelit vhodným umístěním dilatačních spár (viz D). Každá dilatační spára je velmi drahá a je potenciálním zdrojem poruch, proto je vhodné již v případě primárního koncepčního návrhu řešit konstrukci tak, aby se omezil jejich počet.

Seizmická zatížení: Účinek seizmických zatížení je závislý na výšce objektu, ale i na rozložení hmoty v konstrukci. Vysoké objekty s těžištěm hmoty v horní části konstrukce jsou náchylnější na účinky zemětřesení než objekty s těžištěm ve spodní části. Jsou navrhovány i konstrukce se speciálními tlumicími systémy (laděné tlumiče v základové konstrukci, kyvadlové tlumiče aj.).

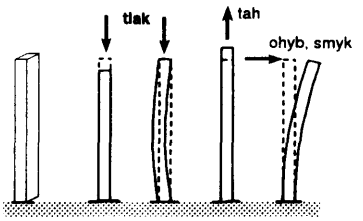


Transamerica (260 m) - San Francisco - ocelový skelet tvaru pyramidy - řešení výškové konstrukce v seismické oblasti

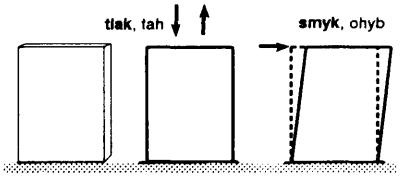
■ Konstrukční prvky nosných systémů

■■ Statické působení konstrukčních prvků

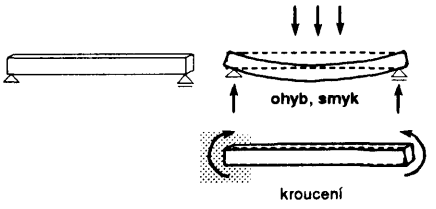
Sloup, pilíř:
Sloupy a pilíře jsou namáhány převážně tlakem, někdy ohybem a smykem, vyjímečně kroucením. V některých případech mohou být sloupy namáhány i centrickým tahem. V případě tlačených štíhlých sloupů je jejich únosnost redukována součiniteli vzpěru vzhledem k vybočení v důsledku ztráty stability. Velikost součinitele vzpěru je závislá na délce prvku, upevnění na koncích a jeho průřezových charakteristikách.



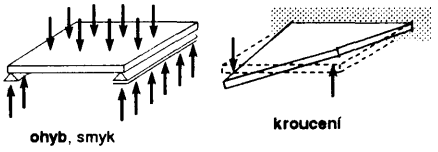
Stěna:
Stěna je namáhána převážně tlakem, ohybem a smykem v její střednicové rovině. Vyjímečně může být namáhána tahem event. kroucením. Stejně jako u sloupů je únosnost stěny v tlaku redukována součinitelem vzpěru.



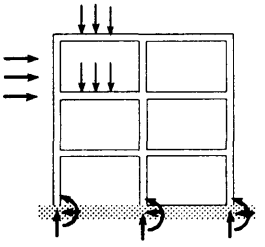
Trám:
Trám je nosníkový prutový prvek převážně namáhaný ohybem, smykem, případně kroucením (u roštů). Někdy může být namáhán i normálovým zatížením (tlakem nebo tahem - např. roznášení vodorovných sil stropní konstrukcí). Velikost namáhání podstatně závisí na způsobu podepření - kloub, posuv, vetknutí, spojité uložení.



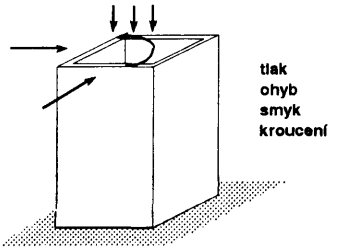
Deska:
Desková konstrukce je namáhána převážně ohybem a smykem v rovinách kolmých k rovině desky. V případě obousměrného působení desek vznikají v desce krouticí momenty. Stejně jako v případě trámu může být deska namáhána i tlakem a tahem. Velikost namáhání závisí na způsobu podepření desky.



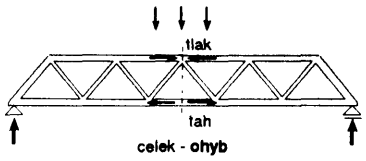
Tuhý rám:
Tuhá rámová konstrukce se skládá z prutových prvků ohybově tuze spojených. Dílčí prvky rámu jsou namáhány převážně tlakem, ohybem a smykem, v některých případech tahem. V případě excentrického zatížení mohou být prvky namáhány i kroucením.



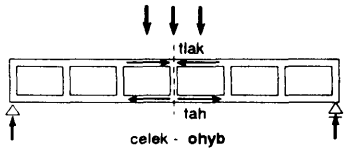
Jádro:
Jádro vznikne sestavou stěn do zpravidla uzavřeného tvaru. Tuhým spojením jednotlivých stěnových dílců vznikne prostorová sestava, ve které jsou jednotlivé plošné prvky namáhány kombinovaným deskostěnovým působením. Jádro jako celek je namáháno převážně tlakem, ohybem a smykem, případně kroucením. Vzhledem k veliké tuhosti se železobetonová jádra používají jako výztužné prvky vícepodlažních a výškových objektů.



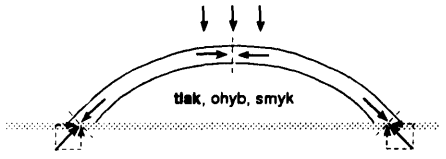
Příhradová konstrukce:
Příhradová konstrukce je určená pro přenášení především ohybového zatížení. Skládá se z prutových prvků zpravidla kloubově spojených. Dílčí prvky jsou namáhány tahem a tlakem, ohybové namáhání je pouze v případě zatížení prvku mezi styčníky. Příhradová konstrukce má jako celek velkou ohybovou tuhost ve své vlastní rovině. Ohybová tuhost je závislá na vzdálenostech tlačeného a taženého pásu.



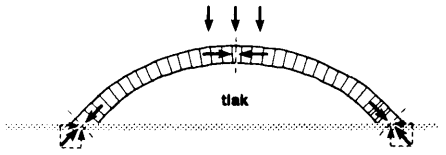
Vierendeelův nosník:
Nosník je určený pro přenášení především ohybového zatížení. Skládá se z prutových prvků ohybově tuze spojených. Dílčí prvky jsou namáhány kombinací normálových sil (tlak a tah), ohybem a smykem. Vierendeelův nosník má jako celek velkou ohybovou tuhost ve své vlastní rovině. Ohybová tuhost je závislá na vzdálenostech tlačeného a taženého pásu.



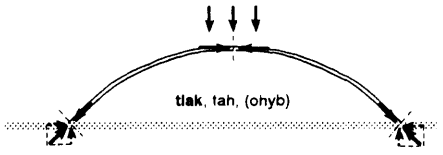
Oblouková konstrukce:
Oblouková konstrukce je převážně namáhána tlakem. Nerovnoměrnosti v zatížení nebo nesoulad tvaru oblouku s výslednicovou čárou působícího zatížení způsobují namáhání ohybem a smykem. Oblouková konstrukce zpravidla působí velkými vodorovnými silami na podpory.



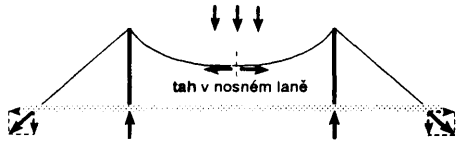
Klenba:
Klenba je plošná prostorová nebo prutová oblouková konstrukce, která vzhledem k existenci spár mezi dílci není schopná přenášet tahová namáhání. Klenba je namáhána tlakem případně v kombinaci s malým ohybem pokud výslednice sil zůstane v jádru průřezu tj. pokud nevznikne v průřezu klenby tahové namáhání. Pro působení klenby je rozhodující zachycení vodorovných sil v podporách.



Skořepina:
Skořepina je plošná prostorová zakřivená konstrukce, která přenáší vnější zatížení především normálovým působením - tlakem nebo tahem. Skořepina může být namáhána v menší míře i ohybovými momenty. Stejně jako u klenby je pro působení důležité zachycení vodorovných sil v místě podepření skořepiny.



Lanová konstrukce:
Nosná ocelová lana mají prakticky nulovou ohybovou tuhost a jsou proto namáhána pouze centrickým tahem. Lano je tvarově poddajné - tvar lana se přizpůsobuje působícímu vnějšímu zatížení. Pro zmírnění nežádoucích velkých deformací se konstrukce zpravidla tvarově stabilizuje. Visuté lano vyvozuje značné vodorovné síly na podpory, které musí být spolehlivě zachyceny.



↓ ↓ ↓ směr převládajícího vnějšího zatížení

■■ Model statického působení prvků

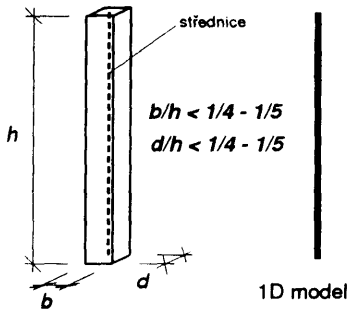
Statickou funkci prvku konstrukčního systému lze modelovat souborem matematických rovnic popisujících (více či méně přesně) stav napjatosti a deformace prvku při jeho zatížení. Prvek systému je na základě jeho geometrických rozměrů a dalších vlastností modelován podle různých hypotéz:

Prutový prvek:

Charakteristika: průřezové rozměry prvku jsou řádově shodné, délka prvku je výrazně větší v porovnání s rozměry průřezu.

Model: konstrukční prvek je redukován do jednodimenzionálního modelu (1D) - *střednice*, která reprezentuje podstatné vlastnosti prutu na základě Navierovy hypotézy, případně Vlasovovy teorie tenkostěnných průřezů.

Dominantní namáhání: tlak (sloup, pilíř aj.), tah (táhlo, lano, trám aj.), ohyb, smyk (trám, sloup aj.), kroucení (trám aj.).



Plošný prvek:

Charakteristika: dva rozměry prvku jsou řádově shodné, tloušťka prvku je v porovnání s nimi řádově menší.

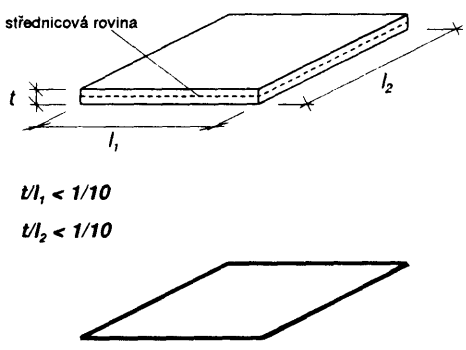
Model: prvek je redukován do dvoudimenzionálního modelu (2D) - střednicové roviny, která reprezentuje podstatné vlastnosti stěnového nebo deskového chování prvku:

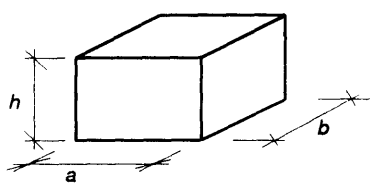
- *stěnové působení:* zatížení působí ve střednicové rovině,
- *deskové působení:* zatížení působí kolmo na střednicovou rovinu,
- *deskostěnové působení:* kombinace stěnového a deskového působení,

(v některých případech lze i pro plošné prvky použít jednoduššího prutového modelu).

Dominantní namáhání

- *stěnové působení*: tlak, tah, smyk, ohyb ve střednicové rovině,
- *deskové působení:* ohyb v rovinách kolmých ke střednicové rovině, smyk, kroucení,
- *deskostěnnové působení:* tlak, tah, smyk, ohyb, kroucení (skořepiny, jádra aj.).





Prostorový prvek:

Charakteristika: rozměry prvku jsou řádově shodné.

Model: třídimenzionální model (3D); 3D model se vzhledem ke značné složitosti používá výjimečně, zpravidla se konstrukce modeluje některým z jednodušších modelů (1D nebo 2D).

Správná volba matematického modelu chování prvku, subsystému nebo celého systému je z hlediska dosažitelné přesnosti výsledků analýzy velmi důležitá, zpravidla mnohem důležitější než vlastní numerická přesnost výpočtů.

■■ Okrajové podmínky

Na působení konstrukčních prvků mají zásadní vliv okrajové podmínky - uložení konců nebo okrajů prvků na podpory, nebo způsob jejich spojení s ostatními prvky systému. Ve statických modelech se zpravidla uvažují podepření umožňující nebo zabraňující v daném směru posun nebo natočení. Ve skutečnosti však často nelze hovořit o dokonalém zabránění nebo dokonalém umožnění pohybu v uložení (viz např. ocelový nosník zabetonovaný do věnce). V těchto případech je třeba zvolit model podepření, který bude z hlediska statického působení konstrukce na straně bezpečnosti. V některých případech se do výpočtů zavádějí i pružná podepření o definované tuhosti.

■ Interakce konstrukčních prvků

Spojením konstrukčních prvků v konstrukční systém dochází při působení vnějších vlivů (zatížení apod.) ke vzájemné *interakci* (spolupůsobení) prvků. Interakce může mít pozitivní nebo negativní účinky na chování systému. Negativní účinky interakce je třeba eliminovat oddělením částí konstrukce *dilatačními styky* omezujícími přenos nežádoucích účinků mezi prvky systému.

Z hlediska konstrukčně statického může mít interakce charakter *nosný* nebo *nenosný*. V případě, že styk mezi prvky zajišťuje přenesení sil z jednoho prvku do druhého jde o *styk nosný* a *interakci nosnou*. Takovýto charakter má většina styků mezi prvky nosného subsystému (styk sloup průvlak, tuhý styk mezi stěnovými panely apod.).

"Nechtěně" nosný charakter může mít i styk mezi prvky nosného subsystému a prvky primárně nenosného subsystému pokud styk přenáší síly vzniklé v důsledku deformace nosného prvku do prvku, který nebyl původně určen ke statickému působení. V případě, že primárně nenosný prvek je schopen vnesená zatížení přenést, zapojí se do nosné funkce konstrukce a úměrně k jeho tuhosti se zmenší deformace a zpravidla i namáhání ostatních prvků systému (v některých případech ovšem může dojít i k takovému přerozdělení sil v nosném systému, které může zhoršit i namáhání původního nosného systému).

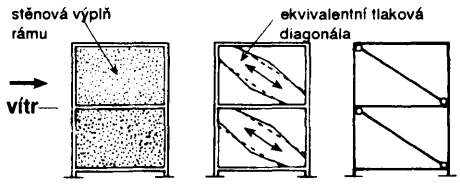
Příkladem může být působení klasických zděných příček, jejichž rovinná tuhost je značná a jsou tak schopny podstatně zmenšit deformace sloupových systémů. V případě, že namáhání přenášená prostřednictvím styků do primárně nenosné konstrukce (např. příčky) jsou větší než je schopná přenést, dojde k jejímu porušení. Interakci mezi nosným a primárně nenosným subsystémem je třeba posoudit z hlediska účinků na oba subsystémy a v případě návrhu nosného spolupůsobení navrhnout styk i oba subsystémy tak, aby byly schopny ve vzniklém stavu bezporuchově působit. V opačném případě je třeba navrhnout dostatečné oddilatování obou konstrukcí.

■■ Interakce prvků v nosných systémech - specifické problémy

Interakce prvků v konstrukčním systému způsobuje některé specifické konstrukčně statické problémy, které je třeba uvažovat při návrhu nosné konstrukce objektu:

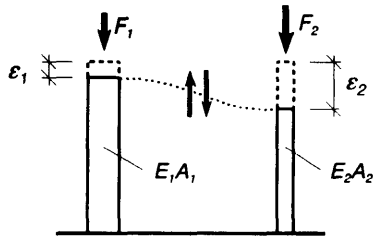
Interakce prvků subsystému kompletačních konstrukcí s nosným subsystémem: Většina prvků subsystému kompletačních konstrukcí není navržena na přenášení statických zatížení, s výjimkou jejich samonosné funkce. V rámci návrhu konstrukce je třeba zajistit oddilatování těchto prvků od nosného subsystému, tak aby nedocházelo k nežádoucímu přenášení deformací a tím k případným poruchám. Tento princip je v souladu s tendencí důslednějšího oddělování funkcí subsystémů v rámci zprůmyslnění prvků kompletačního i nosného subsystému.

Interakce stěnových výplní s rámovou konstrukcí: V případě nosné interakce mezi výplní a rámem musí být styk uzpůsoben pro přenášení smykových a normálových sil a vlastní výplň musí vyhovovat z hlediska únosnosti a stability. V případě nenosného styku musí být zabráněno přenášení nežádoucích sil pomocí dilatačního styku výplně s rámem.

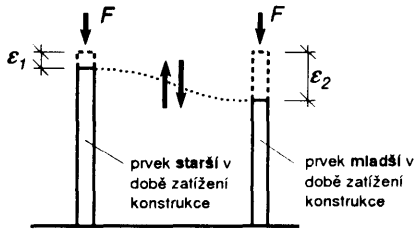


rám s výplní a jeho statický model

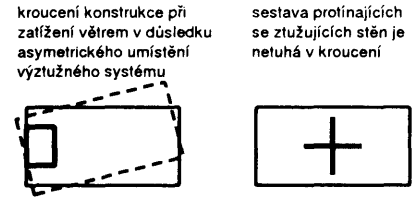
Rozdílné normálové stlačení svislých prvků: Různá poměrná deformace ε ($\varepsilon = F / EA$) svislých prvků může být způsobena: různými průřezovými plochami A, různým zatížením F, různým materiálem s odlišným modulem pružnosti E. V důsledku toho může dojít k ohybovému a smykovému namáhání tuze připojených stropních konstrukcí, nadpraží, překladů aj. Tento vliv je významný především u výškových objektů. Maximální namáhání propojujících prvků je v nejvyšších podlažích.



Rozdílné dotvarování železobetonových svislých prvků: Vliv dotvarování se uplatňuje především v případech kombinace železobetonových prvků s různým stářím (např. kombinace monolitických stěn s montovanou sloupovou konstrukcí). V důsledku různého časového průběhu dotvarování odlišně starých konstrukčních prvků dochází k namáhání horizontálních prvků (stropů, nadpraží, překladů aj.) ohybem a smykem. Uvedený vliv je významný především u výškových objektů.

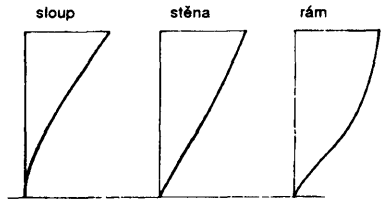


Kroucení konstrukce: Nevhodnou půdorysnou skladbou výztužných systémů může dojít k nepříznivému namáhání konstrukce kroucením, které se může stát rozhodujícím z hlediska dimenzování a tím i rozhodujícím pro ekonomii konstrukce. V zásadě by výztužné prvky měly být umístěny přibližně symetricky vzhledem k těžišti půdorysu. Zcela nevyhovující je řešení, kdy výztužné stěny tvoří jeden svazek. Taková sestava stěn je z hlediska kroucení zcela netuhá.



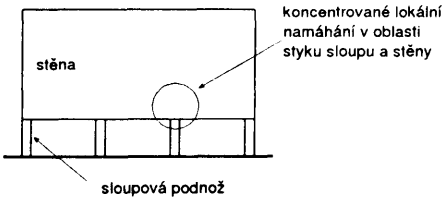
nevhodné způsoby umístění ztužujících prvků

Interakce svislých prvků: V důsledku rozdílných charakterů volných deformací stěn, sloupů a rámů může při jejich spojení dojít ke vzájemnému ovlivnění deformačních křivek a tím k nárůstu napjatosti především u poddajnějších svislých prvků a subsystémů. Při výpočtu na modelu nerespektujícím specifické charaktery deformačních křivek prvků může dojít i k několikanásobnému poddimenzování některých svislých prvků.



rozdílný charakter vodorovné deformace svislých konstrukcí

Lokální napjatost v místě styku prutového a stěnového prvku: V místě kontaktu vzniká oblast lokálního stavu napjatosti (vznik příčných tahových namáhání aj.), ve které dochází k roznášení koncentrovaného namáhání z prutového prvku do plochy stěny. Tento vliv je významný především u vertikálně kombinovaných systémů, kde pilířová podnož nese stěnovou konstrukci horních podlaží. Význam se zvyšuje v případech nerovnoměrného sedání základové konstrukce.



KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY JEDNO A VÍCEPODLAŽNÍCH BUDOV

C2

Structures of Singlestorey and Multistorey Buildings
Konstruktionssysteme ein- und mehrgeschossiger Bauten

■ Konstrukční, materiálové a technologické třídění konstrukcí

Konstrukční systémy jedno a vícepodlažních budov vytvářejí strukturu zajišťující požadovanou odolnost vůči všem zatížením působícím na budovu během její životnosti. U vícepodlažních budov je třeba zajistit vytvoření dostatečně únosných vodorovných konstrukcí (stropů) a zároveň tyto stropní konstrukce spolehlivě podepřít a přenést reakce vznikající v podporách prostřednictvím základových konstrukcí do základového podloží.

Efektivní řešení konstrukčního systému je podmíněno účelným rozmístěním konstrukčního materiálu v prostoru budovy. Konstrukční sytém navrhované budovy lze obvykle vytvořit více způsoby řešení, ale každé řešení vyžaduje jiné množství a kvalitu materiálu a jinak ovlivňuje členění vnitřního prostoru budovy.

Konstrukční systém vzniká propojením svislých a vodorovných primárně nosných prvků. Svislými nosnými prvky jsou buď stěny nebo sloupy, případně kombinace sloupů a stěn. Svislé prvky rozhodují o důležitých vlastnostech konstrukčního systému jako je možnost členění vnitřního prostoru budovy na funkční celky nebo odolnost vůči, pro vícepodlažní budovy, významným vodorovným zatížením. Proto je pro klasifikaci konstrukčních systémů vícepodlažních budov rozhodující druh svislých prvků a jejich uspořádání v půdorysu budovy. Poněkud menší význam pro vlastnosti systému má konstrukční materiál a technologie zhotovení konstrukčních prvků.

Třídění konstrukčních systémů:

- základní třídění konstrukčních systémů je *podle druhu svislých prvků*:

  - systém stěnový
  - systém sloupový
  - systém kombinovaný

- *podle použitého konstrukčního materiálu:*

  - systém zděný
  - systém betonový či železobetonový
  - systém z kovových prvků
  - systém z dřevěných prvků
  - systém kombinovaný (využívající více materiálů)

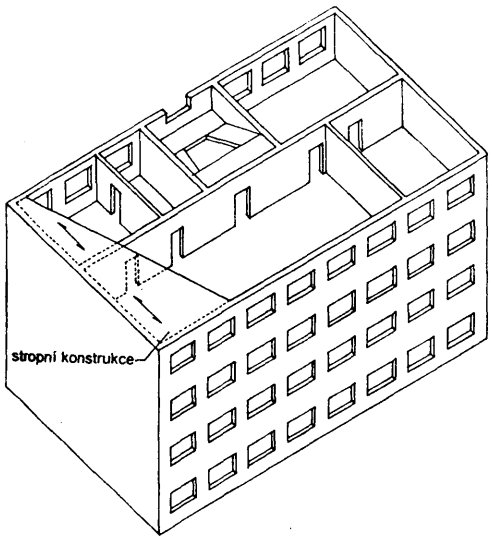
- *podle orientace svislých prvků vůči osám budovy:*

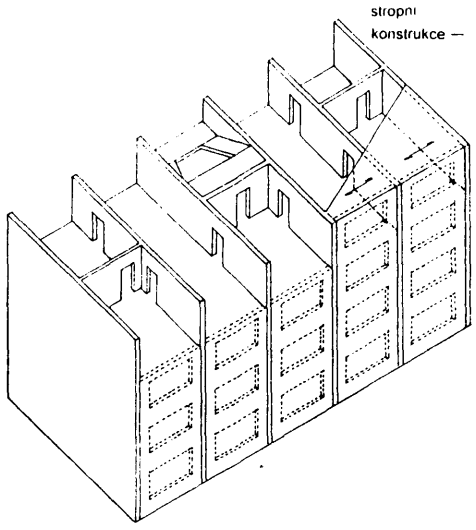
  - systém příčný
  - systém podélný
  - systém obousměrný

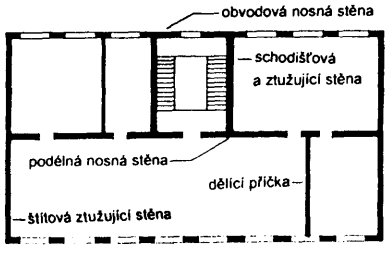
- *podle způsobu zhotovení:*

  - monolitický (zhotovený z betonu na stavbě)
  - prefabrikovaný (z předvyrobených prvků)
  - kombinovaný

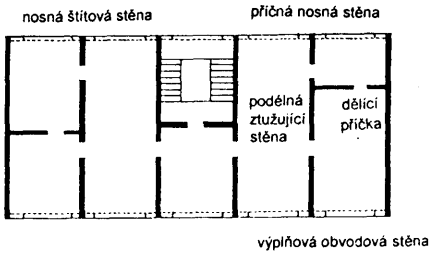
Konkrétní konstrukční systém se pak označuje např.
stěnový podélný zděný, sloupový obousměrný monolitický apod.



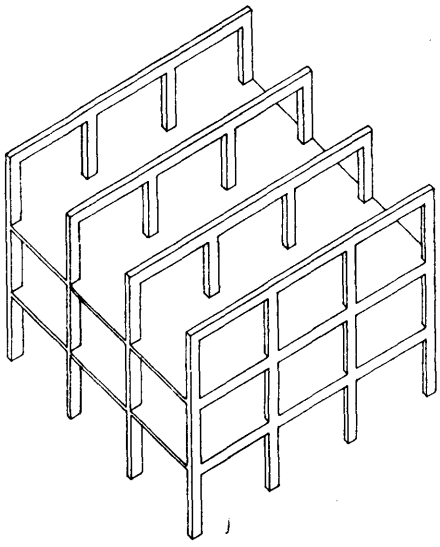


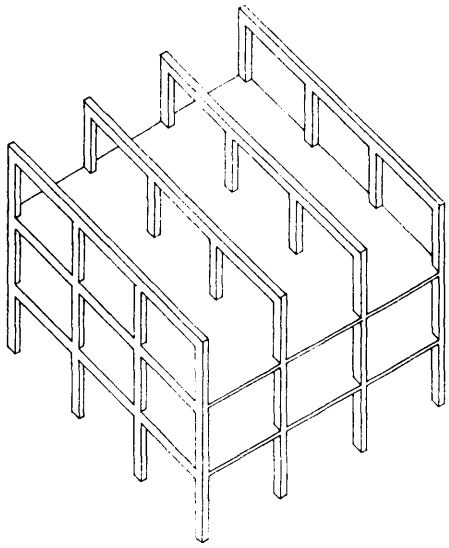


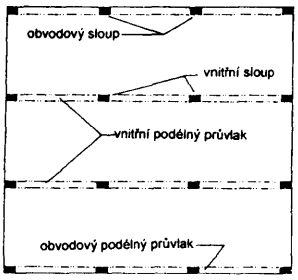
Podélný stěnový systém



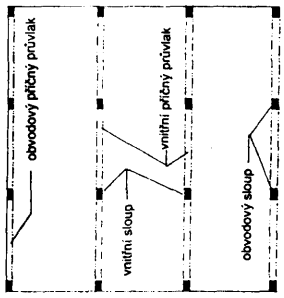
Příčný stěnový systém



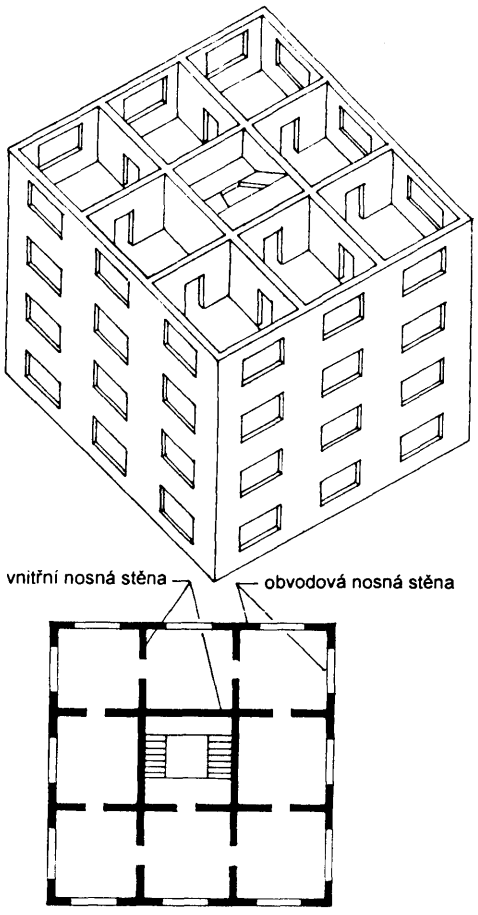




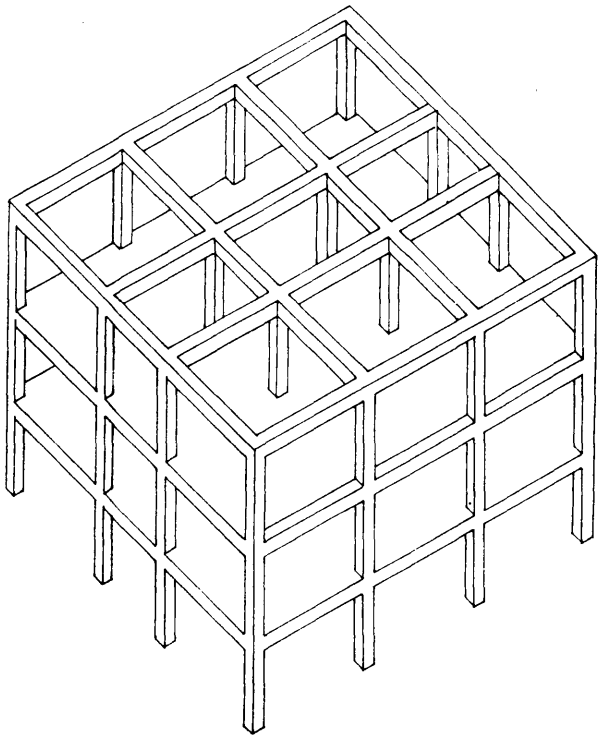
Podélný sloupový systém
(bez znázornění příčného ztužení)

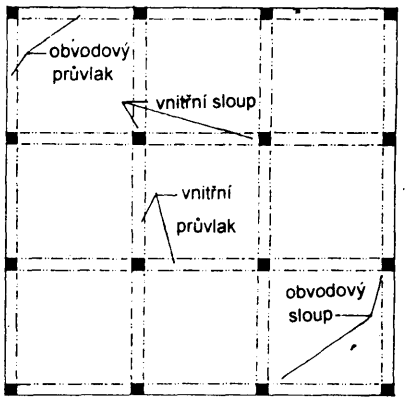


Příčný sloupový systém
(bez znázornění podélného ztužení)

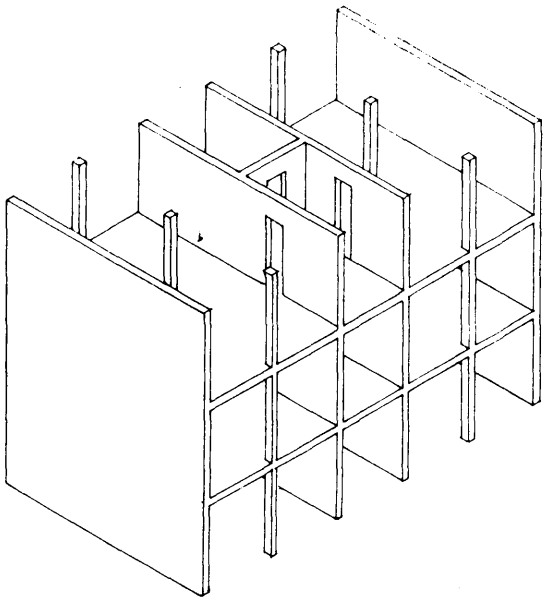


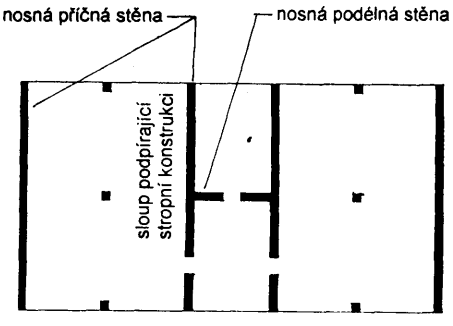
Obousměrný stěnový systém





Obousměrný sloupový systém



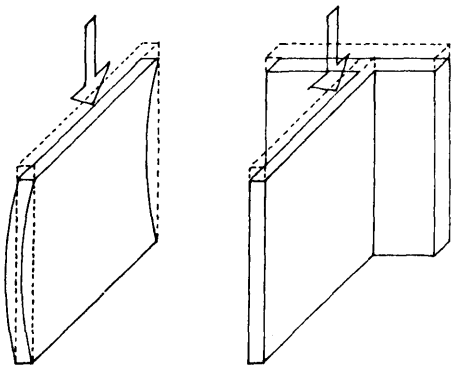


Kombinovaný systém

■ Uspořádání nosného systému

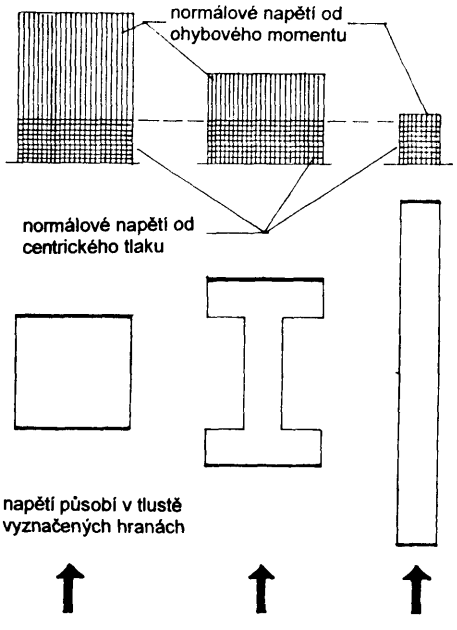
Konstrukční prvky rozmístěné v prostoru budovy je účelné vzájemně spojit tak, aby společně vzdorovaly zatížením na budovu působícím. Deformaci více zatíženého prvku omezují s ním spojené prvky méně zatížené. Tím dochází k jistému vyrovnávání namáhání jednotlivých konstrukčních prvků a zároveň se zvyšuje odolnost konstrukce vůči zatížením. To přispívá k hospodárnějšímu využití konstrukčního materiálu.

Pro přenesení svislých zatížení vyvozujících ve svislých prvcích převážně tlaková namáhání je třeba, aby průřezová plocha byla dostatečná, resp. aby tlaková namáhání ve svislých prvcích nepřekročila únosnost konstrukčního materiálu. Jde tedy o vhodný poměr mezi velikostí plochy, ze které se zatížení přenáší do svislého prvku a jeho průřezovou plochou.



zvýšení odporu stěny vůči vzpěru a vůči ohybu ve směru kolmo na střednici

Pro přenesení vodorovných zatížení je důležité, aby konstrukce byla vybavena svislými prvky, nebo sestavami svislých prvků s vysokou odolností vůči vodorovnému zatížení působícímu na budovu v libovolném směru. Průřez svislých prvků by měl vykazovat co největší moment setrvačnosti ve směru působení vodorovných zatížení. Pro využití všech svislých prvků na přenosu vodorovných zatížení je účelné propojit všechny svislé prvky tak, aby byla zajištěna jejich společná vodorovná deformace. Svislé prvky propojujícími konstrukcemi jsou tuhé, prakticky nedeformovatelné stropní tabule. Za prakticky tuhou stropní tabuli lze považovat monolitickou železobetonovou desku, nebo stropní konstrukci obsahující betonovou vrstvu uloženou na keramických prvcích apod. Při propojení svislých prvků tuhou stropní tabulí se vodorovné zatížení rozděluje na jednotlivé svislé prvky úměrně jejich komplexní tuhosti. Pokud jsou některé svislé prvky propojeny účinněji např. vodorovnými nosníky, tuhost těchto spřažených prvků je větší nežli by odpovídalo součtu tuhosti spojených prvků. Čím větší je tuhost propojení svislých prvků, tím více klesají normálová napětí svislých prvků, resp. tím více se zvyšuje odolnost sestavy.



vliv tvaru průřezu při působení ohybového momentu a centrického tlaku plochy průřezů jsou stejné

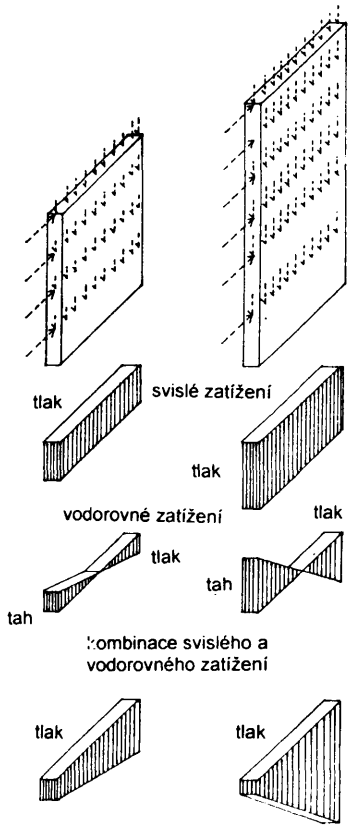
Vyšší tuhost sestav spřažených prvků je provázena vyšší citlivostí na vynucené nerovnoměrné deformace konstrukčních prvků. Zdrojem těchto deformací mohou být teplotní objemové změny nebo nerovnoměrné poklesy základových konstrukcí.

■ ■ Vliv výšky na konstrukční řešení systému

S rostoucí výškou budovy, resp. s rostoucím počtem podlaží, narůstá svislé zatížení svislých prvků konstrukčního systému. Tento růst je přibližně lineární. Výrazněji narůstá s rostoucí výškou budovy význam zatížení vodorovného. Vodorovné zatížení vyvozuje ve svislých prvcích ohybové momenty neboť svislé prvky lze za jistých předpokladů považovat za soustavu vzájemně propojených konzol. Celkový ohybový moment působící na budovu narůstá přibližně s druhou mocninou výšky.

Ohybové momenty působící ve svislých prvcích vyvolávají tlaková a tahová normálová napětí. Ta se sčítají s tlakovými normálovými napětími od svislých zatížení.

Vzhledem k tomu, že tahová napětí vyvolaná vodorovným zatížením rostou při zvětšující se výšce rychleji nežli tlaková napětím vyvolaná svislými zatíženími, jsou od jisté výšky budovy spodní části svislých prvků namáhány tahovým napětím. Základová spára není schopna tahová namáhání přenášet a proto je vhodné vzniku tahových namáhání svislých prvků úpravou konstrukce zamezit.

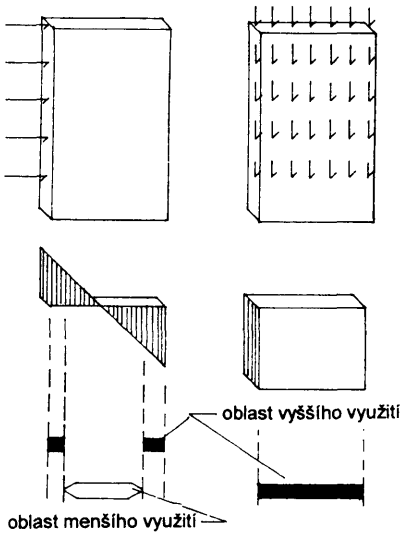


vliv výšky na normálové napětí stěny

■ Stěnové systémy

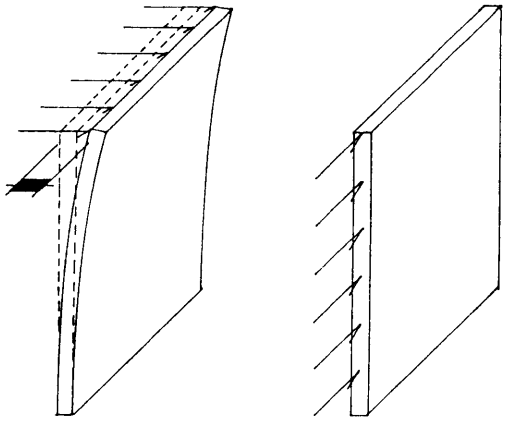
Stěnový systém používá pro podepření stropních konstrukcí i pro zajištění odolnosti vůči vodorovnému zatížení výhradně stěnové prvky. Orientace stěn může být v půdoryse libovolná, ale většinou jsou střednice stěnových prvků rovnoběžné s příčnou či podélnou osou budovy. U budov s kruhovým půdorysem mohou být stěny orientovány radiálně. Stěny nemusí být vždy rovinné. Střednice stěn může být zakřivena podle požadavků architektonického řešení. Použití stěn jako základního nosného prvku rozčlení vnitřní prostor budovy na menší celky, jejichž velikost je dána rozponem stropních konstrukcí. Tato skutečnost předurčuje použití stěnových systémů pro budovy s menšími vnitřními prostorami, především jsou používány u budov pro ubytování.

Stěny vytvářejí průběžné přímkové podpory stropních konstrukcí, což je pro stropní konstrukce příznivé. Značná ohybová tuhost stěn ve směru jejich střednic zajišťuje vysokou odolnost vůči ohybovým momentům působícím v tomto směru. Naopak nepatrná ohybová



využití konstrukčního materiálu stěny při namáhání ohybovým momentem a centrickým tlakem

tuhost ve směru kolmém na střednice způsobuje velmi malou odolnost konstrukce vůči ohybovým momentům působícím v tomto směru. Stěnové konstrukční systémy vykazují vysokou odolnost vůči vodorovnému zatížení působícím ve směru střednic. Stěny navrhované z únosných materiálů zmenšují nároky na jejich tloušťku, jsou ale ohroženy porušením vyvolaným vzpěrem. Velmi malá odolnost stěn vůči ohybovým momentům působícím kolmo na střednice vyžaduje, aby stěnový konstrukční systém budovy byl tvořen soustavou vzájemně kolmých stěn. Nevýhodou stěnových konstrukčních systémů je jejich vysoká citlivost vůči zatížením vyvolávajícím nerovnoměrné deformace jednotlivých částí konstrukce tj. vůči objemovým teplotním změnám a vůči nerovnoměrnému poklesu základových konstrukcí.



ohybová tuhost stěny ve směru střednice a ve směru kolmém na střednici

Výhodou stěnových konstrukčních systémů, zejména příčných, je skutečnost, že stěny tvořené z únosných konstrukčních materiálů vykazují vzhledem ke své vysoké plošné hmotnosti dobré zvukoizolační schopnosti a jsou schopny proto bez dalších přídatných konstrukcí zabezpečit potřebnou míru vzduchové neprůzvučnosti. Nehořlavost konstrukčních materiálů používaných pro stěny tj.betonu, železobetonu a zdiva zajišťuje i účinné požární oddělení stěnami vymezených prostor budovy. Stěny plní zároveň i funkci dělících konstrukcí příček. U stěnových systémů jsou proto nároky na rozsah příček výrazně snížené.

Optimální stěnový konstrukční systém respektuje požadavky na vnitřní členění budovy. Rozmístění stěn a vzájemné propojení stěn orientovaných příčně i podélně musí zajistit potřebnou míru odporu budovy jak vůči svislému, tak i vůči vodorovnému zatížení. Odpor vůči svislému zatížení je do značné míry závislý na míře odporu vůči vzpěru. Je tedy třeba volit při návrhu konstrukce vhodné poměry mezi tloušťkou stěn, výškou podlaží a vzdáleností propojení kolmých stěn.

Má-li být konstrukční systém ekonomický, je třeba navrhnout sice vzdálenost stěn, resp. rozpon stropních konstrukcí podle požadavků povozu budovy, ale s ohledem na co nedokonalejší využití konstrukčního materiálu stropů i stěn. Příliš malé rozpony stropních konstrukcí neumožňují plně využít únosnost stěn. Tloušťka stěn totiž nemůže z technologických, izolačních i konstrukčních důvodů klesnout pod jistou hodnotu. Minimální použitelná tloušťka stěn je závislá např. na odporu vůči vzpěru. Kromě požadavku zajištění potřebné statické bezpečnosti mohou určovat minimální tloušťky i konkrétní požadavky na zvukoizolační schopnost nebo na požární odolnost.

■ ■ Zděné stěnové systémy

Konstrukčním materiálem stěn může být zdivo provedené z keramických zdících prvků, nebo z lehčených betonů tj. z plných či lehčených cihel, tvárnic nebo bloků. Jen zcela výjimečně se v současné době používá pro nosné stěny kamenné zdivo. Zdícími prvky zde jsou kameny z vhodných hornin tvarově opracované podle vzhledových požadavků.
Tloušťky zděných stěn mohou být navrhovány pouze v násobku skladebných rozměrů zdících prvků. Lze tedy vytvořit stěnu tlustou 150mm, 300mm, 350mm , nebo 125mm, 250mm, 375mm apod. Široký výběr zdících prvků s rozdílnou objemovou hmotností, pevností a tepelněizolační schopností umožňují přizpůsobit parametry stěn daným požadavkům. Pro vnitřní stěny je preferován odpor vůči vnitřním silám, schopnost odolávat požáru a schopnost bránit prostupu hluku. U obvodových stěn tj. u stěn

průčelních a štítových je požadavek na potřebný odpor stěny vůči vnitřním silám doplňován požadavkem na její tepelně izolační schopnost.

Bezproblémové je použití zdiva u systémů s vzájemně kolmými stěnami. Pokud se stěny napojují pod jiným nežli pravým úhlem, je zapotřebí zdící prvky tvarově upravovat pro zajištění vhodné vazby zdiva podmiňující odpor zdiva vůči vnitřním silám. Pracnost provedení zdiva pak samozřejmě. narůstá.

Vzhledem k tomu, že vyšší tepelně izolační schopnost je provázena u zdiva nižší objemovou hmotností a nižší únosností, je někdy v konstrukčním systému budovy použito odlišné zdivo pro vnitřní a pro obvodové stěny. Silně lehčené zdivo průčelních stěn může být ukládáno v každém podlaží na stropní konstrukce podporované příčnými nosnými stěnami vyzděnými z cihel s vyšší objemovou hmotností a tudíž s vyšší pevností i schopností bránit šíření hluku.

Zdivo vzoruje poměrně dobře tlakovým namáháním. Jeho únosnost v tahu je prakticky zanedbatelná. Proto je žádoucí aby těžiště výslednice zatížení procházela těžištěm průřezu zděného prvku, nebo aby působiště zatížení leželo v blízkém okolí těžiště. Pokud tohoto požadavku nelze dosáhnout, musí tlaková složka výsledného napětí převyšovat při všech kombinacích zatížení případné tahové složky.

Vzhledem k tomu, že tahová namáhání mohou vyvozovat některá zatížení, např. teplotní objemové změny i ve vodorovném směru, je třeba doplnit zdivo v každém podlaží konstrukčními prvky schopnými přenášet tahová namáhání.. Obvykle plní tuto funkci pozední věnce. Pozední věnce mohou být součástí stropních konstrukcí. Toto řešení je obvyklé u zděných konstrukcí vybavených stropními konstrukcemi z monolitického betonu.

Tahová namáhání ve stěně mohou vzniknout v nadpražích dveřních či okenních otvorů namáhaných ohybovými momenty od tíhy stěny a stropní konstrukce napražím podporovaných. Pro přenesení namáhání vyvolaných ohybovými momenty je zděná stěna v místech nadpraží doplňována speciálními prvky - překlady železobetonovými, ocelovými aj.

■ ■ Betonové stěnové systémy

Použití betonu pro stěnové konstrukce umožňuje výrazně snížit tloušťku nosných stěn oproti stěnám zděným. Únosnost betonu v tlaku je cca desetkrát vyšší nežli cihelného zdiva. Menší tloušťka stěn zvyšuje význam vzpěru. Často je nutno staticky nezbytnou tloušťku zvětšit pro přizpůsobení technologickým nebo akustickým či jiným funkčním požadavkům. Obvykle neklesá tloušťka nosných stěn pod 200mm, méně často se uplatní i tloušťka 150mm.

Předností použití betonu v nosných stěnách je možnost použití stejného materiálu i pro stropní konstrukce. Tato skutečnost významně zjednodušuje organizaci provádění primárně nosných konstrukcí. Významnou výhodou betonu je možnost doplňovat beton ocelovou výztuží v oblastech vystavených tahovým namáháním. Vyztužená betonová, resp. železobetonová stěna překonává nedostatek betonových a zděných konstrukcí - nízký odpor vůči namáhání tahem. Úpravou množství výztuže v jednotlivých částí konstrukce umožňuje zachovat jednotnou tloušťku stěnové konstrukce i při rozdílných vnitřních silách působících v konstrukci. Jednotná tloušťka stěn u vícepodlažní budovy umožňuje použít pro kompletaci omezený rozměrový sortiment prvků např. omezený sortiment příčkových dílců, vestavěných stěn apod.

Oproti zděným stěnám je u stěn betonových nevýhodou poměrně nízký tepelný odpor a vyšší (téměř dvojnásobný) součinitel tepelné roztažnosti. Obvodové betonové stěny je v našich klimatických podmínkách nutno doplňovat efektivnější tepelnou izolací např. zpěněným polystyrénem apod. Betonové

stěny vykazují při změně teploty větší objemové změny nežli stěny zděné. Vzhledem k vyššímu modulu pružnosti betonu oproti zdivu, jsou betonové a železobetonové stěny při změnách teploty více namáhány. Pro omezení důsledků teplotních změn je třeba betonové konstrukce větších budov dělit na menší části - dilatační celky. Přípustná velikost rozměrů dilatačních celků je u betonových konstrukcí menší nežli u konstrukcí zděných

- ***stěnové systémy monolitické***

U monolitických konstrukcí se ukládá betonová směs do předem připraveného bednění, ve kterém je podle potřeby již uložena výztuž z betonářské oceli. Použití monolitického betonu pro stěnové konstrukční systémy zajišťuje velmi účinné propojení vzájemně kolmých stěn i stěn spojovaných pod jinými než pravými úhly a propojení stěn se stropní konstrukcí. V takovém systému dochází k účinné redistribuci vnitřních sil z primárně více zatížených prvků do prvků primárně méně namáhaných. Propojení spojovaných prvků betonem a výztuží zabezpečuje poměrně značný odpor styků vůči vnitřním silám a zároveň je zabezpečena i značná tuhost styků stěn. Konstrukční materiál je pak využitý v rozsahu celé konstrukce dokonaleji nežli u systémů s menší mírou redistribuce.

Individuální vytváření konstrukčních prvků umožňuje přizpůsobit konstrukci specifickým požadavkům např. měnit velikost a polohu okenních otvorů, tloušťku stěnových prvků, zabudovávat do stěn a stropů instalace apod. Zároveň je možno přizpůsobit rozměry konstrukčních prvků např. tloušťku stěn namáháním tj. přizpůsobit odpor konstrukce. Možnosti tvarování konstrukce jsou do jisté míry omezeny použitým bedněním. Tradiční, z prken a hranolů vytvářené bednění, je v současné době téměř vytlačeno velkoplošnými systémovými bednícími sestavami. Systémová bednění neumožňují plynulé změny rozměrů konstrukčních prvků. Rozměry se pak mohou měnit jen v násobcích 50, 100mm apod. Systémová bednění výrazně snižují staveništní pracnost i náklady. Bednící dílce jsou používány opakovaně.

Při návrhu monolitických betonových konstrukcí je zapotřebí brát v úvahu důležitou vlastnost betonu smršťování. Betonová konstrukce zmenšuje po vybetonování jistou dobu své rozměry. Důvodem je postupná ztráta vody tvořící součást betonové směsi. Intenzita úbytku rozměrů s časem klesá až k jisté limitní konečné hodnotě. Intenzita a doba smršťování je závislá na řadě parametrů jako např. poměr mezi povrchem a objemem prvku, vlhkostí prostředí aj. Je-li smršťování bráněno, je konstrukce namáhána přídatnými vnitřními silami. Velikost přídatných namáhání tudíž závisí na tuhosti konstrukce. Je proto žádoucí omezit např. dělením konstrukce na menší celky velikost smrštění, nebo navrhnout konstrukci, která je díky vhodnému rozmístění stěnových prvků méně citlivá na smrštění.

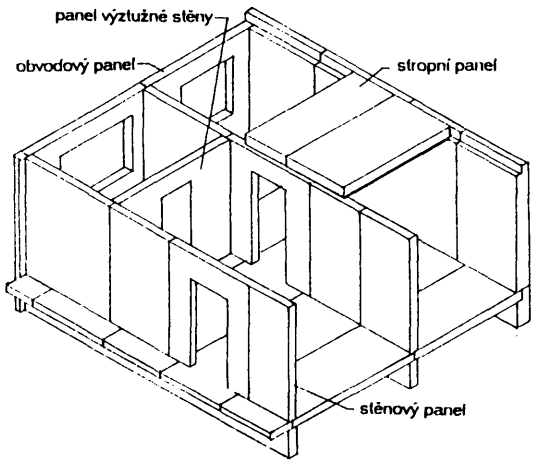
Nevýhodou monolitických betonových konstrukcí jsou nutné časové přestávky mezi uložením betonové směsi do bednění a odbedněním konstrukčních prvků. Časový odstup mezi uložením betonové směsi a odbedněním je nezbytný pro dosažení potřebných vlastností betonu, především potřebné pevnosti. S klesající teplotou se růst pevnosti zpomaluje. Při nízkých teplotách je třeba chránit betonovou směs před zmrznutím což značně komplikuje provádění betonářských prací. Klesne-li teplota betonu pod bod mrazu porušuje se nevratně struktura dosud nezatvrdlého betonu.

- ***systémy prefabrikované***

Nosná konstrukce je u prefabrikovaných stěnových systémů vytvářena z velkoplošných betonových či železobetonových dílců - panelů. Dílce, resp. prefabrikáty jsou vyráběny většinou ve specializované výrobně, dovezeny na staveniště a zde osazeny do konstrukce. Méně často se dílce vyrábějí přímo na staveništi na úrovni terénu a pak osazují do konstrukce. Přenesení výroby prvků do příznivějších

podmínek umožňuje zvýšit kvalitu betonu, přesnost rozměrů konstrukčních prvků a používat i složitější tvary prvků.

Pro prefabrikované konstrukce se používají dva základní principy prefabrikace objemová a prefabrikace prvková. U objemové typizace se nejprve navrhne konstrukce objektu stejným postupem jako u konstrukce monolitické a následně je konstrukce rozdělena na jednotlivé dílce, které pak budou vyráběny a montovány. Při tomto postupu lze z takto navržených prvků sestavit jen jeden objekt .U prvkové typizace jsou vyráběny dílce na sklad a z nich je pak skládána nosná konstrukce. Pro bezkonfliktní tvorbu konstrukcí využívajících prvkovou prefabrikaci je třeba koordinovat parametry modulových osnov s rozměry prefabrikátů. Použití prvkové typizace umožňuje vytvářet z prefabrikátů různorodé objekty a přizpůsobit objekt konkrétním objemovým i funkčním požadavkům.



Montovaný stěnový systém

Významnou částí nosné prefabrikované konstrukce jsou styky jednotlivých prvků. Konstrukční řešení styků rozhoduje o tom do jaké míry se prefabrikovaná stěnová konstrukce přiblíží svými vlastnostmi konstrukci monolitické. Vhodným konstrukčním řešením styků lze ovlivnit míru redistribuce vnitřních sil konstrukce a dosáhnout příznivějšího rozložení vnitřních sil oproti konstrukci monolitické. Snížením tuhosti styku vnitřních příčných stěn se stěnami obvodovými lze např. snížit namáhání konstrukce vyvolanými změnami teploty vnějšího prostředí.

Důležitým problémem, který je třeba u montovaných konstrukcí řešit je skutečnost, že prefabrikáty lze vyrobit jen s jistou mírou přesností. Styky prefabrikovaných konstrukcí musí umožnit kompenzaci rozměrových a montážních odchylek. Zvýšení rozměrové přesnosti vyráběných prvků usnadňuje řešení styků, ale zvyšuje výrobní náklady. Proto je třeba hledat kompromis mezi usnadněním montáže a omezením nákladů na zhotovení budovy.

Pro zjednodušení výroby a montáže je výhodné skládat konstrukci z menšího počtu větších prvků. Velikost prefabrikátů je však limitována hmotností prvku, který může zvedací prostředek (jeřáb) zvednout a osadit do konstrukce. Použití prvků větších rozměrů ale omezuje variabilitu konstrukce a zvyšuje počet druhů prvků. Ve větším stěnovém prvku mohou být např. dveře osazeny buď v jedné poloze a pak je umístění dveří omezeno jen na menší počet míst, nebo je třeba vyrábět větší prvky se dveřními otvory ve více polohách. Vyšší hmotnost prvků zároveň zvyšuje nároky na zvedací i dopravní prostředky.

- systémy prefamonolitické

Monolitické i prefabrikované konstrukce mají, kromě řady dílčích předností, i své specifické nedostatky. U monolitických konstrukcí je to např. pracnost zhotovení bednění a uložení výztuže v daném místě stavby při měnícím se počasí. Komplikované je použití tvarově složitých průřezů konstrukčních prvků a j. Nevýhodou prefabrikovaných konstrukcí bývá značná hmotnost prefabrikovaných prvků zvyšující nároky na dopravní i zvedací prostředky. Komplikované je u prefabrikovaných konstrukcí i vytvoření spojů zajišťujících celistvost konstrukce, resp. obdobné vlastnosti jako má konstrukce monolitická.

Snaha potlačit uvedené nedostatky a zachovat příznivé vlastnosti obou typů konstrukcí vedly k použití konstrukcí kombinující oba technologické principy. Prefabrikáty zde vytvářejí část konstrukčních prvků a zároveň ztracené bednění. Po doplnění konstrukce monolitickým betonem vzniknou prvky kde monolitický beton i prefabrikát společně vzdoruje vnitřním silám. Monolitický beton ukládaný do prefabrikátů tvořících tzv. ztracené bednění je obvykle vyztužován pro zajištění celistvosti konstrukce.

Jinou variantou prefamonolitických konstrukcí jsou konstrukce, kde více namáhané a tudíž komplikovaněji armované části jsou zhotoveny z prefabrikátů případně i o vyšší pevnosti betonu.

U prefamonolitických konstrukcí je třeba zajistit účinné propojení monolitických a prefabrikovaných prvků, resp. zabránit jejich oddělení. Vlastnosti betonu obou částí se mohou lišit. Důvodem je odlišná kvalita betonu a odlišné stáří jednotlivých částí konstrukce. Příčinou oddělování prefabrikovaných a monolitických částí jsou obvykle tahová namáhání vyvolaná smršťováním betonu. Pro zamezení oddálení a posunutí obou částí konstrukčních prvků se do konstrukce zabudovávají ocelové spojovací prvky schopné přenášet tahová a smyková namáhání.

■ ■ Kovové stěnové systémy

Vysoká pevnost kovových materiálů vede k redukci tloušťky stěn na hodnoty, kde se výrazně uplatní vzpěr. Proto se pro kovové stěny používají profilované (vlnité) plechy vykazující při malé spotřebě kovu potřebný odpor vůči vnitřním silám. Nepatrná tloušťka kovových stěn (oproti stěnám zděným či betonovým) nezajišťuje potřebnou míru akustické izolace a požární odolnosti. Tenkostěnné plechy mohou vlivem koroze rychle ztrácet požadovanou únosnost. Z uvedených důvodů se kovové stěny používají jen velmi málo. Jejich použití se většinou omezuje na tvorbu buněk pro prostorovou prefabrikaci.

■ ■ Dřevěné stěnové systémy

Dřevo jako konstrukční materiál s vysokou pevností v tlaku i tahu, s malou objemovou hmotností, dobrou tepelněizolační schopností lze využít pro tvorbu nosných stěn. Nevýhodou je hořlavost dřeva, jeho, malá odolnost vůči biologickým škůdcům i vysoká cena. Tradičním způsobem využití dřeva pro stěnové konstrukce jsou konstrukce srubové, dříve používané především u lidových staveb. Nyní se dřevěné stěny staví zřídka. Uplatnění najdou dřevěné stěny především u replik historicky cenných objektů.

■ ■ Stěnové systémy materiálově a technologicky kombinované

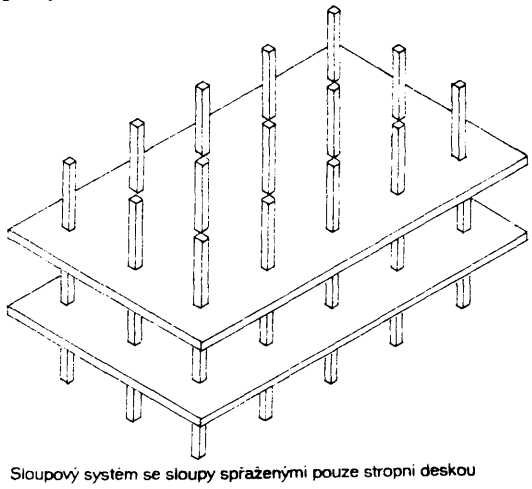
Požadavky na vlastnosti jednotlivých stěn konstrukčního systému se mnohdy liší. U vnitřních stěn je často požadována schopnost zvukově oddělit jednotlivé vnitřní prostory, u stěn obvodových je požadována schopnost bránit prostupu tepla. Tyto požadavky nelze při ekonomicky přijatelných tloušťkách jedním konstrukčním materiálem splnit. Konstrukční materiály s vyhovujícími akustickými vlastnostmi nevyhovují požadavkům tepelněizolačním a naopak.

Někdy je účelné kombinovat v jednom konstrukčním systému různé technologické postupy vytváření nosné konstrukce. Tvarově komplikované části konstrukce, jejichž zhotovení by bylo na stavbě příliš pracné, je možno v konstrukci nahradit prefabrikáty. Pokud jsou v konstrukčním systému použity prvky z materiálů s odlišnými vlastnostmi, je třeba ověřit důsledky jejich spolupůsobení v systému, zejména pak ověřit zda styky odlišných prvků nebudou vystaveny nadměrnému namáhání.

■ Sloupové systémy

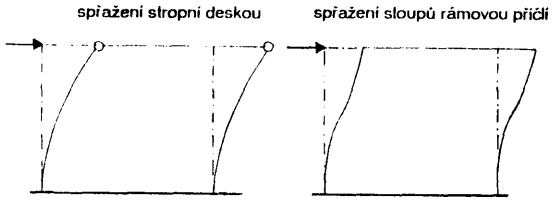
Základním rysem sloupových systémů je úplné oddělení nosné funkce svislých konstrukčních prvků od všech ostatních funkcí, které je třeba konstrukcemi budovy plnit. Proto jsou pro sloupové systémy používány výhradně konstrukční materiály s vysokou únosností jako je ocel, železový beton, dřevo a jen v omezené míře únosnější druhy zdiva.

■■ Specifické problémy konstrukčního návrhu sloupových systémů



Sloupový systém se sloupy spřaženými pouze stropní deskou

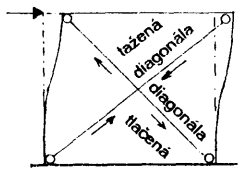
Pokud je konstrukce budovy namáhána pouze svislým zatížením, jehož výslednice působí v těžištích sloupů, mohou mít sloupy čtvercové, mnohoúhelníkové nebo kruhové průřezy. Většinou ale na konstrukci budovy působí i zatížení vyvolávající ohybové momenty, kterým musí sloupy vzdorovat. Pak je třeba tvarovat průřezy sloupů tak, aby sloupy přenesly ohybové momenty bez porušení konstrukčního materiálu a s přípustnými vodorovnými deformacemi. Proto jsou obvykle používány sloupy s obdélníkovým průřezem s delším rozměrem ve směru většího ohybového momentu.
Sloupy jsou schopny vzdorovat ohybovým momentům jen v omezené míře. Zdrojem ohybových momentů mohou být excentricky působící svislá zatížení a zatížení vodorovná, především zatížení větrem. Proto je možno použít konstrukci budovy tvořenou stropními deskami podpíranými sloupy jen pro nižší budovy.
Odpor sloupového systému vůči vodorovným zatížením, resp. vůči ohybovým momentům působícím na sloupy, lze podstatně zvýšit vhodným propojením sloupů pro zajištění jejich intenzivnějšího spolupůsobení.
Propojením sloupů vzniká spřažená rovinná či prostorová konstrukce. Nejjednodušším, tradičně používaným konstrukčním prvkem pro tento účel, je průvlak - vodorovný nosník propojující sloupy v úrovni stropní konstrukce, resp. bezprostředně pod stropní deskou, která je obvykle průvlakem podpírána. Pro často používanou konstrukční sestavu tvořenou sloupy a průvlaky se vžil název *rámová konstrukce*. Pro průvlaky tvořící vodorovné prvky rámu se vžil název *příčel* či *rámová příčel*. Po sloupy tvořící svislé prvky rámu pak název *stojky* či *rámové stojky*. Rámové příčle jsou namáhány jak reakcemi stropních konstrukcí vyvozujícími ohybové momenty, tak svislými posouvajícími silami vyvolávanými spolupůsobením spřažených svislých sloupů. Stojky rámových konstrukcí jsou namáhány svislými normálovými silami vyvozujícími tlaková napětí a ohybovými momenty od vodorovných i svislých zatížení.



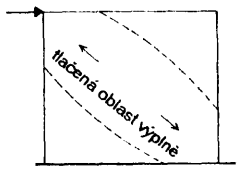
Podle orientace rámových sestav vůči osám budovy se rámy označují jako rámy:
příčné,
podélné,
obousměrné.

Rámové konstrukce sice zvyšují ohybovou tuhost nosného systému a tudíž i jeho odolnost vůči vodorovnému zatížení, ale při rostoucí výšce budovy vyžadují značné zvyšování rozměrů průřezů stojek i příčlí.

Efektivnější způsob spřažení sloupů nosné konstrukce je propojení uzlů rámové konstrukce diagonálními prvky bránícími změně vzdáleností uzlů rámových polí. Rámová konstrukce doplněná o diagonální prvky pak vytváří konzolovou příhradovou konstrukci uloženou do konstrukce základové. Při vodorovném zatížení rámu je jeden diagonální prvek tažen a druhý tlačen. Při působení vodorovného zatížení v opačném směru se způsob namáhání diagonálních prvků vymění. Přenesení tahového namáhání je, vzhledem k absenci vzpěru, ekonomičtější, neboť lze použít subtilnější průřezy prvků. Často se diagonální prvky navrhují z konstrukčních ocelí. Diagonální prvky se zpravidla umisťují tam, kde má být vnitřní prostor dělen příčkou, která pak diagonály zakryje. Obvykle se navrhují obě diagonály jen pro přenesení tahů a předpokládá se, že tlačený prvek při působení vodorovného zatížení vybočí a nepřispěje k odporu rámové konstrukce. Diagonální prvky omezují propojení vnitřních prostor přilehlých k vyztuženému poli rámu. V těchto místech nelze zřídit dveřní otvory.



propojení rámových styčníků diagonálními prvky



rám doplněný stěnovou výplní

Dalším, ještě efektivnějším spřažením sloupů je vložení tuhé málo deformovatelné stěny, propojující sloupy i stropy v daném podlaží. Toto tzv. *diafragma* velmi účinně brání změně tvaru rámového pole, resp. změně vzájemné polohy rámových uzlů. Vložením stěnových prvků do polí rámů tvořených jen stojkami a příčlemi je možno výrazně zvýšit odpor nosné konstrukce vůči vodorovnému zatížení.

■■ Zděné sloupové a pilířové systémy

Pro svislé nosné prvky - sloupy či pilíře lze použít zdivo z cihel nebo tvárnic event. i výjimečně zdivo kamenné. Menší únosnost zdiva v tlaku (oproti jiným konstrukčním materiálům) si vynucuje poměrně značné půdorysné rozměry sloupů. Průřezy zděných prvků mohou být čtvercové, obdélníkové, méně často mnohoúhelníkové. U obvodových pilířů či sloupů se někdy používají průřezy tvaru T, u pilířů rohových pak L.

Poměrně značné půdorysné rozměry sloupů a pilířů snižují nebezpečí jejich porušení ztrátou stability, resp. vzpěrem. Vzhledem k nepatrné únosnosti zdiva v tahu je odolnost sloupů a pilířů vůči ohybovým momentům nízká. Systém je tudíž málo odolný vůči excentricky působícím svislým zatížením a vůči vodorovnému zatížení větrem.

Do jisté míry lze rozměry svislých prvků omezit použitím vyztuženého zdiva. V nosných zděných prvcích je možné vytvořit dutiny pro uložení ocelové výztuže a betonu. Výztuž vzdoruje tahovým namáháním vyvozovaným ohybovými momenty, či případně zvyšuje únosnost prvku v tlaku. Tato opatření komplikují zhotovení svislých prvků.

Předností zděných svislých prvků je jejich malá technologická náročnost a možnost použití stejné technologie a konstrukčního materiálu pro nosné sloupy i pro příčky členící vnitřní prostor podlaží. U zděných sloupových systémů mohou být příčky spojené se sloupy využity pro účinné vyztužení nosné konstrukce vůči vodorovnému zatížení.

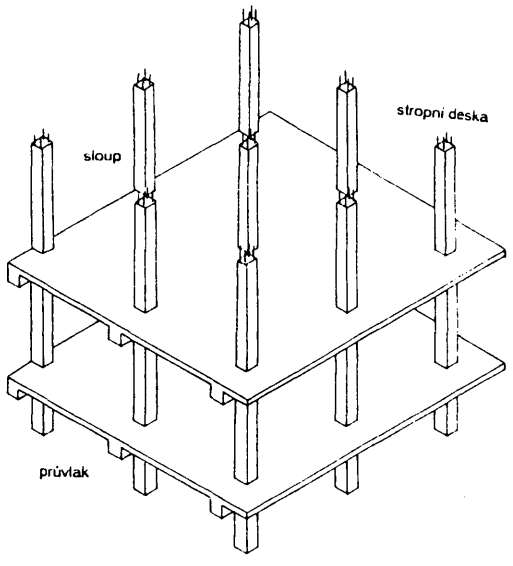
Nevýhodou zděných sloupů a pilířů jsou jejich značné půdorysné rozměry omezující využití a členění vnitřního prostoru budovy. Nedostatkem je i poměrně značná pracnost zděných konstrukcí při vlastním zdění i při následných povrchových úpravách pohledových ploch. Vyšší pracnost prodlužuje dobu výstavby a zvyšuje počet potřebných pracovníků.

■■ Betonové sloupové systémy

Beton, resp. železový beton je velmi vhodným materiálem pro svislé nosné prvky. Poměrně značná únosnost betonu v tlaku snižuje nároky na plochu průřezu sloupu nutnou pro přenesení svislých zatížení. Možnost vyztužení sloupů ocelovou výztuží podstatně zvyšuje odolnost sloupů vůči zatížením vyvozujícím ve svislé konstrukci ohybové momenty. Betonové sloupové systémy se proto uplatňují i u budov, pro které již nelze použít sloupové systémy zděné. Beton, resp. železobeton, lze použít pro konstrukci sloupů i stropů, což značně zjednodušuje organizaci stavění budovy.
Předností betonu jako konstrukčního materiálu je i jeho značná požární odolnost. Betonové a železobetonové prvky není třeba chránit proti účinkům požáru speciálními povrchovými úpravami a tudíž se nezvětšují rozměry prvků nosné konstrukce. Železobetonové sloupy nižších budov mohou proto mít poměrně malé půdorysné rozměry.
I přes schopnost železobetonových sloupů vzdorovat nejen tlakům, ale i tahům a tedy i ohybovým momentům, je odpor sloupového systému tvořeného jen sloupy podporujícími stropní desku u etážových budov velmi malý a často nedostatečný. Tuhá železobetonová stropní konstrukce sice zajistí rozdělení ohybových momentů na jednotlivé sloupy v poměru jejich ohybových tuhostí, ale malé rozměry sloupů vedou k malým hodnotám momentů setrvačnosti a průřezových modulů a tudíž i k vyšším hodnotám namáhání a vodorovných deformací sloupů. Pro zvýšení odporu nosného systému je třeba sloupy spřáhnout a to především ve směru působení vodorovného zatížení s větší intenzitou. Vzniká tak sloupový systém příčný, podélný a obousměrný. U betonových sloupových systémů je nejčastěji používáno spřažení pomocí jedno či obousměrných průvlaků, čímž vznikne rovinná nebo prostorová rámová konstrukce.

- systémy monolitické

Monolitický beton prostý i vyztužený umožňuje velmi dobře přizpůsobit nosný systém konkrétním potřebám funkčním i statickým. Je možno volit nejvhodnější tvary průřezů sloupů (kruhové, pravoúhlé, mnohoúhelníkové), nejvhodnější polohu sloupů v půdoryse budovy i místa pro umístění spřahujících prvků.
Sloupy mohou být umístěny v pravidelné i nepravidelné modulové síti. Pro snížení staveništní pracnosti se obvykle betonují monolitické konstrukce do systémových bednění. Tato prefabrikovaná bednění umožňují rychlé sestavení a rozebrání bednění i jeho vícenásobné použití.
Při aplikaci systémového bednění je třeba respektovat jeho skladebné možnosti. Rozměry konstrukčních prvků musí být násobkem jisté základní hodnoty např. půdorysné rozměry sloupů mohou narůstat po 50 mm, výšky sloupů po 100 mm apod. Použití konstrukčních prvků s nestandardními rozměry je u monolitických konstrukcí možné jen při betonáži do bednění individuálně zhotovených na míru, což komplikuje realizaci budovy.
Významnou předností monolitických sloupových systémů je celistvost najednou betonovaných částí konstrukce. Tato celistvost zajišťuje velmi efektivně redistribuci vnitřních sil v konstrukci. Vnitřní síly z více namáhaných částí konstrukce se přesouvají do částí namáhaných méně. U rámových konstrukcí je zajištěna vysoká tuhost styčníků tj. spojení vodorovných a svislých konstrukčních prvků v uzlových bodech rámu. Vyšší tuhost rámových

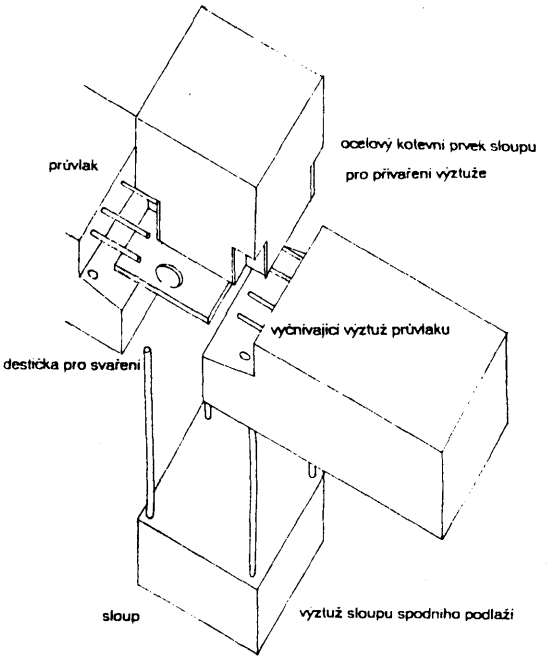


monolitická sloupová konstrukce

styčníků zvyšuje odpor rámu vůči vodorovnému i svislému zatížení.
Vysoká tuhost styků monolitických konstrukcí umožňuje vytvářet zejména u budov s malým počtem podlaží nosné konstrukce tvořené jen sloupy a stropní deskou s konstantní tloušťkou. Stropní monolitická deska plní v tomto případě funkci prvku rozdělujícího vodorovné zatížení, resp. ohybové momenty, na jednotlivé sloupy i prvku spřahujícího jednotlivé svislé prvky. Stropní deska pak obsahuje skryté fiktivní průvlaky (příčle) jejichž tloušťka odpovídá tloušťce stropu. Snaha snížit na minimum tloušťku stropní konstrukce zvyšuje nebezpečí porušení desky v místě jejího podepření svislými reakcemi vyvozujícími smyková namáhání. Nebezpečí tzv. *propíchnutí* stropní desky se čelí zhušťováním výztuže v oblasti styku sloupu a stropu nebo vkládáním ocelových, litinových apod. prvků. Vzniká tak konstrukce se *skrytými hlavicemi.* Výhodou stropů s konstantní tloušťkou a rovným podhledem je značná volnost při členění vnitřních prostorů podlaží, neboť není třeba respektovat průvlaky vystupující pod úroveň stropní desky. Výhodou je i snížení rozměrového sortimentu kompletačních prvků mj. příčkových dílců, vestavěného nábytku apod.
U stropů s větším užitným zatížením je někdy nutno použít mohutnější únosnější hlavice vystupující pod líc stropu. Pro tento druh stropu se používá název *hřibové stropy.* Použití systémů s hřibovými stropy je vhodné zejména pro výrobní a skladovací prostory a pro obchodní domy.

- systémy prefabrikované

Hlavními důvody prefabrikace sloupových systémů jsou podobně jako u ostatních systémů důvody technologické. Většinou je snahou projektanta vytvořit konstrukci s vlastnostmi podobnými jako mají konstrukce monolitické a zároveň využít možnosti daných výrobou prvků v lepších podmínkách než poskytuje staveniště.
Základním problémem, který je třeba u montovaných sloupových konstrukcí řešit, je způsob spojování prefabrikovaných dílců. Styky samozřejmě musí přenést namáhání vyvozovaná jednotlivými zatíženími. Nosná konstrukce není namáhána ve všech místech stejně. Této skutečnosti je možno využít a rozdělit konstrukci na jednotlivé díly tak, aby namáhání styků bylo minimální.. Optimální rozčlenění konstrukce je však komplikováno tím, že se vnitřní síly konstrukce při působení jednotlivých zatížení mění, mnohdy podstatně. Další komplikací je složitý tvar konstrukčních prvků vzniklých při dělení konstrukce respektující minimalizaci namáhání styků. Často se proto preferuje jednoduchost výroby, skladování a dopravy prefabrikovaných prvků a používají se pro vytvoření nosného sloupového systému prvky jednoduchého tvaru - tzv. *prvky tyčové.* Použití tyčových prvků klade vyšší nároky na konstrukci styků. Vlastnosti styků rozhodují o tom, jak se liší redistribuce vnitřních sil v montované a monolitické konstrukci. Styky, namáhané normálovými a posouvajícími silami i ohybovými momenty, musí být schopny přenášet tahová a tlaková namáhání.

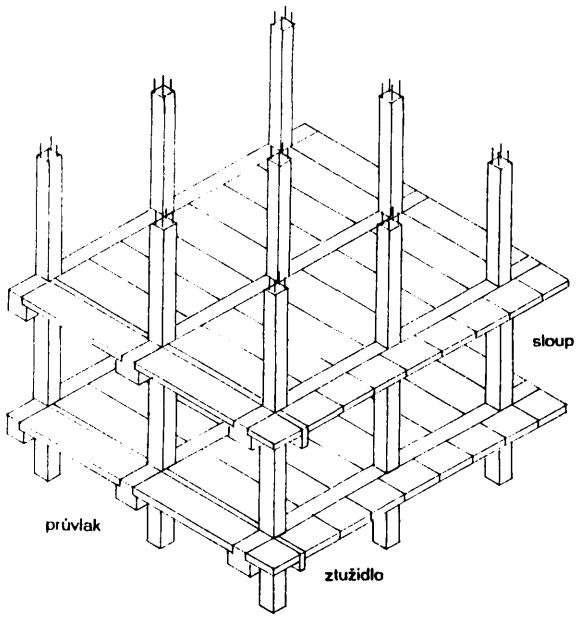


Příklad spoje sloupů a průvlaků montovaného systému

Tlaková namáhání přenáší beton dílců a beton *zálivkový* do prostoru styků ukládaný při montáži nosného systému. Tahová namáhání přenáší *stykovací výztuž* vkládaná do prostoru styku rovněž při montáži nebo výztuž vyčnívající z dílců.

Pro přenesení ohybových momentů stykem je třeba výztuží propojit průvlaky stykované nad sloupy i sloupy spodního a horního podlaží. Propojení výztuže se často provádí jejím přivařením ke kotevním ocelovým prvkům zabudovaným do prefabrikátů. Čím je styk méně namáhaný vnitřními silami, tím snadnější je jeho konstrukční řešení zajišťující potřebný odpor konstrukce. Umístění styků prefabrikované konstrukce do oblastí, kde ohybové momenty nabývají jen malých hodnot, umožňuje omezit počet spojovaných výztužných prvků a zároveň i snížit požadavky na únosnost betonu v tlaku. Konstrukcí styků lze ovlivnit rozložení vnitřních sil konstrukce např. navržením styků působících jako klouby do míst, kde je žádoucí odstranit ohybové momenty.

Pro omezení počtu montovaných prvků se někdy používají, pokud to limit hmotnosti prvku dovolí, prvky větších rozměrů, např. sloupy přes více podlaží. Pak je obtížnější zajistit spojitost prvků vodorovných a proto se mnohdy tyto prvky neřeší jako průběžné, ale jako nosníky ukládané na konzoly sloupů. Statické schéma konstrukce se změní. Průvlaky nejsou nosníky spojitými či tuze spojenými příčlemi, ale jen soustavou prostých nosníků. Ve stycích nejsou přenášeny ohybové momenty. Zjednodušení montáže v tomto případě zvyšuje mezipodporové momenty a průhyby nosníků. Zároveň se omezují ohybové momenty sloupů.



Příklad montovaného železobetonového sloupového systému

Sortiment montovaných sloupových systémů je velmi široký. Jednotlivé systémy se liší roztečí sloupů (rozponem stropů), únosností vůči vodorovnému zatížení, tvarem prvků a konstrukčním řešením styků.

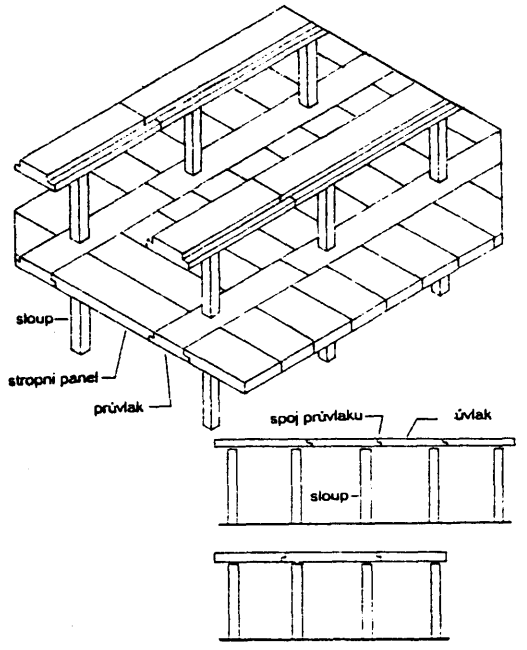
Pro tzv. *lehké skelety*, tj. sloupové systémy určené pro provozy s menšími nároky na únosnost a rozpon stropních konstrukcí, se používají systémy, které jsou obdobou monolitických sloupových systémů s konstantní tloušťkou stropní konstrukce. Systémy využívají prefabrikované průvlaky či hlavice o výšce rovné tloušťce stropních dílců. U těchto systémů jsou styky průvlaků vždy situovány do míst malých ohybových momentů, tj. cca do čtvrtiny rozpětí průvlaku.

Sloupové systémy s vyššími nároky na únosnost a rozteč sloupů, tzv. *střední skelety*, jsou tvořeny soustavou sloupů a viditelných průvlaků vystupujících, vzhledem ke své výšce, z podhledu stropní konstrukce. Vzniká tak obdoba klasických rámů používaných u monolitických konstrukcí. Aby se alespoň částečně omezila výška stropu v místě průvlaku, používají se často průvlaky tvaru obráceného písmene T. Tyto průvlaky umožňují používat různé druhy stropních panelů, což není u lehkých skeletů možné. Nosný systém má ve směru kladení průvlaků značně vyšší ohybovou tuhost než ve směru kolmém. Proto jsou tyto systémy doplňovány tzv. *ztužidly* spřahujícími některé sloupy ve směru kolmém na směr průvlaků. Obvykle se u budov s příčnými rámy spřahují sloupy obvodové. Vzniká tak podélný rám o větším počtu polí. U budov s podélnými rámy se ztužidla zpravidla umisťují do štítů.

Pro budovy se zvláštními požadavky na únosnost stropních konstrukcí, na možnosti zřizování větších otvorů ve stropních konstrukcích apod. byla vyvinuta řada speciálních prefabrikovaných sloupových konstrukcí vhodných pro průmyslové objekty, obchodní domy, sportovní zařízení aj. U těchto konstrukcí jsou zpravidla používány průvlaky větší výšky umožňující použití velkorozponových stropních dílců z předpjatého betonu. Rovněž půdorysné rozměry sloupů jsou obvykle značné vzhledem k velikosti přenášených normálových sil.

Osové vzdálenosti sloupů ve směru průvlaků dosahují u lehkých prefabrikovaných skeletů cca 7,2 m, u skeletů středních cca 9,0 m, u skeletů označovaných jako těžké cca 12 m. Ve směru kolmém na

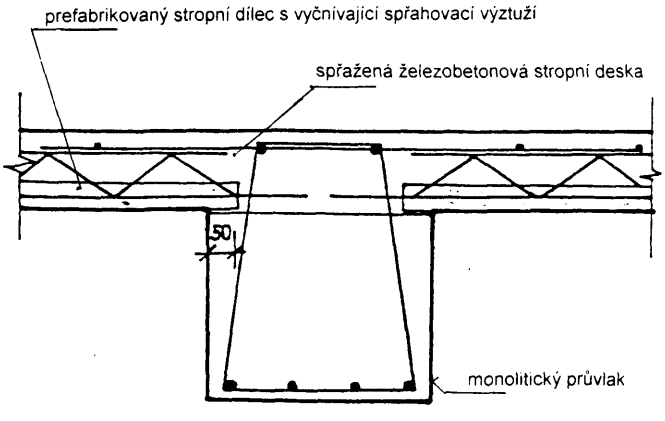
průvlaky je vzdálenost sloupů závislá na rozponu stropních dílců. Při použití předpjatých panelů může u těžkých skeletů dosáhnout až 12 m.
Dosud je velmi obtížně zvládnutelný problém vytvoření prefabrikovaného sloupového systému s obousměrně působící stropní konstrukcí. Obtížně se totiž řeší styk sloupu s příčným a podélným průvlakem. Ze stejného důvodu činí značné potíže i vytvoření prefabrikovaného skeletu se stropní konstrukcí vykonzolovanou v příčném i podélném směru.
Aby bylo možno použít montované systémy se standardními průřezy sloupů a průvlaků i pro budovy s větším počtem podlaží, jsou pro jednotlivé systémy často vyráběny i výztužné stěnové prvky umožňující zvýšit odpor konstrukce vůči vodorovnému zatížení.



Montovaný sloupový systém s deskovými (skrytými) průvlaky

- prefamonolitické systémy

Oba základní technologické postupy zhotovení nosného systému budovy mají své přednosti a nedostatky. Snaha přizpůsobit konstrukci co nejlépe daným požadavkům a zároveň zrychlit a zjednodušit její provedení vede často ke kombinaci monolitických a prefabrikovaných prvků v konstrukci budovy.
U systémů se skrytými hlavicemi lze např. použít prefabrikované hlavice ze značně vyztuženého betonu vysoké kvality v kombinaci s monolitickou stropní deskou.
Kombinovat lze i prefabrikované stropní panely, vytvářející ztracené bednění s monolitickou nadbetonovanou vrstvou, zajišťující spojitost stropní desky v rozsahu celého půdorysu.
V některých případech je účelné kombinovat monolitické a prefabrikované části stropních konstrukcí a umožnit tak vytvoření větších otvorů ve stropech např. pro technologická zařízení budovy. Kombinovat lze i prefabrikované sloupy s monolitickými stropy nebo prefabrikované stropní konstrukce s monolitickými sloupy. Důvodem je snaha přizpůsobit dimenze monolitických prvků požadavkům, které se obtížně plní konstrukcemi prefabrikovanými.
Pro správnou funkci prefamonolitických konstrukcí je velmi důležité spojení monolitického a prefabrikovaného betonu. Stykové plochy prefabrikátů musí být upraveny tak (vyčnívající výztuž, tvarování apod.), aby bylo zajištěno přenesení sil působících ve stycích.

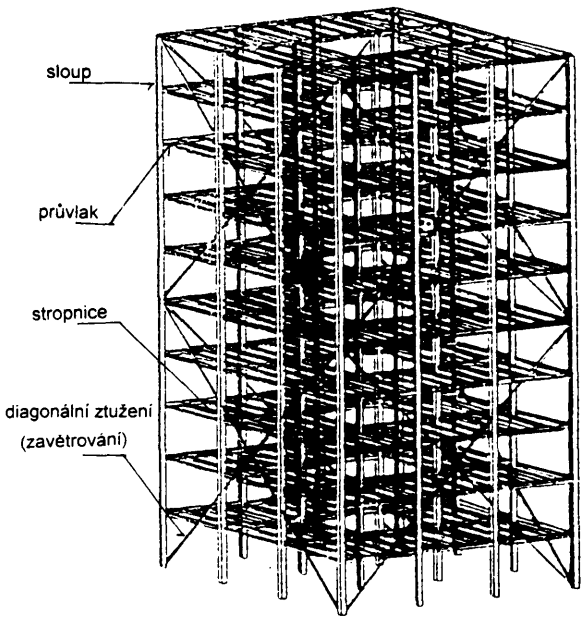


Příklad řešení styku stropní prefamonolitické desky s monolitickým průvlakem

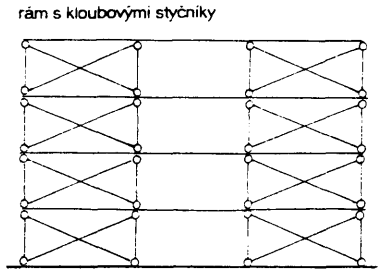
■■ Kovové sloupové systémy

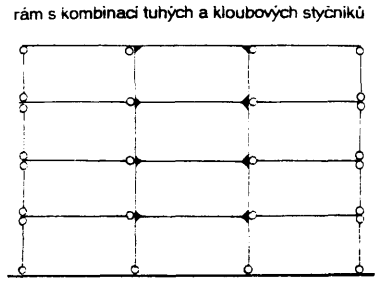
Vzhledem k vysoké únosnosti v tlaku i tahu a tudíž i v ohybu jsou kovy, především ocel, velmi vhodným materiálem pro vodorovné i svislé konstrukce sloupových systémů. Použití konstrukčních ocelí pro sloupy výrazně zmenšuje jejich půdorysné rozměry a zvyšuje tudíž využitelnou plochu podlaží. Pro obvyklé vzdálenosti sloupů a rozpony stropů lze využít i u vícepodlažních budov standardní válcované profily tvaru písmene I nebo U, což snižuje podstatně staveništní pracnost vůči zděným a monolitickým betonovým konstrukcím. Pokud vyšší hodnoty namáhání nedovolí použít pro sloupy standardní válcované profily, je možné vytvořit sloup o potřebných parametrech spojením několika válcovaných profilů. Spojení je zpravidla zajištěno svařením, případně v zámečnické dílně či mostárně. Spojení více válcovaných profilů lze využít i u vodorovných prvků nosného systému. Použití oceli zrychluje stavění vyloučením technologických přestávek, charakteristických pro monolitické betonové konstrukce. Vysoká únosnost konstrukčních kovů umožňuje sice přenést centrická svislá zatížení při malých průřezových plochách sloupů, ale malé hodnoty momentů setrvačnosti sloupů značně omezují odpor nosného systému vůči vodorovnému zatížení a excentricky působícím zatížením svislým. Proto je třeba u vícepodlažních budov sloupy spřahovat pro zvýšení ohybové tuhosti nosného systému.

Obvyklým konstrukčním řešením kovových systémů je propojení sloupů průvlaky (zpravidla z válcovaných profilů). Vzniká tak rámová konstrukce podobná konstrukci z monolitického betonu. Problémem je u kovových rámů dosažení potřebné tuhosti rámových styčníků. Málo deformovatelný styk sice lze vytvořit pomocí vhodně rozmístěných a nadimenzovaných svárů, ale zajištění potřebné kvality svárů je v podmínkách staveniště komplikované a pracné. Proto se často používají montážně jednodušší spoje šroubové, či dříve časté spoje nýtové. Tuhost šroubových spojů je oproti svařovaným nižší. Rámová konstrukce pak často nemá potřebnou tuhost a odpor vůči vodorovnému zatížení. V tomto případě se pak obvykle doplňují některá rámová pole diagonálními prvky, vytvářejícími příhradová konzolová ztužidla, přebírající podstatnou část ohybových momentů



Ocelová konstrukce se ztužujícími prvky ve fasádě

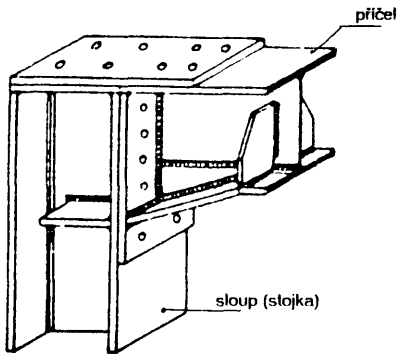




Příklady řešení kovového rámu

působících na nosný systém a omezující i vodorovné deformace systému. Prvky diagonálních ztužidel jsou namáhány převážně osovými silami tahovými a tlakovými.

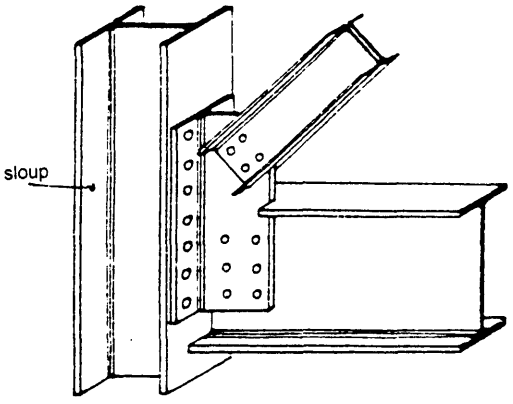
Jistou nevýhodou kovových sloupových systémů je jejich poměrně malá ohybová tuhost, resp. nezanedbatelné vodorovné deformace při zatížení větrem. Tato skutečnost musí být respektována při návrhu kompletačních prvků. Tuhost příček, zejména zděných, může být větší než tuhost příhradových ztužidel. Pak se příčky stávají výztužnými prvky a jsou v nich vzbuzeny mnohdy značné vnitřní síly, které mohou způsobit jejich porušení.



Příklad styčníku ocelového rámu

Značnou nevýhodou kovových konstrukcí je jejich malá požární odolnost. Prvky nosné konstrukce je nutno chránit nehořlavými povrchovými úpravami. Používány jsou zejména obklady a omítky či případně nátěry, které se při vyšší teplotě vypěňují. Tyto povrchové vrstvy prodlužují dobu, během níž se kovový nosný prvek zahřeje na kritickou teplotu, při které prudce klesá jeho únosnost.

Další nevýhodou ocelových konstrukcí je destrukce ocelových prvků korozí. Povrch ocelových prvků musí být po celou dobu životnosti konstrukce chráněn. V nepřístupných místech konstrukce je vždy nezbytné zvětšit tloušťku ocelových prvků tak, aby i při postupující korozi byla po dobu životnosti budovy zachována potřebná míra odporu nosných prvků.



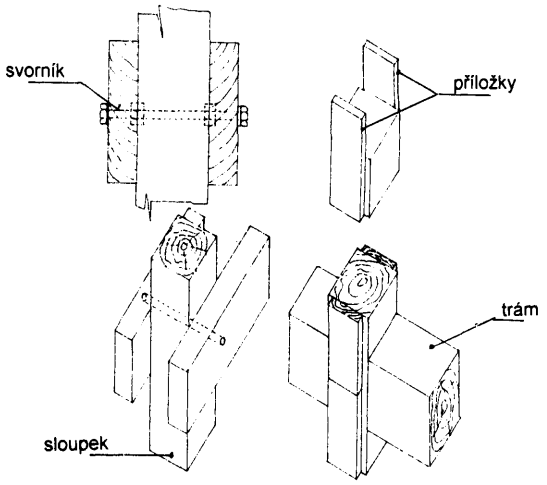
Styčník ocelového rámu s diagonálním výztužným prvkem

■■ Dřevěné sloupové systémy

Dřevo jako konstrukční materiál s pevností v tlaku podobnou pevnosti betonu a prakticky stejnou pevností v tahu je vhodné pro sloupové nosné systémy. Hořlavost dřeva však znemožňuje jeho použití pro nosné konstrukce vyšších budov. Proto jsou dřevěné sloupové systémy u nás používány pouze pro jedno či dvoupodlažní budovy. Výjimkou jsou některé historické budovy.

U dřevěných sloupových systémů se často používá dřevo i pro kompletační konstrukce zejména pro obvodové pláště. Tato skutečnost ovlivňuje rozmístění sloupů po obvodu budovy, resp. jejich vzdálenosti. Sloupy rozmístěné v malých vzdálenostech vytvářejí opěrnou konstrukci obvodového pláště. Malé vzdálenosti sloupů, spolu s malou intenzitou vodorovného zatížení nízkých budov, snižují nároky na jejich průřezové plochy. Pro sloupy pak lze použít poměrně subtilní dřevěné trámky nebo fošny.

Vzhledem k obtížnému zajištění potřebné tuhosti spojů vodorovných a svislých prvků je třeba doplňovat dřevěné sloupkové konstrukce zavětrovacími, resp. ztužujícími prvky. Obvykle plní tuto funkci prvky diagonální, propojující sloupy zejména v oblasti nároží budovy.



Příklady spojů vodorovných a svislých prvků dřevěného sloupového systému

Předností dřevěných sloupových systémů je možnost vytvoření svislé i vodorovné konstrukce z jednoho konstrukčního materiálu. Výhodná je i snadná opracovatelnost dřeva bez náročných technologických zařízení. Rovněž obnovitelnost konstrukčního materiálu patří k významným přednostem. Nevýhodou je kromě hořlavosti i nebezpečí destrukce dřeva biologickou korozí, resp. houbami, plísněmi, hnilobou, dřevokazným hmyzem. Dřevěné prvky je třeba po celou dobu životnosti chránit vhodnými impregnačními prostředky . Účinnost ochranných nátěrů je časově omezená a proto je třeba ji v jistých časových intervalech obnovovat. K ochranným opatřením patří i zajištění dostatečného větrání a ochrana proti vlhkosti. Ekonomická životnost budov s dřevěnou nosnou konstrukcí je zpravidla nižší než životnost konstrukcí z jiných materiálů.

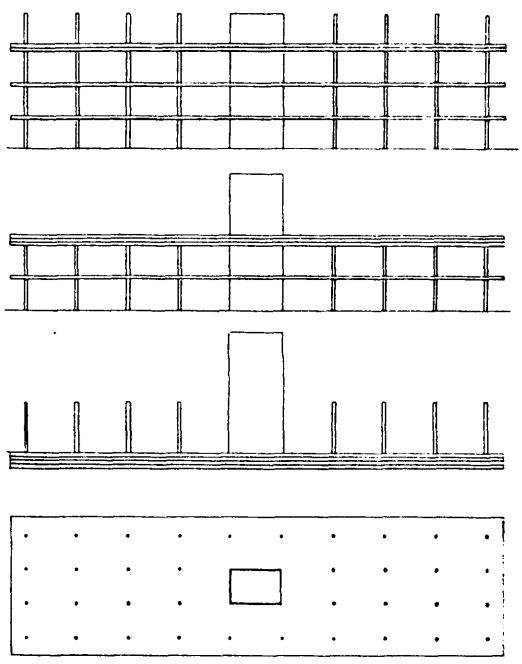
■■ Systémy materiálově a technologicky kombinované

Specifických vlastností jednotlivých konstrukčních materiálů lze využít pro plnění speciálních požadavků na jednotlivé části budovy. Je-li třeba např. omezit půdorysnou plochu sloupů v některé části podlaží, lze nahradit v těchto místech železobetonové sloupy sloupy ocelovými. Podobně lze kombinovat obvodové zděné pilíře s vnitřními (více zatíženými) betonovými či železobetonovými sloupy.

Jsou-li v některých místech konstrukce prvky složitějšího tvaru či s vyššími požadavky na parametry materiálu např. únosnost, lze kombinovat prvky tvořené na stavbě (zděné nebo betonové) s prvky prefabrikovanými.

Existuje i řada variant konstrukčních řešení vyvolaných speciálními technologickými postupy. Příkladem mohou být tzv. *zvedané stropy* resp. *lift slabs*. U zvedaných stropů se stropní konstrukce betonují v úrovni přízemí jedna na druhé a to se separační mezivrstvou.

Po dosažení požadované pevnosti betonu se desky postupně zvedají synchronizovanými zvedáky umístěnými na předem vztyčených ocelových či prefabrikovaných železobetonových sloupech. U budov s větším počtem podlaží je třeba sloupy nastavovat. Pak jsou desky provizorně ukládány na sloupy a po nastavení sloupů zvedány dále až do dosažení definitivní polohy. V definitivní poloze se deska podepře definitivním stykem. Během celého zvedání stropů musí být zajištěna stabilita konstrukce buď pomocí přestavovaných kotevních lan, nebo v předstihu postavenou prostorově tuhou stěnovou konstrukcí např. betonovou komunikační šachtou. Předností zvedaných stropů je mj. i snadné vytvoření staveb s nepravidelným půdorysem a rozdílnou konstrukční výškou podlaží.



Postup realizace budovy metodou zvedaných stropů (lift slabs)

Kromě zvedaných stropů jsou používány i jiné speciální stavební postupy např. metoda spouštěných stropů *lift form*, kdy se nejprve vybetonuje monolitická stropní konstrukce nejvyššího podlaží podpíraná sloupy o délce odpovídající celé výšce budovy a pak se spouští bednění o jedno podlaží pro betonáž další stropní konstrukce.

Další speciální metodou je metoda zvedaných podlaží, kdy se při zvedání stropních desek kompletizují jednotlivá podlaží a posouvají k vrcholu budovy. Nejprve se zvedne o jedno podlaží nejvyšší deska a po osazení obvodového pláště, příček apod. se posune o jedno podlaží, čímž se uvolní prostor pro kompletaci dalšího podlaží. Proces se opakuje, až nakonec je kompletováno přízemí.

■ Kombinované systémy

Značnou ohybovou tuhost stěn ve směru jejich střednic lze využít pro efektivní ztužení sloupových konstrukcí vůči vodorovným zatížením. Někdy je účelné využít schopnosti nosných stěn akusticky nebo požárně oddělit některé prostory v podlaží. Vzniká tak hybridní nosná konstrukce tvořená sloupy i stěnami. Podle konkrétních požadavků, kladených na budovy, se poměr stěn a sloupů u jednotlivých budov značně liší. U části vícepodlažních budov je způsob využíváni jednotlivých podlaží značně liší. Požaduje se např. aby parter budovy umožnil vytvořit velké prostory např. pro obchody, restaurace apod. a ve vyšších podlažích byly umístěny byty s vysokými požadavky na akustickou izolaci. V těchto případech je vhodné použít ve spodních podlažích systém sloupový a ve vyšších systém stěnový.

Doplnění sloupového systému příčně i podélně orientovanými stěnami schopnými přenést vodorovná zatížení umožňuje zmenšit průřezovou plochu sloupů na minimum nutné jen k přenesení svislých zatížení. Stěna vykazuje značně vyšší ohybovou tuhost a tudíž i menší vodorovné deformace než pouhá soustava sloupů či rámů.

Aby bylo zabráněno vnesení ohybových momentů od svislého zatížení do subtilních sloupů, je účelné konstruovat styky stropů a sloupů tak, aby jejich působení odpovídalo stykům kloubovým nepřenášejícím ohybové momenty. Ze sloupů se tak stávají kyvné stojky přenášející jen osové síly. Konstrukční řešení a tudíž i způsob provádění na stavbě je jednodušší než u styků tuhých zajišťujících větší míru vetknutí. Výztuž sloupů pak nemusí probíhat z podlaží nižšího do podlaží vyššího.

Kombinace stěn a stropů může komplikovat konstrukci uložení stropních desek s konstantní tloušťkou. Stropní deska je totiž částečně podporovaná bodově (na sloupech) a částečně přímkově (na stěnách). Namáhání stropní konstrukce bodově a přímkově podepřené se velmi podstatně liší. Nepříznivější je uložení bodové. Zde hrozí tzv. propíchnutí stropní desky sloupem, tj. její porušení smykem. Problém odpadá u stropů ukládaných na průvlaky.

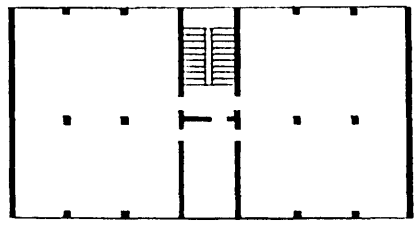
Další komplikací jsou odlišné požadavky na základové konstrukce u stěn a u sloupů. Stěny jsou zakládány obvykle na základových pásech, sloupy na základových patkách. Rozdílné způsoby založení zvyšují riziko nestejných svislých deformací základových konstrukcí a tím i riziko poškození kompletačních prvků budovy a růstu namáhání prvků nosného systému budovy.

■ ■ Kombinace stěn a sloupů v horizontální rovině

Nosný systém tvořený sloupy a stěnami je třeba uspořádat tak, aby bylo možno využít stěny i pro plnění jiných funkcí než nosných. Zároveň by stěny měly jen minimálně omezovat variabilitu členění vnitřního prostoru budovy. Proto je účelné rozmístit stěny do míst, kde budou po celou existenci budovy příčky, nebo kde budou stěny málo omezovat úpravy dispozice. Zřejmě je účelné umístit u domů s obdélníkovým půdorysem příčné stěny do štítů a příčné i podélné stěny na rozhraní bytů, kanceláří, učeben apod., prostor komunikačních tj. chodeb, schodišť, výtahů aj. Stěny by však neměly být tam, kde je třeba umístit větší dveřní nebo okenní otvory.

Pro zvýšení ohybové tuhosti nosného systému v obou směrech je vhodné, pokud to dispoziční řešení dovolí, spojovat příčné a podélné stěny do útvarů s vyšším momentem setrvačnosti. Při stejné spotřebě konstrukčního materiálu jako u stěn nespojených vznikne tak značně tužší konstrukce, jejíž odpor vůči ohybovým momentům je řádově vyšší (výrazně se zvýší hodnota momentů setrvačnosti spojených svislých prvků). Kromě odolnosti vůči vodorovným zatížením klesnou výrazně i vodorovné deformace nosného systému ohrožující prvky kompletační tj. příčky, primárně nenosné obvodové pláště, výplně otvorů a instalace.

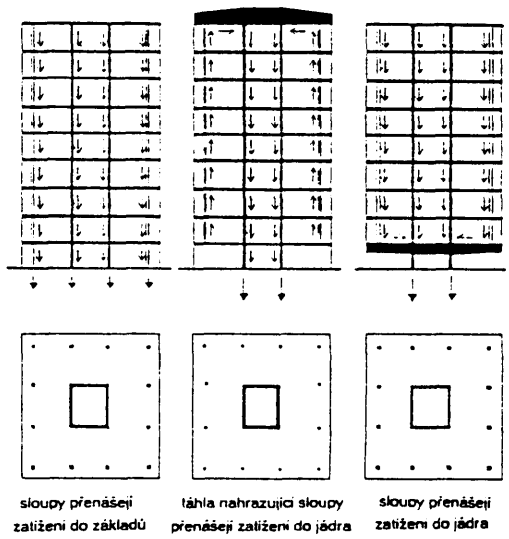
Pokud nejsou stěny kombinovaných systémů rozmístěny v půdoryse budovy symetricky podle podélné a příčné osy, jsou namáhány při vodorovném zatížení kromě ohybových momentů ještě momenty kroutícími. Velikost kroutících momentů ovlivňuje především míra asymetrie nosné konstrukce. Je proto třeba rozmístit stěnové prvky tak, aby odchylky od symetrie byly minimální a minimální byla tudíž i nežádoucí namáhání vyvolaná kroutícími momenty. Podobně je třeba symetricky rozmístit i ztužující sestavy např. příhradová ztužidla.



Kombinovaný systém

■■ Jádrové systémy

Snaha využít stěny kombinovaných systémů i pro oddělení hlučnějších prostor komunikačních nevyžadujících kontakt s vnějším prostředím (schodiště, výtahy) od prostor vyhražených pro vlastní účel budovy (kanceláře, byty) vedla k vytvoření uzavřeného komunikačního stěnového jádra situovaného zpravidla do středních částí budovy. Při použití betonu nebo železobetonu pro stěny jádra je komunikační prostor požárně oddělen, což je další přednost tohoto konstrukčního uspořádání nosného systému.



Jádrový systém

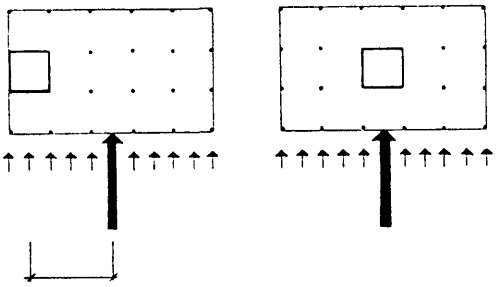
Plocha potřebná pro umístění schodišť, výtahů a dalších prostor nevyžadujících denní osvětlení umožňuje často vytvořit jádro s rozměry zajišťujícími dostatečný odpor jádra vůči vodorovnému zatížení. Vzhledem k tomu, že ve své rovině velmi tuhá stropní konstrukce propojuje všechny svislé prvky, tedy stěnové jádro i sloupy, podílejí se svislé prvky na přenášení ohybových momentů, resp. vodorovného zatížení úměrně své ohybové tuhosti.

Řádově menší ohybové tuhosti sloupů vůči stěnovému jádru jsou příčinou toho, že prakticky veškeré vodorovné zatížení je přenášeno jádrem. Sloupy je proto možno využít pouze pro podepření stropní konstrukce a dimenzovat je na přenesení reakcí stropních konstrukcí. Sloupy lze spojovat s deskou styky nepřenášejícími ohybové momenty. To umožní výrazně zjednodušit konstrukční řešení spojů i jejich provádění na stavbě. Zároveň se výrazně sníží i staticky nezbytná velikost průřezové plochy sloupů. Zvětší se proto užitná plocha ve všech podlažích.

U vyšších budov může být ohybová tuhost jádra nedostatečná a při kombinaci vodorovného a svislého zatížení je spodní část jádra namáhána tahem. Tato skutečnost značně ztěžuje řešení základových konstrukcí a je proto považována za zcela nevhodnou. Řešením by bylo zvětšení průřezu jádra, což je ale těžko uskutečnitelné, neboť se tím zmenšuje využitelná plocha podlaží. V těchto případech je možno čelit vzniku tahových namáhání převedením větší části svislého zatížení budovy do jádra. Lze zvětšit např.

rozpony stropních konstrukcí pro zvětšení reakcí stropů uložených na jádru. Jinou, značně komplikovanější, možností je podepření stropů sloupy uloženými na mohutné konzole vysunuté z jádra nebo zavěšení stropů na táhla upevněná v mohutné konzole jádrem podpírané. Uvedená opatření mohou vyšším tlakovým normálovým napětím od svislého zatížení eliminovat tahová namáhání jádra od ohybového momentu. Opatření však nesníží vodorovné deformace budovy při zatížení větrem. Použití jádrového systému je tedy výškově omezeno.

I u jádrového systému je třeba dodržet symetrii uspořádání výztužných prvků. Jádro by mělo být souměrné a umístěné v oblasti těžiště půdorysu budovy. Symetrie je obzvlášť žádoucí u budov se dvěma či více výztužnými jádry. Není vhodné, zejména u vyšších budov, umístit jádro k obvodu budovy.



Vliv umístění jádra v půdorysu budovy na velikost kroutících momentů od vodorovného zatížení

Předností jádrového systému s vnitřním jádrem je vyloučení působení kolísání teploty a vlhkosti vnějšího prostředí na rozhodující část nosného systému. Systém je vhodný i pro oblasti s očekávanými vynucenými deformacemi základového podloží tj. např. do poddolovaného území.

■■ Vertikálně kombinované systémy

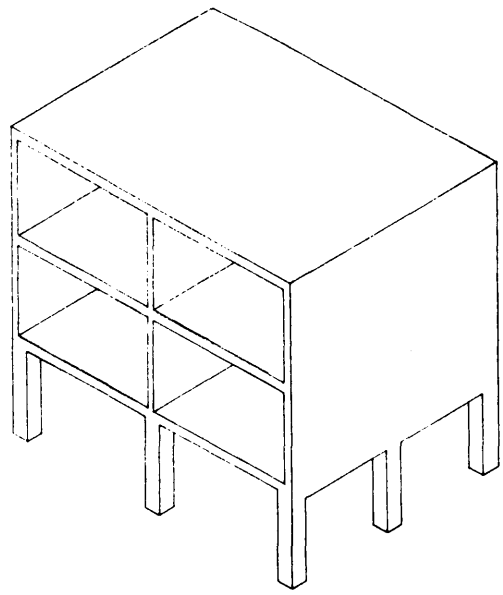
U řady budov, zejména v centrech měst je požadován odlišný způsob využívání jednotlivých podlaží. Ve spodních podlažích, zejména v přízemí, se obvykle požaduje umístění obchodů, kanceláří, různých služeb apod. Do vyšších podlaží se většinou situují byty. Pro některé druhy budov je odlišnost provozu v jednotlivých podlažích nezbytností, např. u nemocnic a hotelů. V jedné budově je tedy někdy nutno integrovat funkce s rozdílnými nároky na velikost místností i s rozdílnými nároky na variabilitu členění vnitřního prostoru během existence budovy.

Požadavkům odlišných provozů v jednotlivých částech budovy nejlépe vyhovuje sloupový systém, který poskytuje největší variabilitu dispozičního řešení vnitřních prostor. Sloupový systém však není příliš vhodný pro provozy s malými vnitřními prostory, jejichž uspořádání se během užívání budovy buď nemění vůbec nebo jen velmi málo. Typickým představitelem takových provozů jsou bytové domy nebo jiné budovy pro ubytování. V těchto budovách je při použití sloupových systémů nutno instalovat značný počet příček, vyhovujících požadavkům na akustickou izolaci i požadavkům na požární oddělení požárních úseků např. bytů. Pro takové provozy je vhodnější použití nosného systému stěnového. Efektivním řešením problému je použití stěn v podlažích s požadavky na členění do menších prostor a sloupů v podlažích s požadavky na vytváření prostor větších nebo s požadavky na změnu dispozičního řešení během užívání budovy. Někdy je důvodem k umístění sloupů do nejnižšího podlaží i požadavek na architektonické uvolnění parteru domu.

Dům na sloupové podnoži nebrání průhledům do okolí a volné komunikaci chodců. Zároveň vytváří jakousi variantu dříve užívaných podloubí. Důvodem pro použití sloupů v parteru domu může být i málo únosné základové podloží, které si vynucuje hlubinné založení. Snaha omezit rozsah finančně značně náročných hlubinných základů (obvykle pilotových) pak vede k založení budovy na omezeném počtu bodů.

Pro budovy s vertikálně kombinovaným nosným systémem se používá označení *integrované domy*. Nejčastěji jsou tyto domy navrhovány se sloupovým či spíše kombinovaným systémem ve spodních podlažích a se stěnovým systémem v podlažích vyšších určených k obytným účelům.

Konstrukčním problémem vertikálně kombinovaných systémů je přenesení sil ze stěn do sloupů. V oblastech styků sloupů a stěn působí značné smykové síly, kterým musí konstrukce vzdorovat. Propojení sloupů velmi tuhou stěnovou konstrukcí ve vyšších podlažích enormně zvyšuje citlivost takto spřažených sestav vůči nestejnoměrnému ohřátí či ochlazení i vůči nestejnoměrné deformaci základového podloží. Je proto nutno u těchto konstrukcí dbát na přiměřené řešení základových konstrukcí i tepelných izolací budovy.



Vertikálně kombinovaný systém
(stěnový systém na sloupové podnoži)

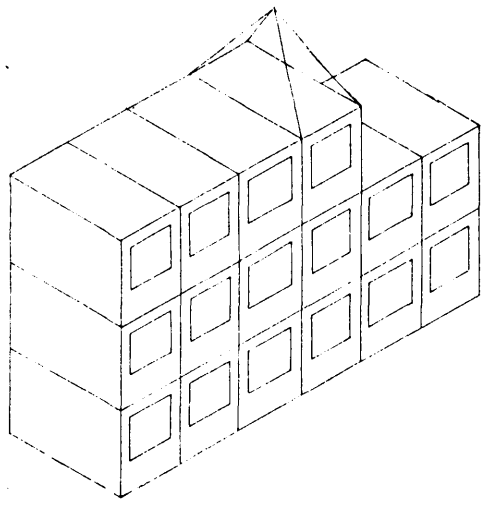
■ Prostorová prefabrikace

Snaha maximálně snížit staveništní pracnost a urychlit stavění vedla k vytváření ucelených funkčních částí stavby např. celých bytů nebo jejich částí, ubytovacích buněk, kanceláří apod. mimo stavbu ve speciálních výrobnách. Na stavbě se pak osazují téměř nebo zcela kompletizované *prostorové jednotky* či *prostorové buňky*. Doba provedení stavby se redukuje na minimum potřebné pro provedení přípravných prací a pro montáž omezeného počtu prvků. Tento technologický postup již zřejmě nemůže být při snižování staveništní pracnosti překonán.

Velikost buněk (snaha je, aby byly co největší) je omezována dopravními možnostmi a únosností použitelných zvedacích prostředků. Naše dopravní předpisy umožňují přepravovat bez omezení po silnici náklady se šířkou nepřekračující 2,5 m.

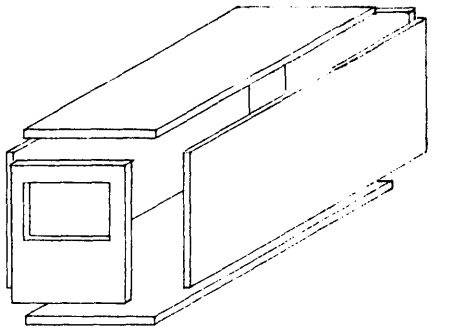
Konstrukce prostorových buněk může být stěnová či sloupová (kostrová), případně může být pro konstrukci buňky použita stěna i sloupy. Nosná konstrukce vytvořená z jednotlivých prostorových prvků je pak sloupová, stěnová či kombinovaná. Kostrové prostorové buňky se používají především tam, kde velikost jedné buňky není dostatečná pro vytvoření funkční objemové jednotky, např.třídy ve školní budově.

Pro nosnou konstrukci prostorové buňky lze použít ocel, dřevo i železový beton. S ohledem na žádoucí omezení hmotnosti buňky je vhodnější používat plast, kov, dřevo. Použitím těchto materiálů je možno výrobu

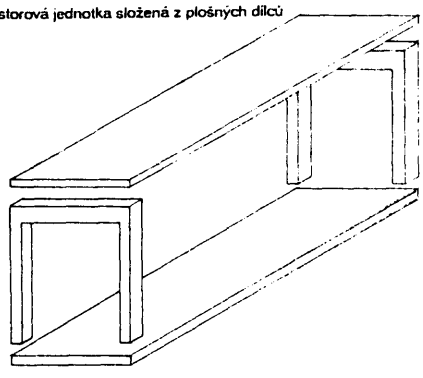


Montáž domů při prostorové prefabrikaci

prostorových buněk koncentrovat do dobře vybavených výroben a buňky dopravovat i na značné vzdálenosti. Tento přístup ke stavění přibližuje realizaci pozemních staveb průmyslové výrobě. Způsob výroby buněk může být podobný výrobě automobilů apod.



prostorová jednotka složená z plošných dílců



prostorová jednotka složena z rámů a desek

Při použití betonu jako konstrukčního materiálu buněk je třeba vyrábět buňky poměrně blízko staveniště. Případně lze pro výrobu prostorových jednotek předem vyrobit lehčí rovinné prvky a z těch pak vytvářet a kompletovat, případně i na staveništi, prostorové jednotky.

Účelné může být osazování prefabrikovaných buněk do konstrukcí zhotovených jinými postupy. Smysl má především použití prostorových prvků u funkčních jednotek s vysokou staveništní pracností a s vysokými nároky na technologické vybavení. Proto je účelné prefabrikovat např. sanitární jádra, schodiště v jednotlivých podlažích, výtahové šachty, strojovny výtahů,vstupy do objektů, menší trafostanice apod.

Výhodou prostorové prefabrikace je i možnost redukce plochy zařízení staveniště na minimum. Jednou z prvních aplikací prostorové prefabrikace byla stavba hotelu na pozemku ohraničeném řekou a silnicí. Hotelové pokoje byly vyráběny mimo staveniště a postupně dováženy a osazovány.

Prostorová prefabrikace se může uplatnit i v kombinaci s nosnými systémy vytvářejícími základní nosný systém, do nějž jsou pak osazovány kompletizované prostorové buňky, např. kanceláře. Buňky lze případně během užívání budovy vyměňovat.

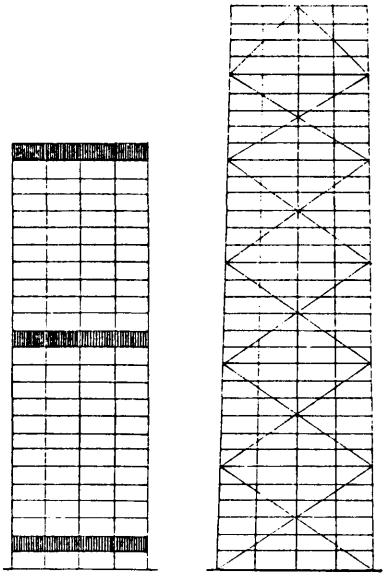
■ Konstrukční systémy výškových budov

Problém konstrukčních systémů výškových budov tj. budov, kde vliv zatížení větrem je mimořádně závažným zatížením, přispívajícím podstatnou měrou k velikosti vnitřních sil a deformací konstrukce, se v principu neliší od problémů konstrukčních systémů používaných pro nižší vícepodlažní budovy. V nejexponovanější části konstrukčního systému, tj. ve spodních podlažích je třeba zabránit vzniku tahových namáhání při kombinaci svislých a vodorovných zatížení. Toho lze dosáhnout dostatečně velkou ohybovou tuhostí svislých konstrukcí, neboť s rostoucí tuhostí klesá velikost normálových napětí. Zároveň se snižují s rostoucí ohybovou tuhostí i vodorovné deformace svislých prvků a tudíž i celé budovy při zatížení větrem. Ohybovými momenty nejvíce namáhané prvky je třeba dostatečně zatížit svislým zatížením pro vytvoření tlakové rezervy vůči tahovému namáhání vyvozovanému ohybovým momentem. Dalším vážným problémem je omezení vodorovných deformací - průhybů nosné konstrukce.

Deformacím svislých prvků brání, s nimi spojené, prvky kompletační. Z příček původně určených pro oddělení vnitřních prostor budovy se až do vyčerpání jejich odporu stávají konstrukce ztužující nosný systém. Namáhání, na která nebyly příčky navženy mohou vést k jejich porušení a tím i snížení míry plnění svých vlastních funkcí.

Uvedené požadavky nelze u extrémně vysokých budov vždy splnit bez omezení členění vnitřního prostoru. Potřebná míra ohybové tuhosti systému si vynucuje intenzivní spřažení téměř všech svislých prvků. U jádrových systémů je omezujícím činitelem přípustná, resp. hospodárná, plošná velikost jádra omezující dosažení potřebné ohybové tuhosti systému.

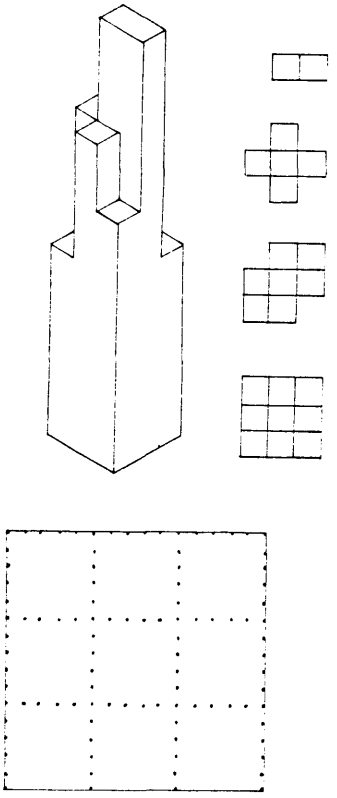
Řešením problému je rozmístění svislých nosných prvků po obvodu budovy a vytvoření jádra obvodového s maximálním momentem setrvačnosti. Pokud jsou na obvodové svislé prvky ukládány stropy s velkým rozponem, což zvýší svislé síly sloupů, vznikne konstrukce velmi odolná vůči vodorovnému zatížení. Obvodové nosné jádro bývá u extrémně vysokých budov kombinováno s vnitřním jádrem komunikačním rovněž podporujícím stropy. Uvedené uspořádání konstrukce, v USA označované jako „tube in tube" (trouba v troubě), bylo použito u řady mrakodrapů s výškou větší než 200 m. Do r.1996 nejvyšší budova na světě Sears tower v Chicagu dosahuje výšky cca 442 m. Její konstrukci tvoří soustava devíti spřažených jader. Dosažení výšek nejvyšších budov je dosud uskutečnitelné jen pomocí využití nosných obvodových konstrukcí zvyšujících tuhost budovy. U řady vysokých budov je však nosná konstrukce zakryta lehkým obvodovým pláštěm.



Příklady využití obvodového pláště pro zvýšení tuhosti vysokých budov

Kromě statických problémů je třeba řešit u vysokých budov řadu dalších problémů. Složitost mnoha problémů narůstá s výškou. Je to mj. řešení vertikální dopravy soustavou rychlých výtahů, problémy požární bezpečnosti, rychlé evakuace budovy, zásobování vodou, vytápění a větrání a řada problémů dalších. Enormně narůstají s výškou i velikosti nepříznivých vlivů působících na budovu např. tlak dešťové vody hnané deštěm na obvodový plášť. Zajištění bezproblémového provozu ve výškových budovách klade značné nároky na technické vybavení objektu a je provozně velmi náročné. Extrémně výškové budovy se proto staví často z důvodů prestižních a nikoli ekonomických.

S výškou budovy roste i náročnost organizace stavění a význam vhodných technologických postupů. Organizace stavění se stává složitým inženýrským problémem. Míra úspěšnosti jeho řešení rozhoduje o ekonomické efektivnosti budovy a mnohdy i o tom, zda bude budova vůbec realizována.



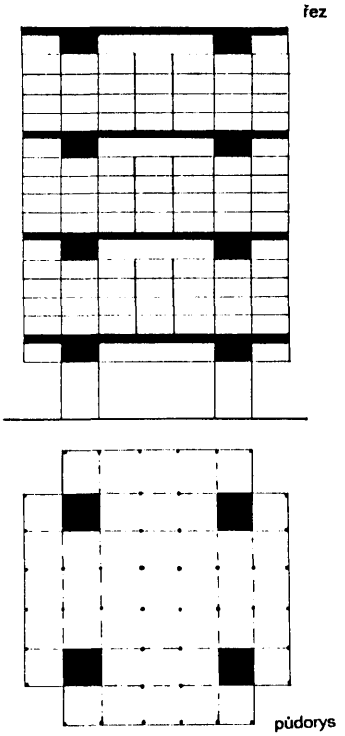
Do roku 1996 nejvyšší budova světa Sears Tower v Chicagu (442 m)

■ Superkonstrukce

Nosná konstrukce, např. konstrukce rámová , vždy do jisté míry omezuje členění vnitřního prostoru budovy. S rostoucí výškou budovy a s rostoucím rozponem stropních konstrukcí narůstají průřezy nosných prvků, což míru omezení členění prostoru zvyšuje.

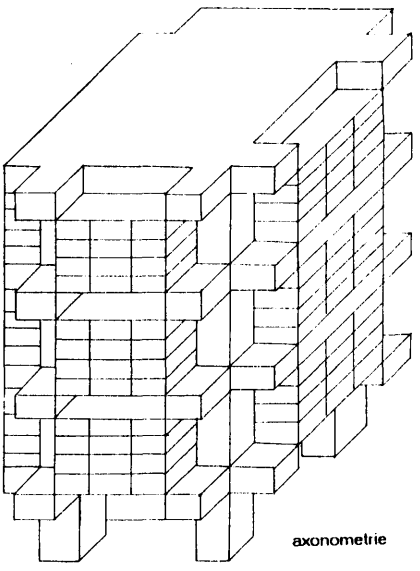
Nosná konstrukce , zejména vytvořená z konstrukčních materiálů s dlouhou životností, má výrazně větší fyzickou i morální životnost než prvky kompletační i než dispoziční řešení. Nabízí se proto možnost vytvořit nosný systém s velmi dlouhou životností umožňující vícenásobnou úpravu členění vnitřních prostor budovy a vícenásobnou výměnu kompletačních prvků.

Řešením je vyčlenit základní konstrukční systém, resp. jeho prvky mimo užívaný vnitřní prostor. Nosná konstrukce pak může být rozdělena na dvě části, primární a sekundární. Primární část, např. u konstrukce rámové, je tvořena superrámem jehož výška může odpovídat výšce několika standardních podlaží. Do prostoru superrámu je pak vložena sekundární konstrukce tvořena subtilnějšími prvky, které je případně možno obměňovat podle konkrétní potřeby. Při rostoucí výšce celého objektu narůstají dimenze jen prvků superrámů umístěných vně užitného prostoru budovy.



Na principu vyčlenění rozhodující části nosné konstrukce z užitného prostoru budovy bylo navrženo i realizováno mnoho verzí řešení nosných konstrukcí.
Z hlediska přístupu ke konstrukčnímu systému nepřináší řešení superkonstrukcí novou kvalitu. Uplatňují se zde stejné principy konstruování jako u systémů ostatních vícepodlažních budov. Opět jde o efektivní přenesení svislého a vodorovného zatížení s maximálním využitím konstrukčního materiálu. Svislé prvky musí tedy vykazovat samy či po spřažení potřebnou tuhost.

V některých případech umožňují superkonstrukce řešit i některé speciální problémy např. umístění budovy v místech s obtížnými základovými podmínkami. Nosná konstrukce budovy může tvořit most podepřený a tudíž i založený jen v omezeném počtu míst. Budovy s konstrukcí vytvářející konstrukci mostní mohou přispět k lepšímu využití území např. zastavěním prostor nad komunikacemi.



Příklad superkonstrukce

KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY HALOVÝCH STAVEB

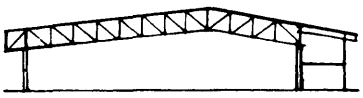
C3

Structural Systems of Long Span Structures
Konstruktionssysteme der Hallenbauten

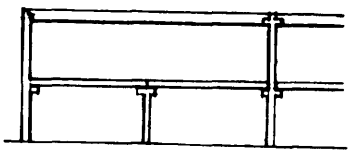
■ Funkce a součásti halových a velkoobjemových objektů

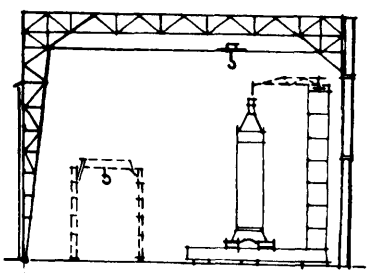
■■ Účel a funkce halových objektů

Halové objekty (a) vytvářejí volné vnitřní prostory s malým počtem, popř. zcela bez vnitřních podpor. Využívají se především při takových provozech, které nevyžadují uspořádání do více výškových úrovní nad sebou.



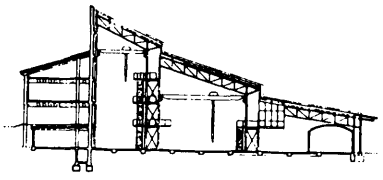
Při vestavbě vnitřních podlaží do halového objektu lze někdy vytvořit hospodárnou kombinaci provozů s různými nároky na užitné výšky prostor v rámci jednoho objektu. Jedná se o dvoupodlažní haly (b), haly velkoobjemové (c), popř. kombinované monobloky (d). Taková řešení umožňují příznivý a hospodárný poměr obestavěné plochy k obestavěnému objemu, ale i lepší využití stavebního pozemku.





Halové objekty jsou navrhovány a využívány zejména pro provozy staveb:

- kulturních (kina, divadla, výstavní pavilony, shromažďovací sály)
- sportovních (víceúčelové a sportovní haly, zastřešení tribun a stadionů, plavecké bazény)
- výrobních a skladovacích (výrobní haly, tržnice, prodejní sklady)
- dopravních (autobusové a vlakové garáže, opravny, lokomotivní depa, zastřešení nástupišť, kryté doky, letištní budovy)



■■ Součásti halového objektu

U halového objektu je dominantní obalová funkce, zabezpečující požadovaný stav vnitřního prostředí. Obalová konstrukce sestává ze střešního a obvodového pláště, z hydroizolačního systému spodní stavby.
Požadavky nosné funkce halového objektu naplňují konstrukce nosného subsystému. Patří sem zejména nosná střešní konstrukce, konstrukce podpůrné a ztužující a založení objektu.
Nosný subsystém přenáší vlastní tíhu obalových a nosných konstrukcí, statické a dynamické účinky klimatických zatížení a zatížení užitná a provozní.

■■ Nosná konstrukce a její funkce

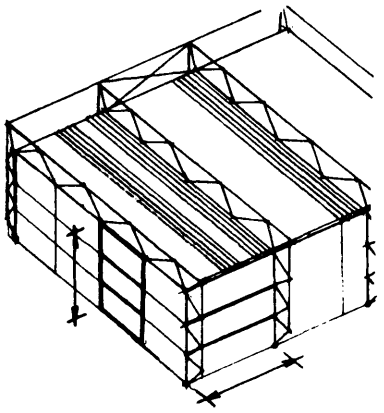
Vzhledem k převládajícím půdorysným rozměrům halových objektů jsou pro návrh nosné konstrukce podstatná zejména svislá zatížení.Základními složkami pro dimenzování nosné konstrukce jsou proto stálá zatížení vlastní tíhou nosných střešních konstrukcí a střešního pláště, v našich klimatických podmínkách i nahodilá zatížení sněhem. Při navrhování lehkých konstrukcí zastřešení se rozhodujícím způsobem uplatňuje i vliv zatížení větrem.

■■ Kompletační konstrukce obalové a dělící

Ke specifickým odlišnostem při navrhování obalových a dělících konstrukcí u halových objektů zpravidla patří:

- řídká osnova opor nenosných částí obalového pláště a příček daná většími půdorysnými i výškovými parametry nosné konstrukce

- větší absolutní deformace nosné konstrukce navozující výraznější interakce s nenosnými konstrukcemi (zvýšený průhyb střešního prvku v kontaktu s pláštěm, návaznou příčkou ...)



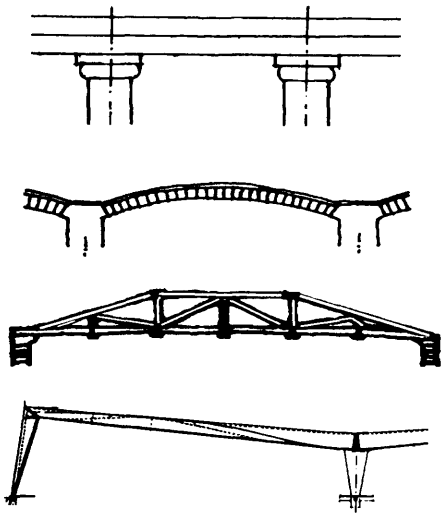
■■ Vnitřní prostředí halových staveb

Důležitou součástí návrhu halového objektu je návrh vnitřního prostředí z hledisek tepelné techniky, stavební a prostorové akustiky a denního osvětlení. K závažným částem návrhu patří např. optimalizace velikosti a umístění oken a světlíků, zajištění tepelné pohody vnitřního prostředí a osvětlení středních částí hal.

■ Konstrukční systémy halových objektů

■■ Vývoj konstrukčních systémů halových objektů

Celkové podmínky pro navrhování konstrukcí s většími rozpony byly postupně vytvářeny s rozvojem znalostí o přírodních a estetických zákonitostech i s rozvojem materiálových možností společnosti.Postupně s potřebou stavění obydlí se objevily potřeby stavění kulturních (sakrálních) staveb, mostů a staveb dopravních. S historickým rozvojem společnosti narůstala potřeba konstrukcí s většími rozpony.
Hlavními stavebními materiály byly ve vývoji stavění do 18. století pouze kámen, dřevo, hlína a pálená cihla.
V navrhování kamenných a cihlových staveb se postupně uplatňovala znalost spolehlivého přenosu zatížení převážně tlakem (klenby a kupole), později i stavění žebrových odlehčených kleneb v období gotiky a kupolí v období renesance.



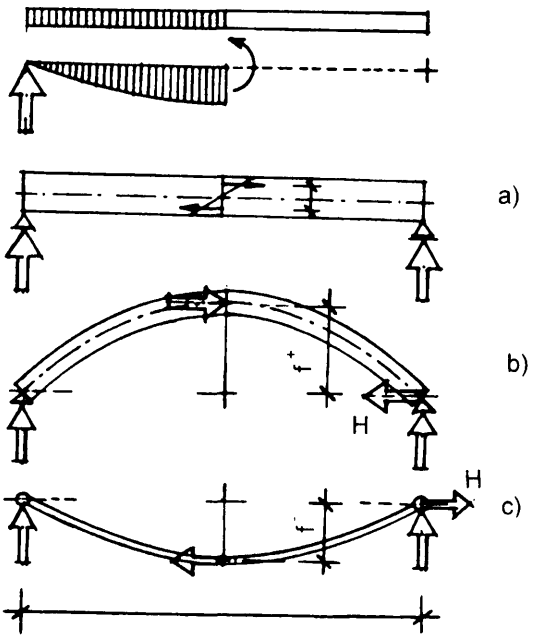
Dřevo umožňovalo navrhování konstrukcí přenášejících zatížení převážně ohybem. Vzhledem k menší životnosti dřeva v porovnání s kamennými stavbami, dochovaly se dřevěné konstrukce až z pozdějších období (např. příhradové konstrukce střech a mostů z období renesance). Rychlý rozvoj velkorozponových (zejména příhradových) konstrukcí umožnilo až v druhé polovině 18. století používání litiny a železa. Jsou budovány divadla, tržnice, nádražní a tovární haly, ale i mosty a dopravní stavby. Dobré tahové vlastnosti postupně vedly k navrhování i visutých a zavěšených konstrukcí. Významné konstrukční počiny umožnilo vyztužování betonu ocelovými pruty (Monier 1867, Hennebique 1897), na začátku 20. století používání předpjatého a spřaženého betonu, navrhování tenkostěnných skořepin apod. Současný rozvoj halových konstrukcí je významně ovlivňován nosnými materiály a technologiemi: kompozitní materiály, slitiny lehkých kovů, lepené dřevo a plasty.

■■ Ohýbaný, tlačený a tažený konstrukční systém

Obdobně jako u příčně zatížených stropů, mostů apod. je využíváno v návrhu nosné halové konstrukce tří základních konstrukčních schémat konstrukce – ohýbané, tlačené a tažené.
Statickými modely tří základních konstrukčních schémat jsou nosník (a), oblouk (b) nebo visuté vlákno (c). V ohýbané konstrukci (a) je ohybový moment od vnějšího zatížení a svislé reakce v podepření vyrovnán účinkem dvojice vnitřních sil. U konstrukcí tlačených a tažených účinkem rozporové tlakové či tahové osové síly a vodorovné vnější reakce H (b,c).

Působení nosníkové ohýbané konstrukce

Podstatou chování ohýbaného nosníku při libovolném tvaru střednice (přímé, vzepjaté či podvěšené) je v případě posuvného (prostého) podepření ve vodorovném směru přenos celého vnějšího momentu od zatížení dvojicí vnitřních sil (a).
Tyto výslednice normálového napětí v tažené a tlačené části průřezu působí na rameni vnitřních sil jehož velikost závisí na tvaru průřezu.



Konstrukce tlačené a tažené

Vzepětí či prověšení střednice nosníku, neposuvně uchyceného ve vodorovném směru podpor podmiňuje vznik rozporové síly. Tato vodorovná síla H je podstatou působení obloukové (tlačené) či visuté (tažené) konstrukce. Velikostí závisí na hodnotě konstrukčního nadvýšení či průvěsu nosného prvku.
Správně navržená tlačená či tažená konstrukce přenáší ohybový moment od vnějšího zatížení z větší části dvojicí sil – osová síla a vodorovná reakce H na rameni f. Podmínkou efektivního působení je tvar střednice odpovídající tvaru výslednicové čáry vnějšího zatížení.Při odchylování tvaru střednice rozporové konstrukce od výslednicové čáry proto dochází k částečnému přenosu zatížení i účinkem ohybové tuhosti.
K eliminování momentového namáhání se někdy volí průřez visuté konstrukce bez ohybové tuhosti (z lan, kabelů), který se tvarem přizpůsobuje výslednicové čáře zatížení.

Porovnání ohýbané, tlačené a tažené konstrukce

Výhody ohýbaných konstrukcí:
- jednoduchý tvar z hlediska výroby
- opěrná část není namáhána vodorovnou silou
- tvar vnitřního prostoru umožňuje dobré využití

Výhody tlačených a tažených soustav:
- větší únosnost umožňuje větší rozpon
- možnost zajímavého tvarování

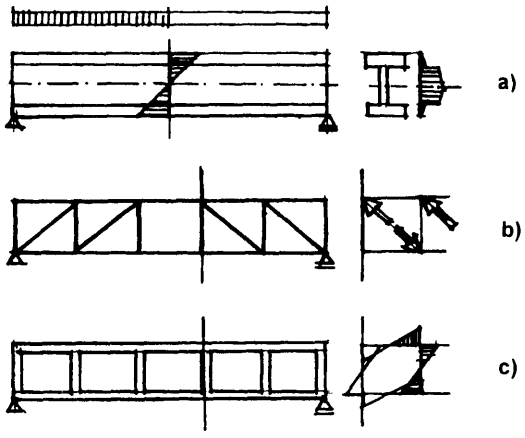
Porovnání tlačené a tažené konstrukce

Výhody tlačené konstrukce:
- tvarová stálost konstrukce
- lepší využitelnost vnitřního prostoru daná tvarem
- namáhání opěrnými tlaky směřujícími k základové spáře
- tvar vhodný z hlediska odvodnění střechy

Výhody tažené konstrukce:
- tažený průřez není namáhám vzpěrným tlakem
- konstrukce bez ohybové tuhosti není namáhána momenty

Konstrukční řešení ohýbaného prvku

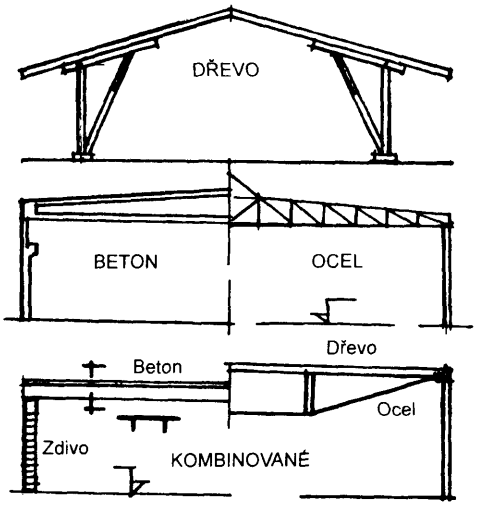
Hlavní nosné prvky konstrukce jsou namáhány ohybovým momentem nebo v kombinaci s normálovou silou. Přenesení ohybového momentu podmiňuje možnost vzniku dvojice sil v tažené a tlačené části průřezu smykově propojených. Smykové propojení tlačené a tažené části ohýbaného průřezu lze provést plnou stojinou (a), příhradovinou (b), nebo ohýbanými příčlemi (c-vierendelova konstrukce). Smykové spolupůsobení obou částí průřezu umožní jeho celistvé působení, nedostatečné propojení způsobuje snížení únosnosti průřezu a zvýšení deformací.
Plnostěnné průřezy prvků jsou výrobně jednoduché s dostatečnou smykovou účinností, příhradové konstrukce se vyznačují nižší tíhou. Příhradové i vierendeelové prvky umožňují prostupnost rozvodů střechou.



Materiálová a technologická řešení nosné konstrukce

Materiál nosné konstrukce halového objektu volíme v souladu s charakterem namáhání nosných prvků (tah, tlak, ohyb, smyk), o nízké objemové hmotnosti a ceně. Takovým podmínkám vyhovují zejména konstrukční materiály: dřevo, lepené dřevo, železobeton, předpjatý beton, ocel a lehké slitiny.
Pro tahem namáhané konstrukce visuté a pneumatické se využívají ocel, dřevo, kompozity, plasty a textilie.
Prostý beton a cihly jsou vzhledem k malé schopnosti přenosu tahem a značné objemové hmotnosti využívány zejména pro navrhování tlačených podpěrných částí halových staveb.

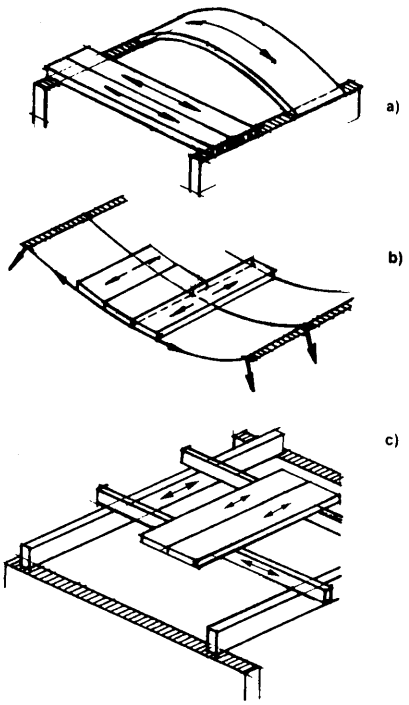
Navrhování jednomateriálových soustav hal umožňuje jednotnou technologii výroby, údržby, životnost prvků je zhruba shodná. Materiálově kombinované soustavy umožňují efektivnější využívání vlastností jednotlivých materiálů.



■■ Uspořádání hlavního nosného systému

Nosné systémy jedno, dvou a třístupňové

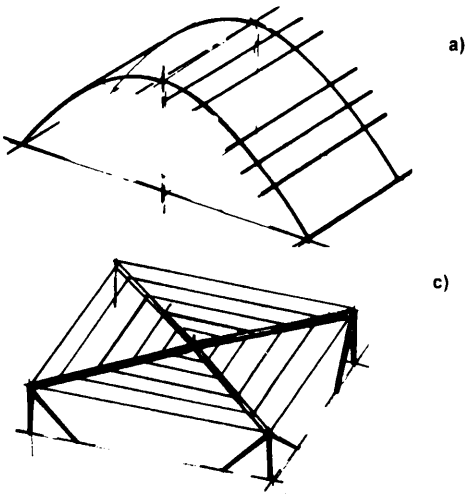
Jednoduchá jednostupňová konstrukce zastřešení zahrnuje pouze jeden prvek – ohýbanou desku (a), tlačenou klenbu (b) nebo visutou membránu. Konstrukce přenáší plošně působící zatížení přímo do podpor. Jednoduchá konstrukce má však omezenou únosnost, často i použitelnost z hlediska velikosti prostoru.
Dvoustupňová konstrukce (b) kombinuje malorozponové plošné prvky s příčně zatěžovanými na větší rozpon. Příčně zatěžované prvky přenášejí zatížení ohybem, tlakem či tahem a reakce z plošných sekundárních prvků. Specializace prvků zastřešení na dílčí nosné funkce umožňuje větší rozpon oproti konstrukci jednostupňové.
V případech neefektivnosti dvoustupňového uspořádání lze navrhnout *třístupňový systém* (c). Zahrnuje i terciální hlavní nosné prvky (např. průvlaky - c) přenášející zatížení z příčně zatěžovaných trámů ohybem, tlakem či tahem do podepření.



Volba stupně systému a jeho rozměrových parametrů se optimalizuje v závislosti na zatížení, materiálu a konstrukčním schématu částí navrhovaného zastřešení.

Ortogonální a radiální uspořádání

Při kolmém uspořádání osnov hlavních nosných a sekundárních prvků navrhujeme tzv. ortogonální skladby zastřešení (a), kosoúhlým uspořádáním prvků se vyznačují tzv. neortogonální soustavy, např. radiální (b) nebo axiální (c).



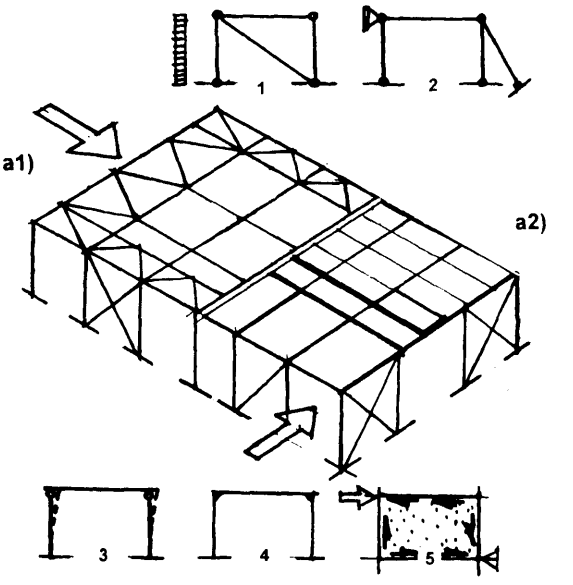
Jednostupňové a vícesměrné systémy

Jednosměrné systémy jsou charakteristické pro stavby s obdélníkovými půdorysy. Rozpon konstrukce zastřešení volíme ve směru menšího z půdorysných rozměrů. Při půdorysném uspořádání podpor po obvodě čtverce, pravidelného víceúhelníku či kruhu je efektivnější vícesměrné uspořádání nosné konstrukce zastřešení.

■■ Prostorová tuhost halového objektu

K přenesení vodorovných účinků od zatížení větrem, brzdných sil jeřábů, seismických zatížení apod. je třeba ztužením halového objektu zajistit jeho celkovou prostorovou tuhost.

U halových systémů s *netuhou střešní tabulí* (visuté, pneumatické) je zajištění tuhosti tvaru poddajné střešní tabule obtížně proveditelné. U takových systémů jsou vodorovná zatížení působící na obvodový plášť zpravidla přenášena samostatně primárně zatíženým prvkem bez spolupůsobení s ostatní konstrukcí.



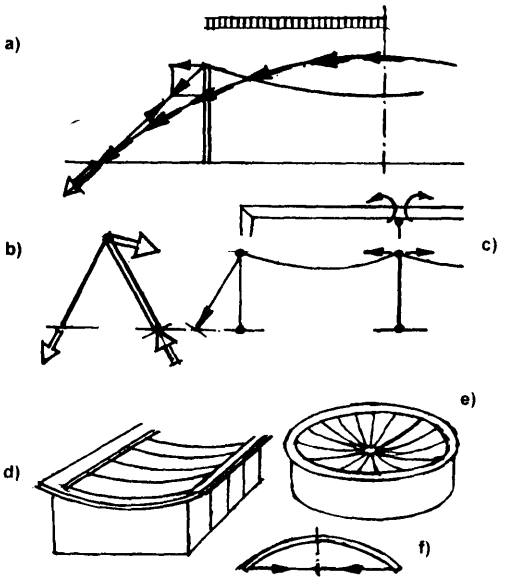
U systémů s tuhou střešní tabulí (a), vytvořené vhodným spojováním plošných střešních prvků nebo soustavou ztužidel vložených do střešní roviny, je vodorovné zatížení redistribuováno tabulí do ztužujících konstrukcí (stěn, svislých ztužidel, ...). Spojením plošných střešních dílců se vytvoří celistvý, vodorovně působící nosník podepřený vodorovně ztužujícími konstrukcemi (a2). Střešní příhradová ztužidla jsou tvořena prutovými nosníky, které jsou smykově propojeny dodatečně vkládanými diagonálními prvky (a1).

Střešní ztužidla se umísťují po obvodě tabule, při větších rozponech střech i podél hřebene. Zachování tenkých diagonál vychází z principu dvojnásobných příhradových konstrukcí aktivovaných pouze na tah.

Funkci ztužidel lze někdy nahradit působením horizontálně tuhých prvků (obvodový prstenec, uzavřený rám apod.). Horizontální tuhost svislé nosné konstrukce lze zajišťovat vnitřním diagonálním ztužením (1), zakotvením vnějšími táhly (2), vetknutím do základů (3), tuhým rámovým rohem (4) či plošnou výplní (5).

■■ Opěrné systémy halových soustav

Opěrný systém zastřešení haly obecně přenáší svislé a vodorovné reakce a ohybové momenty. Svislé reakce přenáší tlačený prvek (sloup, stěna, rámová stojka, základový blok), vodorovné složky reakcí zatěžují opěrnou konstrukci ohybovým momentem a příčnou silou. V případě vetknutí zastřešení do opěr vznikají i ohybové momenty.



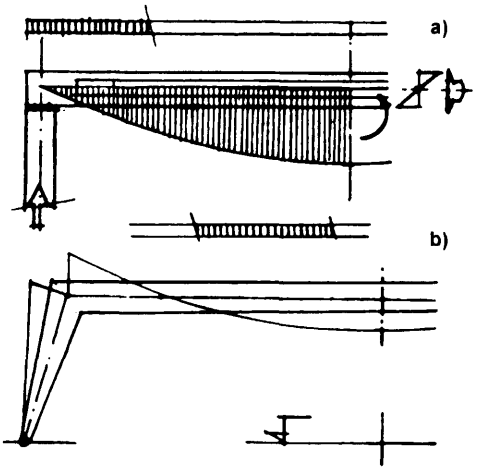
Otevřené opěrné systémy přenášejí vodorovné a ohybové složky přímo do opěrné konstrukce a základu (a, b).

Podpěrné systémy uzavřené reakce protilehlých částí konstrukce vzájemně eliminují vlastním působením opěrných částí (táhla, rozpěry, ...), základová konstrukce je výhodně namáhána pouze svislými reakcemi (d, e, f).

Spojité systémy podepření vhodně eliminují vodorovné síly i ohybové momenty ze sousedních polí osazených na jedné podpoře (c).

■ Ohýbané konstrukční systémy

Základním nosným prvkem přenášejícím zejména svislé zatížení je v ohýbaném konstrukčním systému prostě uložený nebo vetknutý nosník (a, b) – soustavy vazníkové, bezvazníkové, popř. rámové. Veškeré zatížení takto navržené konstrukce je přenášeno ohybovým namáháním po rozpětí základního prvku.Únosnost závisí jednak na průřezovém modulu nosníku a pevnostních vlastnostech jeho materiálu.
U nosníku vetknutého v podepření (b) je ohybový moment přenášen i opěrnou konstrukcí vzniklé rámové soustavy. Provedení rámového rohu je sice výrobně náročnější umožňuje však snížení ohybových momentů do vlastní příčle.

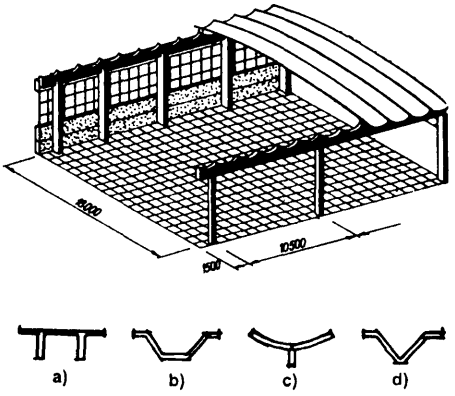


Společným znakem ohýbaných soustav je namáhání horního pasu nosníku či rámové příčle tlakem, resp. potřeba zajištění stability proti vybočení.

■■ Deskové soustavy

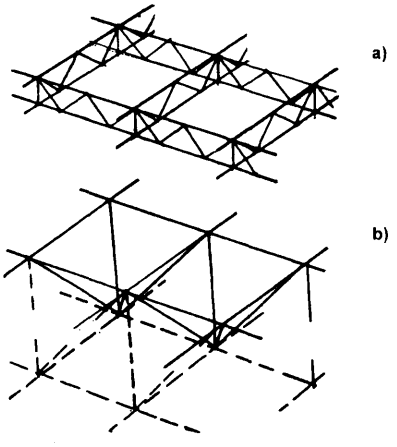
Betonové bezvazníkové soustavy

Střešní konstrukci tvoří deskové nosníky žebrového (a), lomenicového (b, d), skořepinového (b) či komůrkového tenkostěnného průřezu. Deskové tenkostěnné nosníky v podélném směru prizmatické či proměnné jsou často předpínány. Navrhují se na rozpony 12 – 30 m, šířky činí 1,2 – 3 m. Příčně kladené dílce jsou ukládány na podélné rámy, v uložení žeber se vzhledem k velké koncentraci tlaků navrhují pryžová ložiska. Tuhost střešní tabule se zajišťuje vzájemným stykováním deskových střešních prvků.



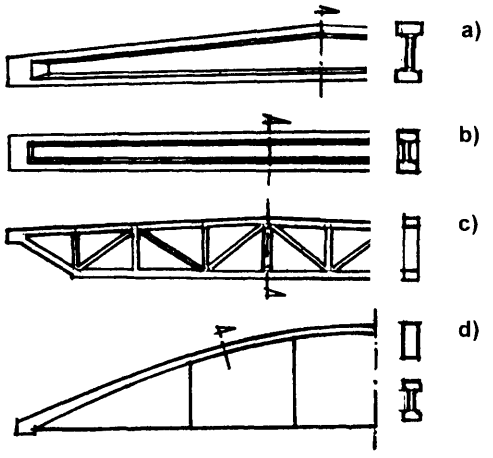
Příhradové deskové konstrukce, rošty, prostorové struktury

Strukturální deskové útvary vytvořeny soustavou prutových prvků, staticky s jednosměrným či obousměrným pnutím střešní konstrukce. Obousměrně strukturální konstrukce přenáší zatížení ohybovým účinkem v obou směrech, někdy i tuhostí v kroucení.
U roštových desek (a) je struktura vytvořena z rovinných příhradových nosníků, soustavy prutových desek (b) mají styčníky horní a dolní pásové prutové sítě. Prutové prvky mohou být navrhovány na bázi kovů (ocel, dural), z trubkových či hraněných prvků, ale i dřeva, plastů, popř. jako soustavy materiálově smíšené .



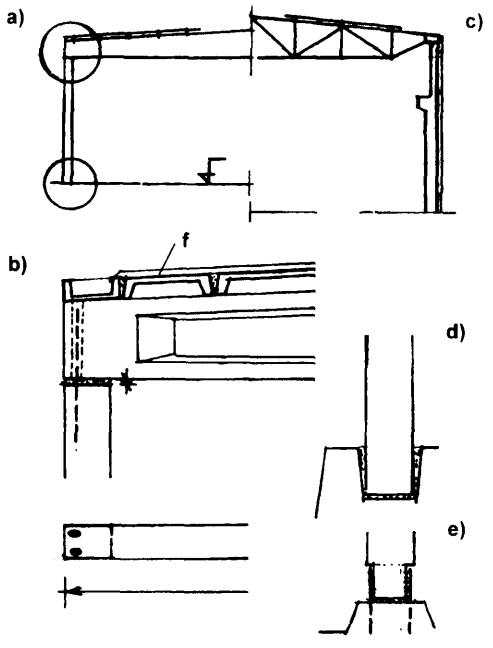
■■ Vazníkové soustavy

Střešní konstrukce sestává ze střešních vazníků plnostěnných, s odlehčenou stojinou, příhradových nebo vierendeel. Střešní vazníky jsou ukládány přímo na sloupy nebo prostřednictvím průvlaků, podepření může tvořit i stěna. Na vazníky mohou být ukládány plošné střešní prvky (bezvaznicový systém) nebo střešní vaznice nesoucí střešní plášť (vaznicový systém). Podélný tvar vazníků bývá přímopasový (b), sedlový (a,c), pultový, obloukový (d) nebo lomený. Navrhovány jsou na bázi dřeva, kovů, železobetonu, popř. materiálové kombinace.



Soustavy s betonovými vazníky

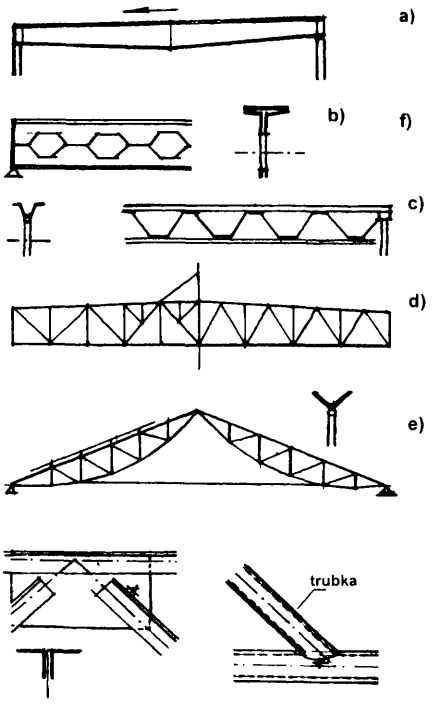
Vazníky jsou zpravidla navrhovány z předpjatého prefabrikovaného železobetonu. Smykově účinná stojina průřezu bývá plnostěnná (a, b), příhradová (c) nebo vierendeelová.
Lepší průchodnost plnostěnné stojiny umožňují kruhové otvory.
Betonové vazníky nevyžadují údržbu, jejich životnost je poměrně velká.
Vazníky na větší rozpony se z přepravních důvodů někdy vyrábí dělené, na stavbě se dodatečně spínají kabely. U vícelodních soustav vazníkových hal jsou vazníky z důvodů větší volnosti prostoru (méně sloupů) ukládány na průvlaky. Příhradové vazníky se z důvodů montážní stability ukládají na horní pás (tj. nad těžištěm). Na sloupy obdélníkového profilu, či průřezu I nebo členěného jsou vazníky ukládány kloubově zalitím otvorů s osazením na trny. Styk sloupu s patkou bývá buď čelní s přesahem výztuže nebo uložené do kalichu patky (e,d). Střešní plášť často tvoří střešní žebírkové nebo kazetové panely (f). Rozpětí halových soustav s betonovými vazníky činí 12 – 36 m.



Soustavy s ocelovými vazníky

Při větších zatíženích na menší rozpony jsou navrhovány plnostěnné vazníky s prolamovanou stojinou (b), popř. plnostěnné složeného průřezu (a). Na velké rozpony jsou typické příhradové rovinné nebo prostorové vazníky (c, d, e). S parabolickým tvarem dolního pásu se navrhují girlandové typy, na velké rozpony tvoří trojkloubovou soustavu s táhlem (e). Plnostěnné vazníky jsou z válcovaných nosníků nebo průřezu složeného z plechů a širokých ocelí – svařované.

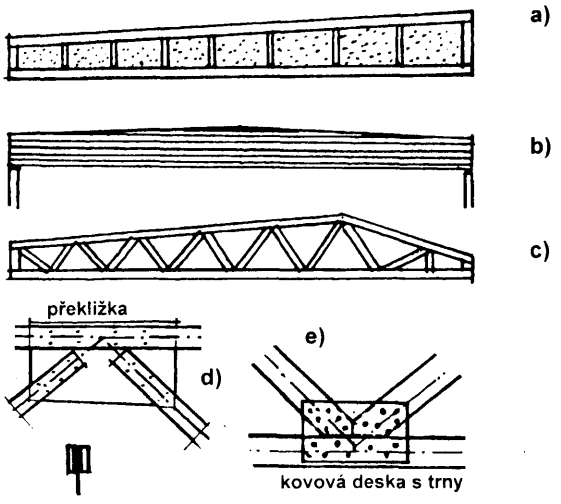
Příhradové typy jsou navrhovány z prutových prvků válcovaných, tenkostěnných nebo trubkových průřezů. Spojování prutů ve styčnících se provádí svary, montážní styky se šroubují. Podpůrnou konstrukci vazníků tvoří průvlaky, popř. přímo betonové či ocelové sloupy, zdi apod. Ocelové sloupy se navrhují ze svařovaných profilů, z válcovaných profilů (HEB) či jako průřezy členěné. Sloupy se prostřednictvím kotevních desek ukládají na základové konstrukce (patky). Střešní plášť z plošných dílů (plech, žebírkové desky, kovoplastické apod.) je ukládán na vazníky přímo (tzv. bezvaznicová skladba) nebo prostřednictvím vaznic. Vaznice staticky působí jako prosté, při větších roztečích vazníků spojitě, jako vzpěrkové či zavěšené.
Plnostěnné vazníky se navrhují do rozponů cca 24 m, příhradové varianty až na velké rozpony (80 m).



Soustavy s dřevěnými vazníky

Vazníky na bázi dřeva se navrhují jako plnostěnné nebo příhradové, celodřevěné nebo materiálově smíšené. Horní a dolní pásy bývají z hranolů a prken. Plná stojina se provádí sbíjená nebo lepená z prken (a, b), příhradovina z prken nebo hranolů. Lepené konstrukce vykazují větší odolnost protipožární, zpravidla i větší únosnost.

Části vazníků jsou spojovány konstrukčními spojovacími prostředky: svorníky, hmoždíky, hřebíky a vruty, popř. kovovými styčníkovými deskami s trny (e). U těchto spojení dochází k poddajnosti; vazníky se proto navrhují s konstrukčním nadvýšením. Tuhostí spoje se vyznačují spoje lepené.

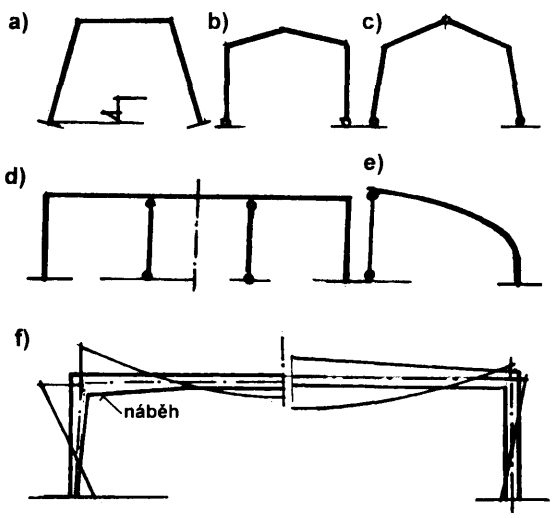


Při malých rozponech se zpravidla užívá bezvaznicová skladba střešního pláště, na větší rozpony se aplikují vaznicové skladby s lepenými, příhradovými nebo plnostěnnými vaznicemi. Často je používá střešní plášť z kompletizovaných žebrových panelů. Tuhost střešní roviny zpravidla zajišťuje diagonální zavětrování.

■■ Rámové soustavy

V důsledku vetknutí střešního nosníku do sloupové podpory v rámovém rohu se ohybový moment zmenší uprostřed rozpětí; z rámové příčle se přenáší i do rámové stojky.

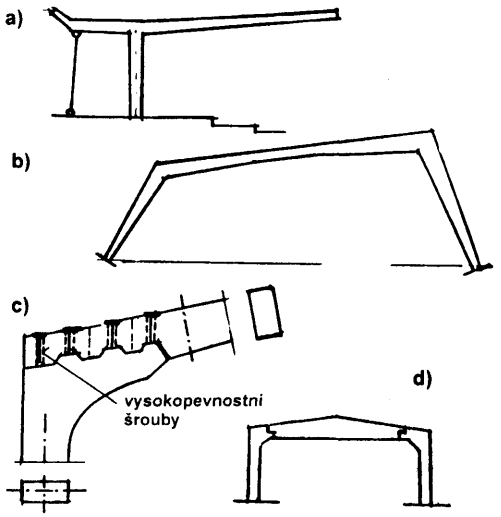
Vetknutý rám (a) je v důsledku velké míry statické neurčitosti značně citlivý na účinky poklesu podpor, teplotních a objemových změn.
Dvoukloubový rám (b) vznikne vložením patních kloubů, je již méně citlivý ke svislému sedání podpor.
Vložením dalšího kloubu do rámové příčle se vytvoří *trojkloubový rám* (c) staticky určité konstrukce, obdobně rám konzolový (e). Nevýhodné namáhání stojek rámu ohybem lze částečně eliminovat návrhem spojitého rámu (d). Rozdělení ohybových namáhání v rámové konstrukci ovlivňují poměry tuhostí stojky a rámu, obdobně úprava náběhy (f), která koncentruje ohybové momenty do míst s větší tuhostí.



Betonové rámové soustavy

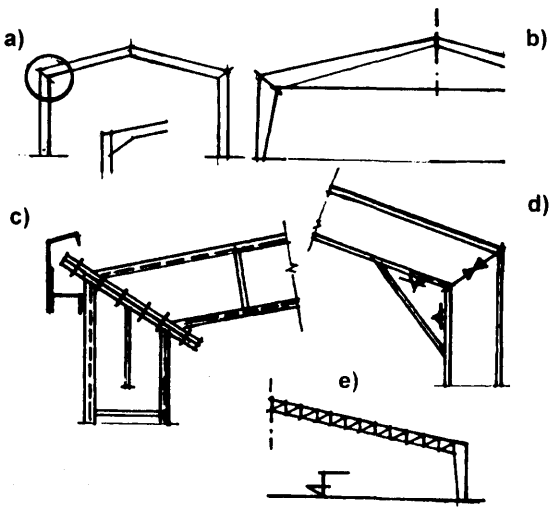
Železobetonové rámy jsou prováděny jako monolitické (a,b) nebo z prefabrikovaných částí spojovaných v rozích (c), popř. v místech malých ohybových momentů (d). často jsou předpínány a s využitím betonů vyšších kvalit. Monolitické rámy, výhodné z hledisky větší odolnosti proti agresivnímu prostředí, jsou navrhovány omezeně, např. u průmyslových konstrukcí.

Vytvoření tuhého spojení v rohu rámu se u monolitických typů zajišťuje vhodným uspořádáním výztuže, u prefabrikovaných rámů (c, d) prostřednictvím šroubovaných nebo svařených stykových desek.



Ocelové rámové soustavy

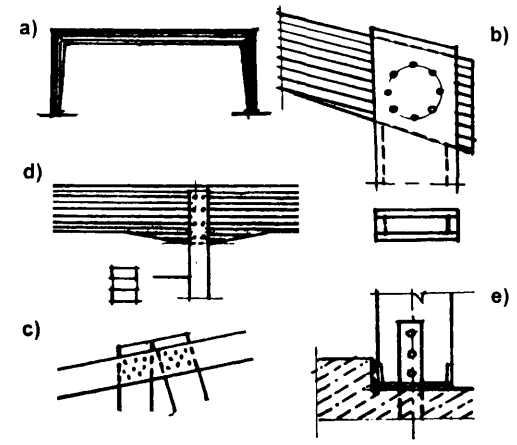
Jsou vhodné pro lehké halové objekty malých a středních rozponů. Nosnou konstrukci tvoří zejména tenkostěnné profily tvářené za studena (a), popř. válcované plnostěnné profily, trubky atd. Pro těžké haly jsou používány plnostěnné svařované průřezy (otevřené, uzavřené), někdy příhradové trubkové či z válcovaných profilů (b). Na obr. c je uveden příklad montovaného rámového rohu, resp. svařovaného (d). Tuhost hal je zajišťována v příčném směru vlastní tuhostí vazeb, podélně vkládanými příhradovými ztužidly, rámovým účinkem atd.



Rámové soustavy na bázi dřeva

Stojky a příčle jsou navrhovány jako plnostěnné (a,b) nebo příhradové (c), ze sbíjených nebo lepených průřezů. Na obr. (c) a (d) jsou uvedeny příklady řešení sbíjeného a svorníkového spojení, na obr (e) je úprava podporového kloubu pomocí zakotvených ocelových třmenů.

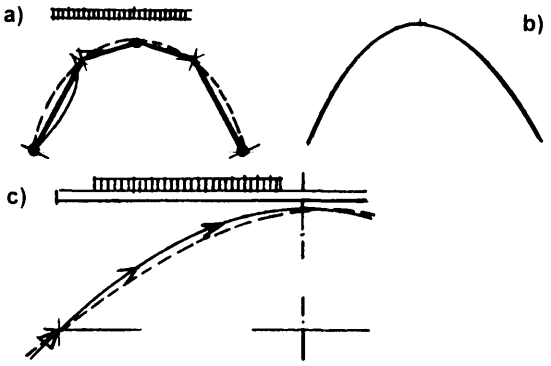
Střešní pláště na rámy na bázi dřeva se navrhují ve vaznicové nebo bezvaznicové skladbě, obdobně jako u soustav vazníkových.



■ Konstrukční systémy převážně tlačené

K obloukové soustavě namáhané převážně tlakem lze dospět postupným zalamováním příčle rámu (a, b). Tvarem se tak obloukové nosníkové nebo plošné konstrukce přiblíží tlakové čáře (ploše) od převládajícího zatížení od vlastní tíhy a sněhem, tj. odpovídá parabolickému tvaru čáry.

Působení proměnného vnějšího zatížení na stálý tvar konstrukce způsobuje částečné namáhání ohybovými momenty, tj. nutnost návrhu průřezu tlačené konstrukce na kombinaci tlaku s ohybem (c).



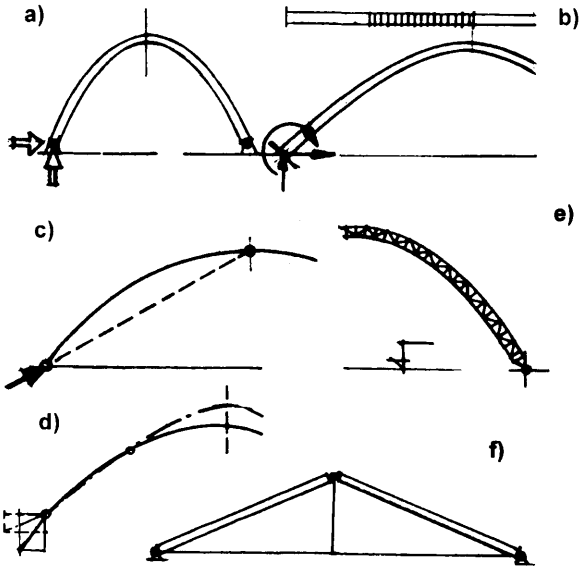
■■ Obloukové soustavy

Tlačené obloukové konstrukce dimenzujeme na vzpěrný tlak v kombinaci s ohybem. Stabilizace oblouku proti vybočení v.rovině se zajišťuje dostatečnou ohybovou tuhostí průřezu, vybočení z vlastní roviny zvýšenou tuhostí průřezu nebo tuhostí střešní tabule. Oblouky vetknuté (b) staticky lépe využívají hmotu průřezu a jsou tvarově stabilnější, jsou však citlivé na namáhání od sedání podpor a od účinků objemových změn.

Oblouky s klouby v podporách (dvoukloubové varianty – a) příznivě snižují vlivy sedání a nesilových účinků objemových změn.

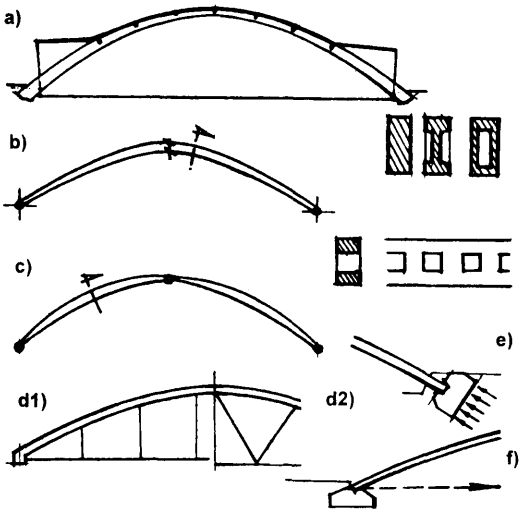
Trojkloubový oblouk (c, d) zcela eliminuje poklesy podpor a namáhání objemovými změnami, při umístění vnitřního kloubu mimo vrchol lze účelně regulovat směr podporových reakcí (d). Mezi tlačené konstrukce lze řadit i trojkloubový tlačený nosník (f).

Navrhování střešního pláště na obloukové soustavy je specifické proměnlivostí sklonu plochy.



Betonové obloukové soustavy

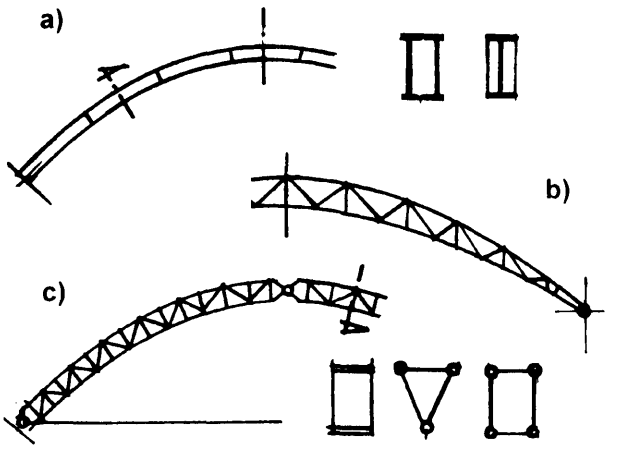
Navrhovány jsou jako vetknuté (a) s převedením např. trojkloubového schématu až po odeznění dotvarování, sednutí apod., nebo jako dvoukloubové (b) či trojkloubové – staticky určité (c). V konstrukcích zastřešení se železobetonový oblouk uplatňuje i jako součást obloukových vazníků (d), horní betonový pás je závěsy propojen s dolním táhlem, popř. vzpěrami (d2).



Základová spára u oblouku bez táhla se volí kolmo na směr výslednice (e), při uzavřeném podepření i s vodorovnou spárou (f). Průřez betonového oblouku se volí plný, tvau I, truhlíkový, vierendeelův apod. (b, c).

Ocelové obloukové soustavy

Plnostěnné průřezy se často navrhují ze segmentů svařovaných průřezů, příhradové z tyčových a trubkových průřezů (a, b, c), mohou být rovinné nebo prostorové.

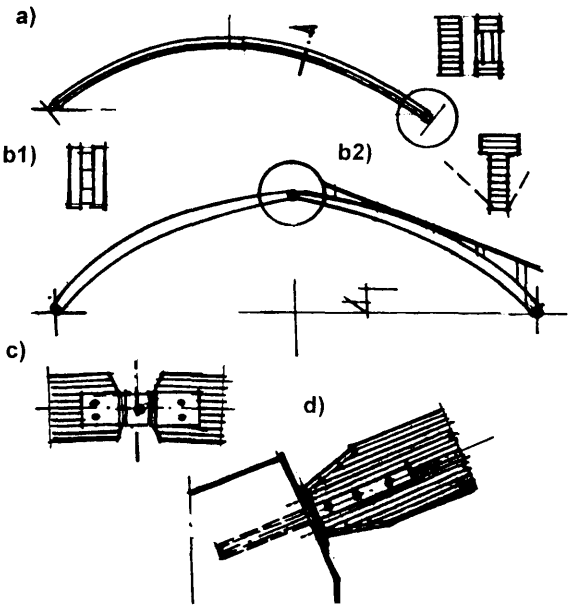


Části oblouků lze sestavovat a stykovat na zemi, pro dopravu se někdy oblouky rozdělují montážními styky.

Vhodným příkladem trojkloubové nosníkové konstrukce haly je např. používaná soustava HARD – tlačený nosník s.táhlem s průřezy prvků ve tvaru „C", sedlového tvaru střechy.

Obloukové soustavy na bázi dřeva

Nejčastěji se navrhují jako dvou a trojkloubové nosníky (a, b). Průřez se volí nejvíce lepený obdélníkového tvaru, tvaru I, T, popř. skříňový, někdy s proměnným průřezem po délce oblouku.



Pro vrcholový kloub a uložení na základovou konstrukci (c,d) se používá ocelových stykovacích desek a příložek.

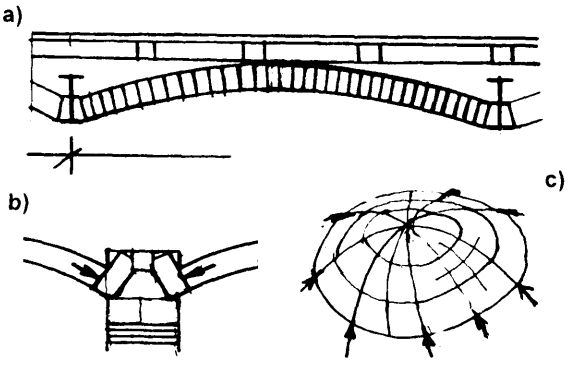
Použití přímých vaznic podepřených vzpěrami uloženými na oblouku (b2) lze docílit sedlového tvaru střechy s jednotným střešního pláště sklonem.

Podle roztečí obloukových vazeb se ukládá střešní plášť na vaznice, popř. bez vaznic ve formě kompletizovaných panelů.

■■ Plošné tlačené konstrukce

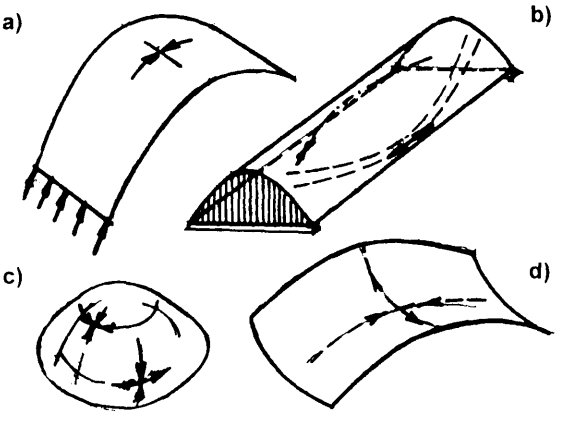
Klenby

Klenby přenášejí vzpěrný tlak s ohybem průřezem předepnutým vlivem převládajícího svislého zatížení. Masivní konstrukce klenby má proto omezené možnosti přenášení bodových zatížení. Ke správné funkci klenby je podstatný tvar výslednicové čáry od zatížení vlastní tíhou konstrukce. Základní tvary kleneb valených nad obdélníkovým půdorysem (a), popř. kupolových (c) byly navrhovány zejména z cihelného a kamenného zdiva. Na schématu (b) je uvedeno oboustranné uložení valené klenby na zděný klenbový pás.



Skořepiny

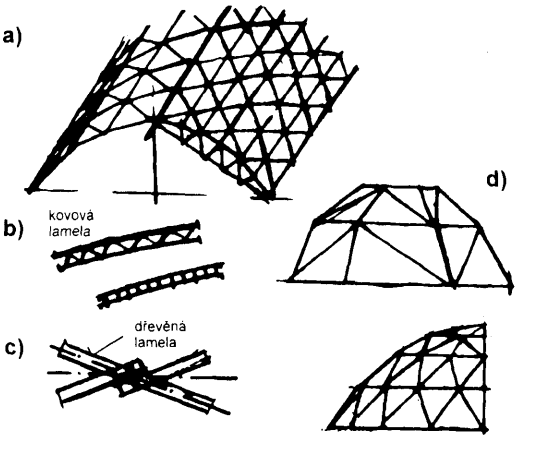
Jedná se o subtilní tenkostěnné prostorové konstrukce, které přenášení ohybová namáhání pouze v omezené míře. K zajištění stability tlačených částí skořepin se využívá příznivého tvaru s dvojí křivostí (d), popř. spolupůsobení s výztužnými žebry či tuhými čely (b). Krátkou válcovou skořepinu (a) stabilizují ohybová žebra nebo čela; namáhaná je převážně tlakem.
Dlouhá válcová skořepina (b) je statickým působením obdobou nosníkové konstrukce.
Rotační skořepina (c) je tvarem podobná kupolové klenbě, její stabilizaci však zajišťuje schopnost přenášení radiálních namáhání – v horní části tlakových, v dolní tahových.
Skořepinové konstrukce jsou navrhovány převážně ze železového betonu, popř. z kompozitních materiálů.



■■ Prutové a lomenicové struktury

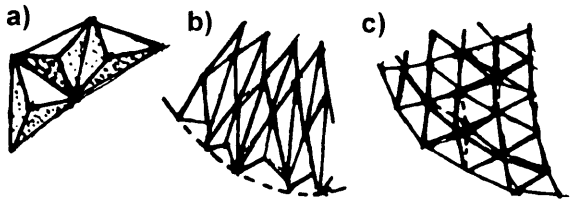
Prutové strukturální soustavy

Statické působení se blíží chování stejnotvarých plošných konstrukcí. Plošná struktura je nahrazena prutovou s prvky z oceli, železobetonu, dřeva apod.
Prutová struktura válcové klenby může být jednovrstvá (a), popř. dvouvrstvá (b), často sestavená z dílčích lamel.
Na bázi betonu se prutové struktury zpravidla navrhují jednovrstvé s ohybově tuhými žebry.
Lamelové klenby na bázi dřeva (c) jsou tvořeny diagonálně uspořádanými žebry (lamelami) spojovanými svorníky. Obdobně lze vytvořit prutové struktury ve tvaru rotačních kupolí (d).



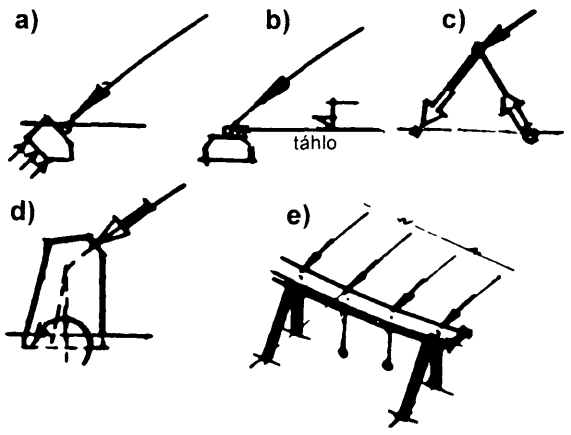
Lomenicové visuté struktury

Soustava je vytvořena z plošných trojúhelníkových elementů vytvářejících tuhou prostorovou konstrukci (a) (např. translační a rotační plochy), nahrazením prutů struktury plošnými elementy (b, c) apod.



■■ Opěrné systémy tlačených soustav

Z obloukové konstrukce jsou svislé a vodorovné reakce přenášeny do opěrného systému. Způsob přímého opření o základovou konstrukci v úrovni terénu uvádí schéma (a, b). opěrná konstrukce oblouku uloženého vysoko nad terénem může být navržena jako ohýbaná (d), popř. s přenášením normálovými silami (c). Opření prostřednictvím horizontálně tuhého nosníku a lokálních opěr uvádí schéma (e).



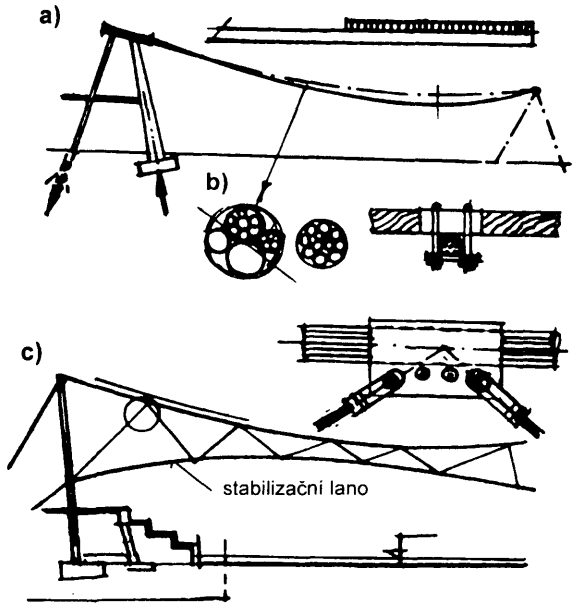
■ Konstrukční systémy převážné tažené

Mezi tažené konstrukční systémy patří konstrukce visuté, pneumatické a zavěšené. Visuté a pneumatické konstrukce jsou díky malé ohybové tuhosti charakteristické malou tvarovou stálostí.

■■ Visuté soustavy

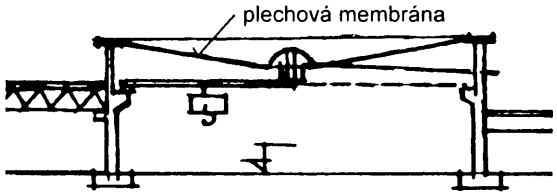
Lanové visuté soustavy

Lanové prvky bez ohybové tuhosti (a2) jsou uspořádány paralelně či radiálně, v jedno nebo dvouvrstvé uspořádání (lanové vazníky, lanové sítě). Jsou sestaveny z ocelových drátů, nekovových vláken apod. Zatížení visutá konstrukce přenáší normálovou silou v průřezu vlákna a vodorovnou složkou podporové reakce. Visutý tahem namáhaný prvek je subtilní bez ohybové tuhosti, tvarem se přizpůsobuje výslednicové čáře vnějšího zatížení.
Vodorovná reakce visutého vlákna namáhá opěrný systém vysoko nad terénem, jejich zachycení vyžaduje efektivní konstrukční návrh.



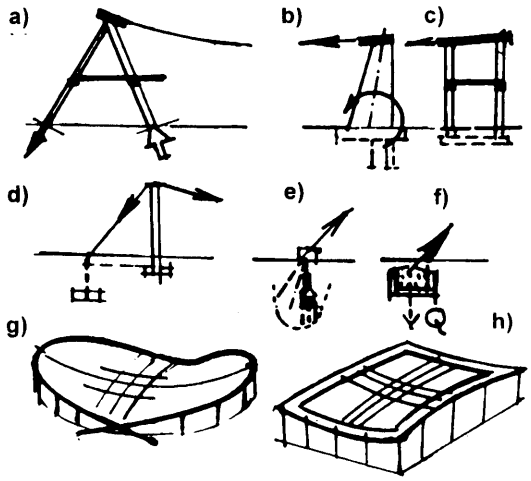
Membránové visuté soustavy

Membrána visuté střechy se navrhuje z plošně působící volně zavěšené nebo napjaté tkaniny, plechu, kompozitní textilie apod. přebírá pouze síly ve střednicové ploše, tj. navozuje membránový stav napětí. Stabilizace tvaru tenké membrány vyžaduje ztužující žebra, tvarování s dvojí křivostí, popř. vhodné přitížení podvěsem.



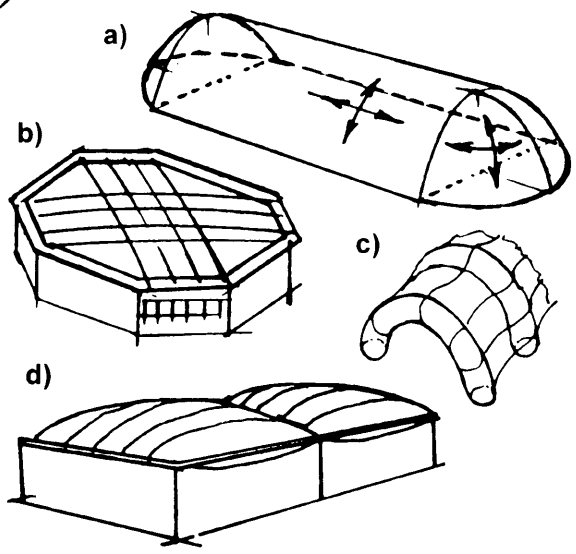
Opěrný systém visutého zastřešení

Při otevřených opěrných systémech (a, b, c, d, e, f) je vedle svislé reakce nutné zachycení i vodorovné síly reakce s převedením až do základové konstrukce - rozkladem do normálových složek (a), ohybem (b), rámem (c), táhlem (d), hmotným základem (f) či kotvami na tah (e). Uzavřené systémy podepření (g, h) výhodně eliminují vodorovné reakce v rámci střešní konstrukce (tuhý prstenec, rám). Výhodné jsou i spojité opěrné systémy.



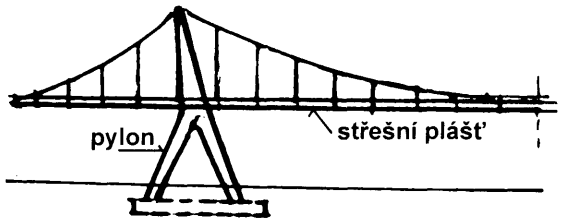
■■ Soustavy nesené přetlakem vzduchu

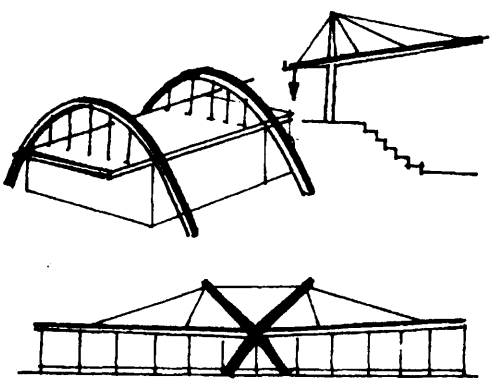
Pneumatická konstrukce nesená přetlakem vnitřního vzduchu je tvořena tenkou membránou předepnutou vnitřním přetlakem. Přetlak vnitřního vzduchu u hal s přetlakem v celém vnitřním prostoru (nízkotlaké) činí cca 100 - 300 Pa (a). Při velkých rozponech se tvarová stabilizace zajišťuje i v kombinaci se ztužujícími lany na povrchu (b). V případech soustav nesených vysokým přetlakem žeber, oblouků (tj. skeletu objektu) o velikosti 0,1 - 0,5 MPa hovoříme o vysokotlakých soustavách. Používají se na menší rozpony cca do 25 m (c). Patří sem i soustavy čočkové a polštářové (d).

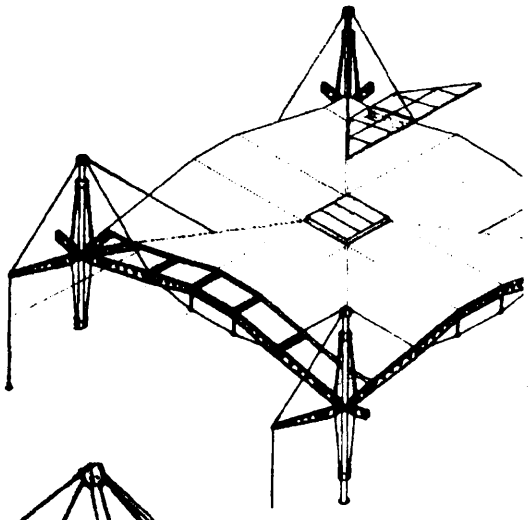


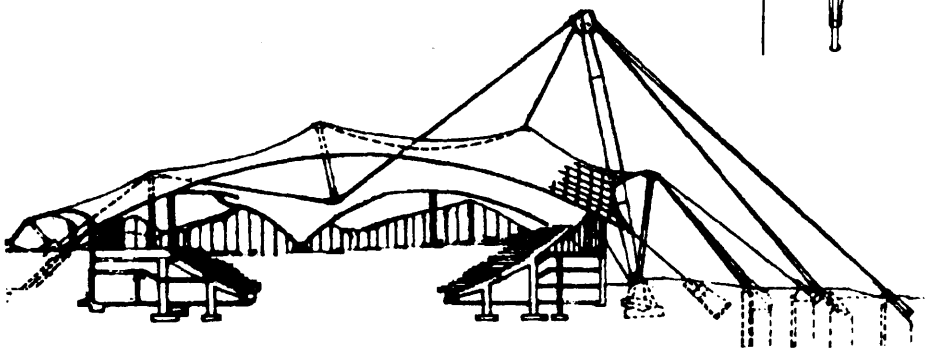
■■ Zavěšené soustavy

Střešní nosníková konstrukce je zavěšena na táhlech kotvených přes tlačené pylony. V podstatě se jedná o vícestupňový systém s obdobným způsobem návrhování střešního pláště jako u jiných tuhých soustav (vazníky, rámy). Příklady zavěšených soustav zastřešení jsou uvedeny na následujících obrázcích.









Literatura k bloku C

[1] Ambrose J.: *Building Structures*, John Wiley & Sons, 1993
[2] Bill Z., Žďára V., Novák M.: *Konstrukce pozemních staveb 50*, skriptum ČVUT, Praha 1995
[3] Bill Z., Žďára V.: *Zastřešení budov*, ČKAIT T6, vydal ČSSI, Praha 1998
[4] Hájek P.: *Konstrukce pozemních staveb – montované konstrukční systémy*, skriptum ČVUT, Praha 1988
[5] Orton A.: *The way we build now*, E&FN SPON, 1991
[6] Rojík V., Bill Z., Brabec V.: *Konstrukce vícepodlažních a halových budov*, skriptum ČVUT, Praha 1992

DILATAČNÍ SPÁRY V NOSNÝCH KONSTRUKCÍCH

D

Expansion Joints in Load Bearing Structures
Dilatationsfugen in Tragkonstruktionen

D1 DŮVODY PRO ROZDĚLOVÁNÍ KONSTRUKCÍ DILATAČNÍMI SPÁRAMI	*Reasons for Dividing Structures by Expansion Joints*	*Gründe für Konstruktiontrennung durch Dilatationsfugen*
■ Účinky objemových změn	*Effects of Volume Changes*	*Wirkungen der Volumenänderungen*
■ Účinky nerovnoměrného sedání	*Effects of Differential Settlement*	*Wirkungen der unregelmässigen Setzungen*
■ Konstrukční a technologické důvody	*Structural and Technological Reasons*	*Konstruktive und technologische Gründe*
D2 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ DILATAČNÍCH SPÁR	*Principles of Expansion Joints Design*	*Konstruktive Prinzipien für Entwurf der Dilatationsfugen*
■ Dilatační spáry z důvodu objemových změn	*Expansion Joints for Volume Changes*	*Dilatationsfugen infolge Volumenänderungen*
■ Dilatační spáry z důvodu rozdílného sedání	*Expansion Joints for Differential Settlement*	*Dilatationsfugen infolge unregelmässiger Setzungen*
■ Zásady řešení dilatačních spár v nosné konstrukci budov	*Design Principles for Expansion Joints in Load-bearing Structures*	*Lösungsprinzipien der Dilatationsfugen in tragender Konstruktion*
■ Řešení dilatačních spár v navazujících nenosných konstrukcích	*Design of Expansion Joints in Non-load-bearing Structures*	*Entwurf der Dilatationsfugen in nichtragender Konstruktion*

Autor: Hájek P.

■■ Zavěšené sou'

Střešní nosníkové
táhlech kotvený
statě se jedná
způsobem ná
jiných tuhý
zavěšený
následu

'DĚLOVÁNÍ KONSTRUKCÍ AMI

D1

sion Joints
'atationsfugen

se rozděluje konstrukce budovy na jednotlivé části z důvodů
né části konstrukce do druhé tak, aby nebyly narušeny požadované
ní statické spolehlivosti, narušení vodotěsnosti, zhoršení akustických
ických kvalit aj.). Účinky mohou být různého charakteru:
ké – přenos zatížení v důsledku deformace konstrukce (především od objemových
nerovnoměrného sedání),
nky dynamické - přenos otřesů,
účinky akustické - přenos hluku,
- *účinky tepelně-technické* - přenos tepla a vlhkosti.

Kromě uvedených důvodů se rozdělují objekty a jejich části i z důvodů čistě *konstrukčních* (např. změna konstrukčního systému) nebo důvodů *technologických*.

Význačnou skupinu dělicích spár tvoří spáry pro eliminaci statických a dynamických účinků v nosných konstrukcích. Tyto spáry se souborně nazývají *spáry dilatační*, ačkoliv tento pojem přesně terminologicky odpovídá pouze jednomu ze statických účinků – vlivu objemových změn materiálů (pojem dilatace: z latinského roztahovat se).

Omezení přenosu tepla (problém tepelných mostů) prostřednictvím dělicích spár je detailně probrán a analyzován v kapitole G1 a způsoby řešení uvedeny v kapitole G2. Omezení přenosu hluku nosnou konstrukcí souvisí především s řešením konstrukce schodišť a je probírán v této partii.

Dilatačními spárami se rozděluje konstrukce budovy nebo její jednotlivé části na menší celky, tak aby se vyloučily poruchy v důsledku nadměrných nebo nerovnoměrných deformací konstrukcí. Dilatační spáry umožňují *pohyby částí konstrukce* a zabraňují tak samovolnému vzniku nepravidelných trhlin v místech, kde by mohly být znehodnoceny požadované funkce konstrukce. Jak již bylo uvedeno hlavní důvody k rozdělování konstrukcí dilatačními spárami jsou účinky statické a dynamické:

- *účinky objemových změn*
- *účinky nerovnoměrného sedání*
- *omezení přenosu dynamických účinků (otřesů)*
- *konstrukční a technologické důvody*

Každá dilatační spára vytvořená v nosné konstrukci z kteréhokoliv výše uvedených důvodů bude zároveň umožňovat dilatační pohyby konstrukce od *účinků objemových změn*. Proto je třeba kromě umožnění pohybů ve směru primárního účinku zajistit správnou dilatační funkci i pro objemové změny stýkajících se konstrukcí. (Z uvedeného důvodu je snad (?) opodstatněné všechny dělicí spáry pro eliminaci statických a dynamických účinků označovat tradičním zavedeným pojmem *dilatační spáry*).

Dilatační spáry je vhodné umísťovat do míst, kde jsou výhodné z hlediska statického působení konstrukce a kde nenarušují dispoziční a architektonické řešení objektu. Zpravidla každá dilatační spára představuje (i) velmi *nákladnou konstrukční úpravu* a zároveň představuje (ii) potenciální *nebezpečí poruchy* hydroizolační, tepelně technické nebo jiné funkce. Dilatačních spár proto navrhujeme *pouze nezbytně nutný počet*, ale přitom takový, který je schopen s dostatečnou spolehlivostí eliminovat nebezpečí poruch. Při podrobné analýze problému a při použití některých

nových technologií (např. umístění smršťovacích pruhů – viz dále) lze počet nutných dilatačních spár efektivně redukovat a tím snížit náklady na realizaci konstrukce a zároveň zvýšit její spolehlivost.

Pokud je v určité oblasti konstrukce potřeba navrhnout dilatační spáry z různých důvodů, je vhodné jejich funkci sdružit do *společné dilatační spáry*, umožňující pohyby ve všech požadovaných směrech. Počet dilatačních spár tak může být zásadně ovlivněn vhodným *koncepčním návrhem* již v počátečních stádiích architektonického a objemového řešení objektu. Vhodným koncepčním návrhem objektu lze podstatným způsobem ovlivnit (i) *celkové náklady* na realizaci objektu i (ii) *dlouhodobou funkční spolehlivost* konstrukce.

■ Účinky objemových změn

Vnější konstrukce jsou bezprostředně vystaveny cyklickým změnám vnějších teplot v čase, v průběhu dne a roku a změnám vlhkosti. Měnící se teplota, měnící se vlhkost, reologické změny aj. způsobují objemové změny konstrukčních prvků (změny rozměrů). Objemové změny konstrukčních materiálů a konstrukčních prvků mohou být způsobeny několika faktory:

- *teplotní objemové změny* (změny teplot vnějšího i vnitřního prostředí),
- *změny vlhkosti materiálů,*
- *reologické změny materiálů* (smršťování a dotvarování betonu aj.),
- *objemové změny v důsledku chemických změn materiálů.*

Objemové změny nevyvolávají na staticky určité konstrukci změnu stavu napjatosti a dochází pouze ke změnám rozměrů konstrukce ve všech směrech. V případě pevného upnutí prvku neumožňujícího volnou dilataci dochází ke vzniku napětí v konstrukčním materiálu, které může při překročení mezních hodnot napětí způsobit poruchy v konstrukci. Objemové změny mohou při zabudování prvku do konstrukce způsobovat:

- *porušení prvku tahovými trhlinami,*
- *porušení prvku v tlaku,*
- *rozpínavý účinek* na okolní konstrukce (při zvětšení objemu),
- *vznik a zvětšování spár* mezi prvkem a okolní konstrukcí (při zmenšení objemu).

■■ Objemové změny vlivem změn teplot

Každý materiál se změnou teploty mění svoje rozměry v důsledku teplotní dilatace (viz B3). V běžných případech lze velikost délkových změn (dilatace) prvků uvažovat jako lineárně závislou na teplotním součiniteli délkové roztažnosti použitého materiálu a na rozdílu teplot a stanoví se ze vztahu

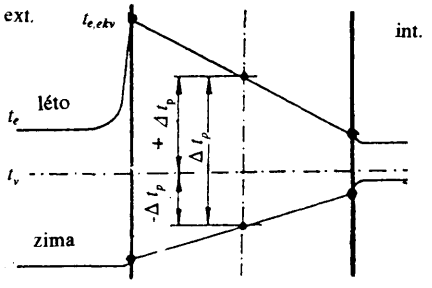
$$\Delta l = l \; \alpha \; \Delta t \quad ,$$

kde Δl - změna délky [m],
l - počáteční délka prvku [m],
α - teplotní součinitel délkové roztažnosti [K^{-1}],
Δt - rozdíl teplot [K].

Zatěžovací teplota (rozdíl teplot Δt) se stanoví jako rozdíl maximální nebo minimální teploty v posuzovaném místě a době a teploty, ve které byla konstrukce realizována (kdy došlo k tuhému spojení prvků).

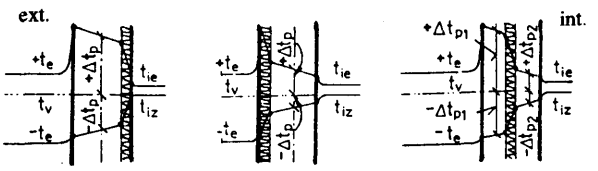
$$\Delta t = t_{max} - t_v \quad ,$$

kde t_v - výrobní teplota, tj. teplota během realizace konstrukce [K],
t_{max} - extrémní letní nebo zimní teplota, které může být prvek vystaven [K].



Průběh vnitřních teplot v obvodové konstrukci

Zatížení teplotními změnami je největší u konstrukcí orientovaných na jihozápad, jih a západ a menší při orientaci směrem k severu a severovýchodu. Pro účely stanovení extrémní velikosti objemových změn je třeba uvažovat maximální možné hodnoty teplot v letním období a minimální možné hodnoty teplot v zimním období v dané oblasti.



Vliv polohy tepelné izolace v obvodové konstrukci na velikost zatěžovací teploty

Velikost zatížení konstrukce teplotou závisí na teplotě vnějšího vzduchu, vlivu působení slunečního záření (s přímou a difúzní složkou) na povrch konstrukce a na proudění vzduchu. Teplotu na vnějším povrchu prvku lze zjednodušeně vyjádřit ekvivalentní sluneční teplotou $t_{e,ekv}$:

$$t_{e,ekv} = t_e + A_n I/\alpha_e - \varepsilon \Delta IR/\alpha_e \quad ,$$

kde $t_{e,ekv}$ je ekvivalentní sluneční teplota [K],
t_e - vnější teplota vzduchu [K],
A_n - součinitel pohltivosti slunečního záření povrchem konstrukce,
I - intenzita globálního slunečního záření - podle orientace ke světovým stranám [W.m^{-2}],
α_e - součinitel přestupu tepla z okolí na povrch konstrukce [W.m^{-2}.K^{-1}],
ε - emisivita povrchu,
ΔIR - dlouhovlnný zářivý tok povrchu o teplotě t_e do atmosféry [W.m^{-2}].

Třetí člen ve vzorci, snižující teplotu povrchu v důsledku jeho emisivity, má menší význam a v běžných podmínkách dosahuje hodnot do 4 K.

■■ Objemové změny vlivem změn vlhkosti

Vnější konstrukce jsou vystaveny působení atmosférické vlhkosti a přímému působení srážkové vody. V důsledku transportu vlhkosti do konstrukce dochází u porézních materiálů (mezi něž patří většina materiálů užívaných ve stavebnictví) k objemovým změnám a ke změnám mechanicko-fyzikálních vlastností. Změnami obsahu vody dochází k délkovým změnám obdobně jako je tomu u změn rozměrů v důsledku změn teplot. Velikost délkových změn (dilatace) prvků je závislá na vlhkostním součiniteli délkové roztažnosti použitého materiálu a na rozdílu vlhkostí a v běžných případech ji lze stanovit ze vztahu

$$\Delta l = l \ \alpha_u \ \Delta u \quad ,$$

kde Δl - změna délky [m],
l - počáteční délka prvku [m],
α_u - vlhkostní součinitel délkové roztažnosti [1],
Δu - rozdíl vlhkostí [1].

Zatěžovací vlhkost (rozdíl vlhkostí Δu) se stanoví jako rozdíl maximální nebo minimální vlhkosti v posuzovaném místě a době a vlhkosti, ve které byla konstrukce realizována.

$$\Delta u = u_{max} - u_v \quad ,$$

kde u_v - hmotnostní vlhkost v době zabudování prvku do konstrukce [1],
u_{max} - extrémní hmotnostní vlhkost prvku [1].

Vliv vlhkosti je významný především u dřevěných konstrukcí, u kterých dochází k výrazným objemovým změnám (bobtnání) a v důsledku zvýšené vlhkosti k nebezpečné mikrobiální korozi (napadení dřevokaznými škůdci).

Pro omezení negativních vlivů vlhkosti je důležité provedení vhodných povrchových úprav (hydroizolačních vrstev a izolačních nátěrů) zamezujících vnikání vlhkosti do konstrukce.

■■ Reologické změny materiálů

Materiály, které procházejí procesem tuhnutí a tvrdnutí mění v důsledku fyzikálně-chemických změn materiálu a v důsledku změn obsahu vody svůj objem. Tento jev je typický pro proces tuhnutí a tvrdnutí betonu, kdy dochází ke *smršťování* a *dotvarování* v závislosti na čase. Smršťování a dotvarování jsou typickými příklady *reologických změn materiálů*.

- *smršťování* – dochází k objemových změnám bez působení zatížení v důsledku vysychání vody ze struktury tuhnoucího a tvrdnoucího betonu; velikost smrštění je závislá na řadě faktorů: složení betonové směsi, zpracování, rozměrech prvků, vyztužení prvků aj.,
- *dotvarování* – dochází k objemovým změnám jejichž velikost je závislá na velikosti a délce působení zatížení; velikost dotvarování závisí opět na řadě faktorů: složení betonové směsi, zpracování, rozměry prvků, vyztužení prvků a především doba a intenzita působícího zatížení.

Stejně jako u teplotních a vlhkostních objemových změn nedochází u staticky určitých konstrukcí ke vzniku napětí od smršťování nebo dotvarování. Vzájemným spojením betonových prvků v konstrukční celek však dochází k omezení volné (přirozené) deformace prvků a v konstrukci vznikají napětí, která mohou při překročení mezních hodnot způsobit porušení prvků (viz také C1). Z hlediska reologických vlastností je důležité v jakém stáří jsou jednotlivé prvky do konstrukce zabudovány a vzájemně spojeny. Vhodnou volbou stáří jednotlivých prvků lze negativní účinek reologických změn redukovat (stejné stáří prefabrikovaných prvků, omezení kombinace prvků s podstatně rozdílným stářím aj.).

U monolitických konstrukcí však lze obtížněji omezit velikost reologických změn. Možným řešením je navrhnout během betonáže tzv. *smršťovací pruhy*, ve kterých betonáž probíhá později až po určité míře ztuhnutí (a tím i smrštění, případně dotvarování) okolních částí konstrukce. Napětí a vznik trhlin od reologických přetvoření lze tímto způsobem výrazně redukovat. Problémem je zajištění dokonalého zmonolitnění konstrukce v pracovní spáře. Uvedeného způsobu omezení vlivu reologických účinků se používá především u velkoplošných betonových podlah, ale i u rozsáhlých železobetonových nosných konstrukcí, u kterých je snaha omezit počet dilatačních spár.

■■ Objemové změny v důsledku chemických změn materiálů

V důsledku působení vnějšího prostředí může docházet k chemickým změnám především v povrchových vrstvách konstrukčních prvků. Typickým jevem je koroze materiálů, při které dochází k chemické reakci a vzniku nových látek – korozních produktů, které mají často jiný objem než původní materiál (viz B3). Důsledkem chemických reakcí je změna objemu prvku se všemi negativními důsledky na vlastní prvek o okolní konstrukce.

■ Účinky nerovnoměrného sedání

Zatížení od konstrukce objektu způsobuje deformaci podložních vrstev pod základovou konstrukcí. V důsledku toho dochází k sedání objektu. Sedání je závislé na čase – zpočátku je rychlejší a postupně se rychlost zmenšuje.

Rovnoměrné sedání objektu nevyvolává v konstrukci žádná přídatná namáhání. V praxi však často dochází k nerovnoměrnému sedání částí objektu a tím mohou v konstrukci vznikat značná namáhání. Aby se předešlo vzniku poruch od nerovnoměrného sedání, rozděluje se konstrukce spárami na samostatně sedající části. Nerovnoměrné sedání částí objektu může být způsobeno různými vlivy:

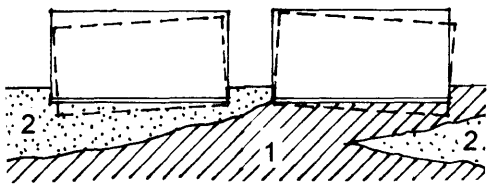
- *nepravidelnosti podloží objektu,*
- *rozdílné zatížení v základové spáře,*
- *různý způsob založení částí objektu,*
- *časový odstup mezi realizacemi různých částí objektu.*

■■ Nepravidelnosti podloží objektu

Velikost sedání je zásadním způsobem ovlivněna typem základové půdy a uložením podložních vrstev pod objektem. Typické nepravidelnosti způsobující rozdílné sedání jsou:

- nepravidelné a šikmé uložení vrstev s rozdílnou stlačitelností,
- různá úroveň hladiny podzemní vody,
- poddolované území,
- dodatečné změny v podloží a v úrovni hladiny podzemní vody.

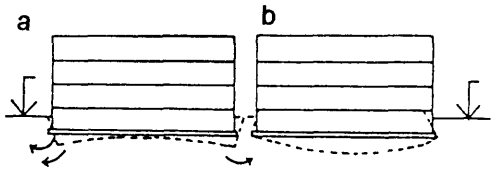
Vliv na charakter deformace stavby má druh základové půdy a způsob uložení podložních vrstev. Různé vrstvy v podloží objektu mají v důsledku složení různou stlačitelnost.



Nepravidelnosti v základovém podloží objektu a jeho deformace
1 – únosná zemina, 2 – méně únosná zemina

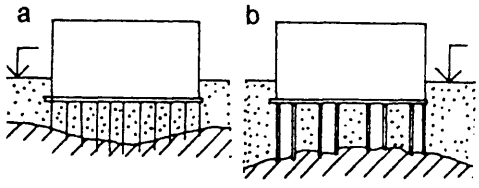
V případech velmi nepravidelných základových poměrů (mění-li se výrazně mocnost vrstev s různou únosností), je vhodné založit objekt na hlubinných základech (pilotách, studních nebo šachtových pilířích).

V některých případech lze vrstvu málo únosné zeminy odstranit a nahradit pískovým nebo štěrkopískovým polštářem. Jde o velmi nákladný způsob a proto ho lze použít pouze v případech, je-li mocnost málo únosné vrstvy zeminy malá a je přímo pod základovou spárou. Další možností je zvýšení únosnosti podložní vrstvy injektáží. Tohoto způsobu se často používá u rekonstrukcí budov.

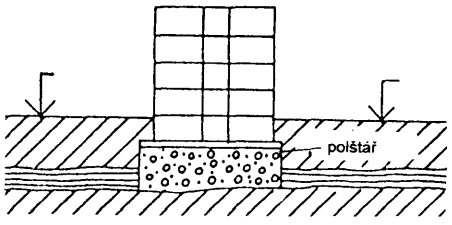


Charakter deformace objektu při založení na
a – nesoudržných zeminách, b – soudržných zeminách

Značný vliv na velikost a průběh sedání má úroveň hladiny podzemní vody. V případě její změny může dojít k objemovým změnám v zeminách a k sednutí objektu. Výrazné objemové změny v důsledku změny vlhkosti vznikají především v zeminách soudržných (jílech a spraších). V důsledku dodatečných změn může dojít ke změnám úrovně hladiny podzemní vody (vliv sousední výstavby, dodatečné provedení kanalizace, regulace řeky, havárie vodovodu nebo kanalizace aj.) a k sedání částí objektu, který byl již po dlouhou dobu ve stabilizovaném klidovém stavu. Typickým příkladem byla a je výstavba systému metra, kdy veliké množství okolních objektů bylo narušeno především od dodatečného sednutí základové konstrukce.



Založení na hlubinných základech
a – piloty, b – základové studně



Založení na štěrkopískovém polštáři

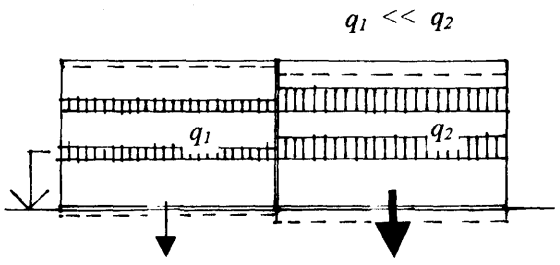
■■ Rozdílné napětí v základové spáře

Různé napětí v základové spáře plošných základů způsobuje rozdílné sedání. Může být způsobeno především následujícími vlivy:

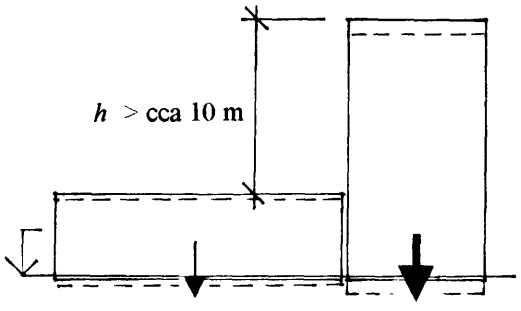
- různá výška částí objektu,
- různé užitné zatížení v částech objektu,
- nevhodný návrh plochy jednotlivých plošných základů.

U staveb s rozdílným zatížením základové půdy je třeba na základě výpočtu sedání rozhodnout o vhodnosti umístění dělicí dilatační spáry. V případě rozdílných výšek částí objektu lze orientačně předpokládat, že při rozdílu výšek větším než cca 10 m (3 podlaží) je třeba provést oddělení dilatační spárou. Toto kritérium je však pouze orientační a nelze ho dogmaticky uplatňovat (Příklad: dilatační spárou pravděpodobně oddělíme 3 m vysoký objekt od objektu 12 m vysokého a naopak dilatační spáru jistě nebudeme uvažovat mezi částmi objektu o výškách 60 a 75 m.)

Rozdílné užitné zatížení částí objektu bude především v případě navazujících různých provozů – administrativní část navazuje na výrobní halu, vícepodlažní sklad knih navazuje na prostory čítáren apod. Při kombinacích rozdílných provozů je vhodné uvažovat i o řešení dilatační spáry z hlediska omezení přenosu otřesů a hluku.



Rozdílné užitné zatížení v různých částech objektu



Rozdílná výška částí objektu

šipky znázorňují směr a velikost sedání

■■ Různý způsob založení částí objektu

Je-li část objektu založena na plošných základech a část na základech hlubinných je třeba na základě výpočtu sedání rozhodnout o oddělení konstrukcí dilatační spárou. Naopak lze založení celého objektu na hlubinných základech využít pro eliminaci sedání od rozdílného zatížení základové konstrukce. Tímto způsobem lze založit objekt s výrazně odlišnými výškami nebo různými užitnými zatíženími a neprovádět dilatační spáru z hlediska rozdílného sedání. Nákladnější způsob založení může být celkově výhodnější než náklady spojené s realizací dilatační spáry.

■■ Časový odstup mezi realizací různých částí objektu

Navazuje-li nová výstavba na objekt, u kterého již proběhla větší část sednutí, je třeba provést dilatační spáru a to i v případě, že základové poměry jsou shodné, stejný je způsob založení a zatížení podloží od objektu je obdobné. Jde o komplikovanější konstrukční úlohu, při které je třeba zvážit celkový časový průběh sedání i s ohledem na nebezpečí ovlivnění již stávajícího objektu. V těchto případech se proto častěji volí hlubinné založení ovlivňující v minimální míře horní vrstvy a omezující velikost sedání na minimum.

■ Konstrukční a technologické důvody

Při styku různých konstrukčních systémů (např. železobetonový sloupový systém a ocelová nebo dřevěná konstrukce aj.) vzniká zpravidla v nosné konstrukci spára, která přirozeně působí jako spára dilatační, eliminující objemové změny konstrukce (a to i v případech, kdy by z hlediska statických požadavků nebyla dilatační spára v uvedeném místě nutně potřebná). Aby nedocházelo k porušení kompletačních konstrukcí, musí být dilatační spára přiznána v celém průřezu konstrukce – v obvodovém a střešním plášti, v podlahách, v příčkách aj.

Různý konstrukční systém nebo různá technologie mohou vést i k rozdílnému řešení základové konstrukce. Potom je třeba řešit i otázku rozdílného sedání částí objektu – viz D1 – Účinky nerovnoměrného sedání.

KONSTRUKČNÍ ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ DILATAČNÍCH SPÁR

D2

Principles of Expansion Joints Design
Konstruktive Prinzipen für Entwurf der Dilatationsfugen

■ Dilatační spáry z důvodu objemových změn

Dilatační spára pro eliminaci účinků objemových změn musí umožňovat volné roztažení konstrukčních částí v příslušném směru. Nejčastěji jde o umožnění horizontálních deformací vznikajících v důsledku teplotních objemových změn.

Dilatační spára musí probíhat celou konstrukcí včetně všech navazujících kompletačních konstrukcí (stropy, podlahy, obvodový plášť, střešní plášť, příčky aj.) s výjimkou základů.

Základové konstrukce, které jsou vystaveny jen minimálním tepelným rozdílům, se v případě spár pro eliminaci objemových změn nerozdělují dilatační spárou. Naopak se základ v místě ukončení dilatační spáry vyztuží, aby nemohlo dojít k nežádoucímu nerovnoměrnému sedání, případně k tahovému porušení základu od cyklických dilatačních pohybů.

Dilatačními spárami se objekt rozdělí na menší konstrukční celky, které z hlediska statického působí zpravidla nezávisle a musí mít samostatně zajištěnou prostorovou tuhost. S využitím speciálních dilatačních prvků přenášejících smykové síly a zároveň umožňující pohyb v druhém směru lze zajistit přenášení horizontálních deformací mezi jednotlivými oddilatovanými částmi objektu (viz dále).

Šířka dilatační spáry musí zajišťovat volný pohyb obou částí budovy i při maximálních teplotách. Pro výpočet šířky dilatační spáry je třeba stanovit zatěžovací teplotu (rozdíl mezi maximální teplotou a teplotou výrobní). V závislosti na stupni požárního rizika a úrovni požární ochrany se uvažuje zatěžovací teplota pro stanovení šířky dilatační spáry z předpokládané teploty konstrukce při požáru. Šířky dilatačních spár se navrhují v běžných případech 10 – 30 mm.

Vhodné konstrukční řešení dilatačních spár v nosné konstrukci z hlediska účinků objemových změn:

- *zdvojení nosných konstrukcí,*
- *jednostranné kluzné uložení* (včetně speciálních dilatačních prvků přenášejících smykové síly),
- *vykonzolování stropní konstrukce,*
- *vložené pole s kluzným uložením.*

Maximální velikosti dilatačních celků se určí statickým výpočtem (výpočet na účinky vynucených přetvoření od teploty a smršťování). Od výpočtu lze upustit jsou-li velikosti dilatačních celků voleny tak, že splňují doporučené maximální hodnoty uvedené v normách pro návrh nosných konstrukcí betonových, ocelových a zděných.

■■ Betonové konstrukce

Evropská norma ČSN P ENV 1992-1-1 předepisuje pro případ, že není doložena statickým výpočtem jiná hodnota, maximální délku dilatačního celku 30 m. Národní aplikační dokument NAD ve stejné normě uvádí pro ČR možnost využití Přílohy 6 v ČSN 73 1201, kde jsou uvedeny hodnoty

maximálních délek dilatačních celků v závislosti na charakteru konstrukce a expozici vzhledem k vnějším vlivům teplotních změn.

Maximální délky dilatačních celků podle ČSN 73 1201 resp. NAD ČSN P ENV 1992-1-1

Druh konstrukce		Maximální délka dilatačního celku v (m)			
		monolitická konstrukce		montovaná konstrukce	
		chráněná	nechráněná	chráněná	nechráněná
Skeletová konstrukce se ztužujícími prvky	uprostřed dilatačního celku nebo bez ztužujících prvků	54	36	60	42
	na jednom konci dilatačního celku	42	27	45	30
	na obou koncích dilatačního celku	33	21	36	27
Stěnová konstrukce s nosnými obvodovými stěnami	třívrstvými nebo dvouvrstvými	51	33	54	36
	jednovrstvými z lehkých betonů, samonosnými nebo nosnými	-	39	-	45

Z tabulky je zřejmý vliv ztužení nosné konstrukce na velikost dilatačního celku. Ztužujícím prvkem může být např. samostatná betonová stěna, stěna schodiště popř. výtahové šachty. Předpokládá se, že ztužující prvek brání volné dilataci pouze v rovině střednicové plochy stěny, která jej tvoří. V případě umístění ztužujícího prvku v mezilehlé poloze (mimo střed nebo kraj) nebo při větším počtu ztužujících prvků se velikost dilatačního celku stanoví výpočtem podle ČSN 73 1201 s omezením, že výsledná velikost dilatačního celku nesmí být větší než hodnota uvedená v prvním řádku tabulky.

U stěnových konstrukcí lze ve směru, v němž nejsou umístěny nosné stěny zvětšit maximální délky dilatačních celků podle 4 řádku tabulky o délku krajních polí.

Maximální délky dilatačních celků konstrukcí z prostého a slabě vyztuženého betonu podle ČSN 73 1201 resp. NAD ČSN P ENV 1992-1-1

Druh nosné konstrukce		Maximální délky dilatačních celků v (m) při konstrukci	
		chráněné	nechráněné
Monolitická konstrukce	bez pomocné výztuže	24	12
	s pomocnou výztuží	30	24
Montovaná konstrukce		42	30

Doporučené maximální délky dilatačních úseků předsazených konstrukcí podle ČSN 73 1201

Druh nenosné betonové konstrukce	Ochrana tepelnou izolací	Max. délka úseku (m)
Římsy z prostého monolitického betonu	nechráněné	3
Římsy, pavlače, balkony, lodžie, markýzy z monolitického železobetonu	nechráněné	6
Římsy, pavlače, balkony, lodžie, markýzy z prefabrikovaného železobetonu	nechráněné	12
Monolitické betonové podlahy balkonů, pavlačí a lodžií uložené na zdivu	nechráněné	6
	chráněné	9
Monolitické betonové podlahy balkonů, pavlačí a lodžií uložené na betonu	nechráněné	9
	chráněné	18

■■ Zděné konstrukce

V Národním aplikačním dokumentu NAD ČSN P ENV 1996-1-1 jsou uvedeny největší přípustné vodorovné vzdálenosti mezi dilatačními spárami v budovách s jednovrstvými zděnými stěnami. Pokud zděná konstrukce souvisí s konstrukcí z jiného materiálu (např. s železobetonovým stropem), pro který jsou stanoveny jiné maximální velikosti dilatačních celků, platí vždy hodnoty nižší.

Největší přípustné vzdálenosti v (m) mezi dilatačními spárami v budovách s jednovrstvými zděnými stěnami podle NAD ČSN P ENV 1996-1-1

Jednovrstvé zděné stěny	*Maximální délka dilatačního celku v (m) pro zdivo na maltu s pevností v tlaku v N/mm²*		
	15; 10; 5	*2,5; 1,0*	*0,4*
z pálených zdicích prvků, vápenopískových cihel, kamenných kvádrů	***40***	***50***	***75***
z pórobetonových tvárnic	-	***25***	***30***

Největší přípustné velikosti dilatačních celků pro zděné stěny z betonových tvárnic jsou závislé na velikosti a časovém průběhu smršťování betonu tvárnic.

Největší přípustné vodorovné vzdálenosti mezi dilatačními spárami ve vnější vrstvě vrstvených stěn, v přizdívkách aj. se určí s ohledem (i) na vlastnosti použitého druhu zdiva, (ii) na způsob spojení vnější vrstvy s vnitřní nosnou konstrukcí a (iii) s ohledem na orientaci vrstvy ke světovým stranám. Nejsou-li k dispozici přesnější experimentální výsledky, jsou maximální vzdálenosti dilatačních spár ve vnějších vrstvách podle orientace: *sever – 12 m, východ – 10 m , jih – 9 m a západ – 8 m.*

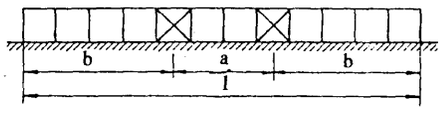
■■ Ocelové konstrukce

Ocelové konstrukce jsou vzhledem k tuhosti prvků a způsobu jejich stykování podstatně méně náchylné na vliv teplotních změn v porovnání s konstrukcemi betonovými a zděnými. Současná norma ČSN P ENV 1993-1-1 nepředepisuje maximální délky dilatačních celků a předpokládá, že případné účinky teploty budou řešeny výpočtem. Stávající česká norma ČSN 73 1401 z roku 1998 stanovuje maximální délky dilatačních celků – viz tabulka:

Maximální délky dilatačních celků ocelových konstrukcí podle ČSN 73 1401

Druh konstrukce		*Vzdálenost v (m)*		
		a	*b*	*l*
Chráněná	*ve vytápěné budově*	***50***	***90***	***230***
	v nevytápěné budově a v teplých provozech	***50***	***75***	***200***
Nechráněná (venkovní)		***30***	***50***	***130***

V tabulce je *a* – osová vzdálenost vnitřních ztužidel, *b* – vzdálenost ztužidla od kraje konstrukce a *l* – celková délka dilatačního celku. Tabulku lze použít i v příčném směru. Vzdálenost *a* v tomto případě značí šířku staticky neurčité části příčné vazby.



■ Dilatační spáry z důvodu rozdílného sedání

Dilatační spára pro eliminaci účinků rozdílného sedání musí umožňovat nezávislé sedání obou částí budovy. Konstrukční řešení spáry i její výplň musí umožňovat vertikální posuny. Vzhledem k rozdělení objektu průběžnou spárou, musí spára zároveň umožňovat i dilatační pohyby oddělených částí konstrukce od objemových změn. Proto spára musí umožňovat i horizontální pohyby.

Dilatační spára musí probíhat celou konstrukcí včetně všech navazujících kompletačních konstrukcí (stropy, podlahy, obvodový plášť, střešní plášť, příčky aj.) včetně základů.

Základové konstrukce, musí být navrženy tak, aby nemohlo docházet k ovlivňování tlakových zón v podloží plošných základů. Vhodným řešením je *oddálení* základových konstrukcí oddilatovaných objektů. Orientačně lze uvažovat jako minimální požadavek oddálení na vzdálenost šířky sousedících plošných základů. Takové řešení základové konstrukce vyžaduje i konstrukční řešení nosné

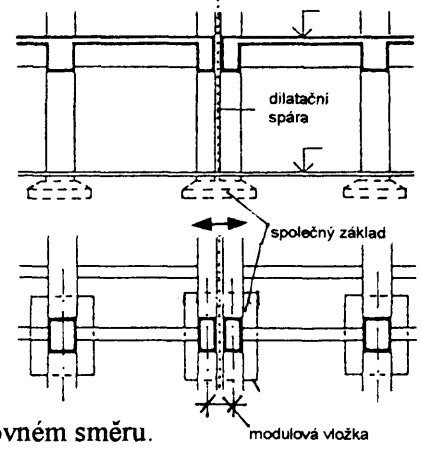
konstrukce objektu s oddálenými svislými nosnými konstrukcemi. Toho lze dosáhnout vykonzolováním stropních konstrukcí, realizací vloženého pole aj.

Vhodné konstrukční řešení dilatačních spár v nosné konstrukci z hlediska rozdílného sedání:

- *jednostranné nebo oboustranné vykonzolování stropní konstrukce,*
- *vložené pole,*
- *prostřídání modulace sloupové nosné konstrukce a patkových základů oddělených částí* (zpravidla v kombinaci s vykonzolováním stropu).

■ Zásady řešení dilatačních spár v nosné konstrukci budov

■■ Zdvojené konstrukce

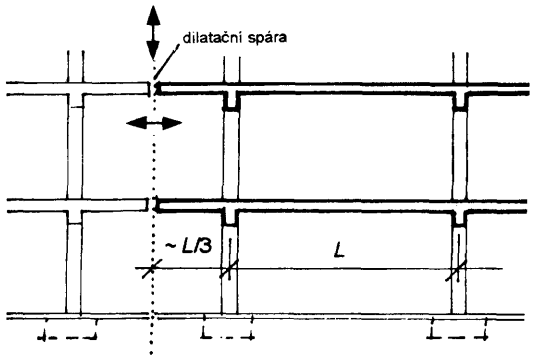


Dilatační spára vzniká mezi zdvojenými konstrukcemi tj. zdvojenými sloupy a průvlaky (event. ztužidly nebo vazníky) u sloupových systémů a zdvojenými štítovými stěnami u stěnových systémů. *Základová konstrukce je společná* (společná patka, pás nebo základová deska). Z uvedeného důvodu je uvedené konstrukční řešení vhodné pouze pro eliminaci účinků objemových změn.

Pohyb v dil. spáře: - rozšiřování nebo zužování spáry ve vodorovném směru.
Výhody:
- jednoduché a méně nákladné konstrukční řešení,
- jednoduché řešení společné základové konstrukce,
- vhodné pro stěnové i sloupové systémy.

Nevýhody:
- možné použít pouze pro objemové změny,
- vzniká narušení modulace systému o modulovou vložku velikosti osové vzdálenosti svislých konstrukcí (viz obr. v kap. B4).

■■ Vykonzolování stropní konstrukce

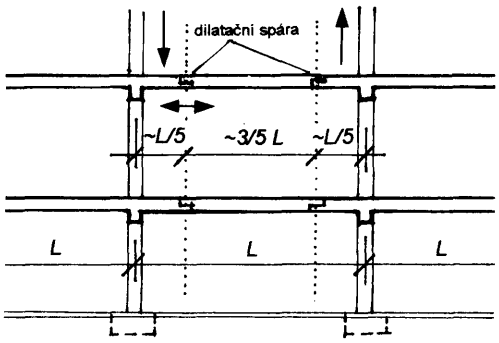


Vykonzolováním stropní konstrukce se dosáhne potřebného oddálení základů, tak aby bylo umožněno nezávislé a nestejné sedání oddělených částí. V případě potřeby většího oddálení lze využít *oboustranného vykonzolování* (tzn. vykonzolování stropů u obou částí). Velikost vyložení konzoly je optimálně 1/3 přilehlého rozponu stropu. Konstrukční řešení je vhodné pro nerovnoměrné sedání, ale zároveň eliminuje i účinky objemových změn.

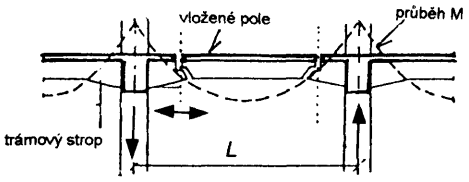
Pohyb v dil. spáře: - svislý i vodorovný pohyb ve spáře,
Výhody:
- jednoduché a méně nákladné konstrukční řešení,
- jednoduché řešení základové konstrukce,
- vhodné pro nerovnoměrné sedání i objemové změny.

Nevýhody:
- v místě spáry vzniká rozdíl výškových úrovní v důsledku různého sedání → problémy provozního napojení,
- zpravidla vzniká narušení modulace systému o modulovou vložku.

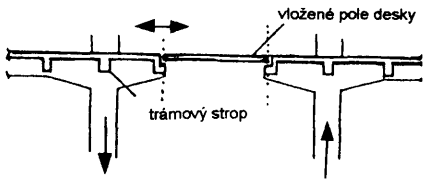
■■ Vložené pole



Vložené pole je tvořeno na obou stranách kloubově uloženou deskou, panely, trámy nebo průvlaky. Vznikají tak dvě dilatační spáry, ve kterých dochází k natočení krajů vloženého pole (při nerovnoměrném sedání), případně k vodorovnému posunu od objemových změn. Vložené pole je *vhodné především pro nerovnoměrné sedání*, ale zároveň eliminuje i účinky objemových změn.



Je vhodné aby návrh umístění dilatačních spár respektoval průběh ohybových momentů v běžném poli stropní konstrukce. U spojité desky nebo trámu vychází nulový ohybový moment přibližně v 1/5 rozpětí. Při umístění spár (kloubových styků) do těchto míst, lze dosáhnout obdobného namáhání konstrukce v dilatačním poli jako v běžném poli a tím zachovat modulaci systému při současných shodných dimenzích stropních prvků.



Vložené pole lze u prefabrikovaných sloupových systémů vytvořit úpravou uložení stropních panelů na průvlaky.

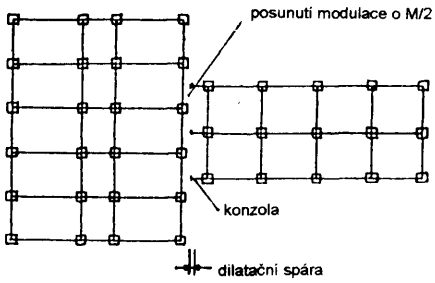
Vzhledem k tomu, že vložené pole zároveň působí i pro eliminaci objemových změn, musí alespoň jedna spára umožňovat i horizontální posun prostřednictvím kluzného uložení.

Pohyb v dil. spáře: - natočení v obou spárách a vodorovný posun alespoň v jedné spáře,

Výhody:
- v místě spáry nevzniká rozdíl výškových úrovní (pouze mírné natočení),
- lze zachovat modulaci systému,
- základové konstrukce jsou zpravidla dostatečně daleko od sebe,
- vhodné <u>především pro nerovnoměrné sedání</u>; využití pro objemové změny je efektivní pouze v kombinaci s nerovnoměrným sedáním.

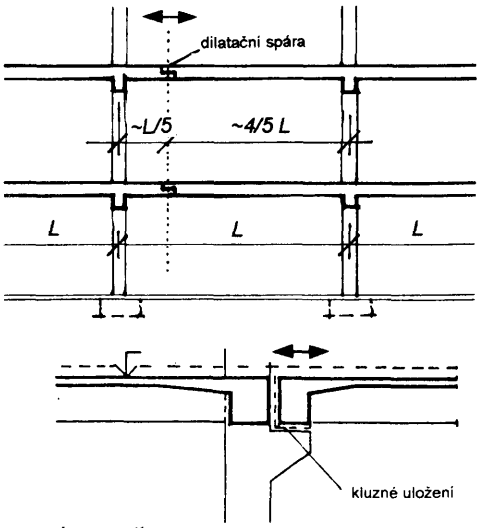
Nevýhody:
- <u>dvě dilatační spáry</u> (větší náklady a riziko poruch),
- složitější a nákladnější řešení kompletačních konstrukcí.

■■ Posun hlavních modulových sítí oddilatovaných částí objektu



Využívá se pro oddělení částí objektu *z hlediska rozdílného sedání*. V případech, kdy nelze nebo není výhodné zajistit dostatečnou vzdálenost plošných základů prostřednictvím vykonzolování nebo vloženým polem, lze využít *prostřídání hlavních modulových sítí* oddilatovaných částí objektu. Touto konstrukční úpravou lze zajistit podmínku dostatečné vzdálenosti základů, při relativně malém vyložení konzol. Uvedenou úpravu lze použít pouze v kombinaci s vykonzolováním nebo s dilatací prostřednictvím vloženého pole.

■■ Jednostranné kluzné uložení



Konstrukční řešení dilatační spáry umožňuje horizontální posun, přičemž je zajištěno podepření jedné části konstrukce druhou (ozubem, konzolou aj.) – resp. je zajištěno přenášení smykových sil (speciálními dilatačními prvky – viz dále). Při vhodném umístění dilatační spáry (např. do míst minimálních ohybových momentů jako v případě vloženého pole) lze dosáhnout zachování modulace nosného systému. Konstrukční řešení je vhodné pro eliminaci účinků objemových změn. Kluzná spára musí mít dostatečně malý odpor ve smykovém tření (ocelové plechy, pryžová ložiska, ocelová valivá ložiska aj.).

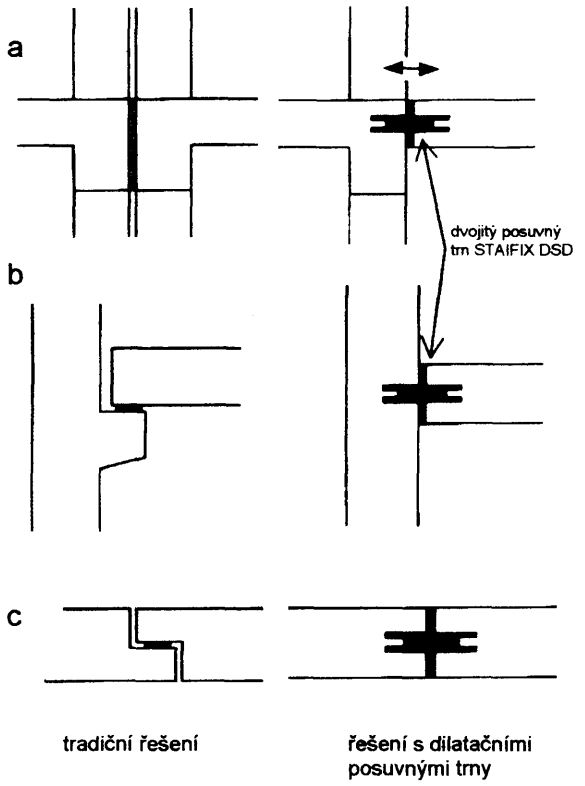
Pohyb v dil. spáře: - rozšiřování nebo zužování spáry ve vodorovném směru.

Výhody:
- jednoduché a méně nákladné konstrukční řešení,
- možnost zachování modulace systému.
- jednoduché řešení základové konstrukce,
- vhodné pro stěnové i sloupové systémy.

Nevýhody:
- možné použít pouze pro objemové změny,
- náročnější úprava spáry zajišťující kluznou podporu.

Jednostranné kluzné uložení s využitím speciálních dilatačních prvků

V současnosti lze pro konstrukční řešení objemových dilatačních spár v železobetonových konstrukcích využít speciálních kovových prvků, umožňujících přenášení smykových sil a zároveň zajišťujících horizontální posuny v dilatační spáře. Pomocí dilatačních prvků lze nahradit tradiční způsoby řešení dilatačních spár tvarově a technologicky jednodušším řešením. Prvky umožňují nahradit (a) zdvojenou konstrukci, (b) tvarově komplikované konzolky s kluznými ložisky nebo (c) kluzné úložné ozuby. Dilatační prvky zajišťují vzhledem ke konstrukčnímu provedení (ocelové trny v grafitovém pouzdru) malé kluzné tření a umožňují tak snadný dilatační pohyb i při přenosu velkých smykových sil ve styku.

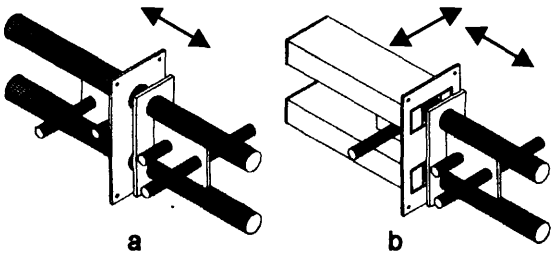


Nové typy dvojitých posuvných trnů (např. Schöck STAIFIX DSD) mají (i) *dlouhou životnost* (jsou vyrobeny z vysoce . legované oceli), mají vzhledem ke speciálnímu těsnění (ii) *vysokou požární odolnost* a lze je použít i pro (iii) *extrémně velké smykové síly*. Vzhledem k dvojici trnů je omezen páčící účinek na betonovou konstrukci.

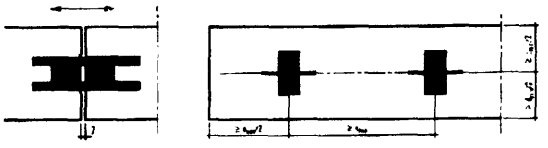
Některé dilatační prvky umožňují dilatační pohyb ve směru trnů (a) některé typy kromě toho umožňují i podélný dilatační pohyb ve směru dilatační spáry (b).

Dilatační posuvné trny se osazují do železobetonové konstrukce v minimálních vzdálenostech e_{min} od 0,42 m do 1,75 m v závislosti na typu trnu a posouvající síle. Minimální tloušťka desky rozdělené dilatační spárou d_{min} je 160 mm a pro největší typy trnů se pohybuje až do 650 mm.

Únosnost trnů ve smyku je závislá na největší možné šířce dilatační spáry *z*. Šířka ponechané dilatační spáry se běžně uvažuje 20 – 60 mm.



Dvojité posuvné trny
a – typ STAIFIX DSD – umožněn pohyb kolmo na směr dilatační spáry,
b – typ STAIFIX DSDQ – umožněn pohyb kolmo na směr dilatační spáry i pohyb ve směru dilatační spáry



Osazení dilatačních posuvných trnů

Kromě dvojitých trnů se vyrábějí i jednoduché (jednostřižné) trny, které se používají pro konstrukční spojení a v případech méně namáhaných styků (např. zabránění vertikálních posunů v rozdilatované základové desce).

■ Řešení dilatačních spár v navazujících nenosných konstrukcích

Dilatační spáry navržené v nosné konstrukci musí probíhat všemi navazujícími nenosnými konstrukcemi – příčkami, podlahami, obvodovým pláštěm, střešním pláštěm aj. Řešení dilatačních spár v těchto konstrukcích musí zajišťovat splnění všech požadavků kladených na uvedené konstrukce. V obvodových vnějších konstrukcích je třeba zajistit především hydroizolační, akustickou a tepelně-technickou funkci, u vnitřních příček je hlavní zajištění akustické funkce, u podlah hydroizolační a akustické funkce. Zároveň je třeba pro konkrétní případ dilatační spáry zvolit vhodný dilatační kryt i z hlediska estetického.

V současné době existuje veliké množství materiálů pro výplně dilatačních spár - těsnících tmelů, těsnících profilů a krycích lišt umožňujících návrh kvalitně fungujících a zároveň esteticky nenarušujících dilatačních spár.

Literatura a normy k bloku D

[1] Voldřich F.: *Dilatační spáry v pozemních stavbách*, SNTL, Praha 1976
[2] Půbal Z., Bill Z.: *KPS I*, skriptum ČVUT, Praha 1986
[3] *Schöck Dornsysteme*, typový podklad, 1999
[4] *ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí*, 1994
[5] *ČSN P ENV 1996-1-1 Navrhování zděných konstrukcí*, 1996
[6] *ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí*, 1998
[7] *ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí*, 1986
[8] Firemní podklady a prospekty výrobců

SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

E

Vertical Load-bearing Structure Elements
Vertikale tragende Konstruktionen

E1 FUNKCE A POŽADAVKY	*Functions and Requirements*	*Funktion und Anforderungen*
E2 TECHNOLOGICKÉ VARIANTY - PRINCIPY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	*Technological Variants - Design Principles*	*Technologische Varianten - Prinzipien der Lösung*
■ Zděné konstrukce	*Masonry Structures*	*Mauerwerkskonstruktionen*
■ Vyztužené a předepnuté zděné konstrukce	*Reinforced and Prestressed Masonry*	*Bewehrtes und vorgespanntes Mauerwerk*
■ Monolitické konstrukce	*Monolithic Structures*	*Konstruktionen aus Ortbeton*
■ Prefabrikované konstrukce	*Precast Structures*	*Vorfabrizierte Konstruktionen*
■ Ztužující věnce a kleštiny	*Cornices and Ties*	*Ringanker und Zangen*
E3 NOSNÉ STĚNY	*Load-bearing Walls*	*Tragende Wände*
■ Kamenné stěny	*Stone Walls*	*Natursteinwände*
■ Dřevěné stěny	*Wooden Walls*	*Holzwände*
■ Stěny z cihlených materiálů	*Brick Walls*	*Ziegelsteinwände*
■ Stěny z tvárnic na bázi lehkých betonů	*Walls from Lightweight Concrete Blocks*	*Wände aus Leichtbetonsteinen*
■ Betonové stěny	*Concerete Walls*	*Betonwände*
■ Vrstvené konstrukce nosných obvodových stěn	*External Sandwich Walls*	*Mehrschichtige Aussenwände*
E4 SLOUPY A PILÍŘE	*Columns and Pillars*	*Stützen und Pfeiler*
■ Kamenné sloupy a pilíře	*Stone Columns and Pillars*	*Natursteinstützen und -Pfeiler*
■ Dřevěné sloupy	*Timber Columns*	*Holzstützen*
■ Cihelné sloupy a pilíře	*Brick Columns and Pillars*	*Ziegelsteinstützen und - Pfeiler*
■ Betonové sloupy	*Concrete Columns*	*Betonstützen*
■ Ocelové sloupy	*Steel Columns*	*Stahlstützen*
E5 OTVORY V NOSNÝCH STĚNÁCH	*Openings in Load-bearing Walls*	*Öffnungen in tragenden Wänden*
■ Kamenné překlady	*Stone Lintels*	*Natursteinstürze*
■ Cihelné překlady	*Brick Lintels*	*Ziegelsteinstürze*
■ Ocelové překlady	*Steel Lintels*	*Stahlstürze*
■ Keramické překlady	*Lintels from Ceramic Elements*	*Stürze aus keramischen Bauteilen*
■ Železobetonové překlady	*Reinforced Concrete Lintels*	*Stahlbetonstürze*
■ Překlady z lehkých betonů	*Lintels from Lightweight Concrete*	*Leichtbetonstürze*

Autor: Gattermayerová H.

FUNKCE A POŽADAVKY

Function and Requirements

Functionen und Anforderungen

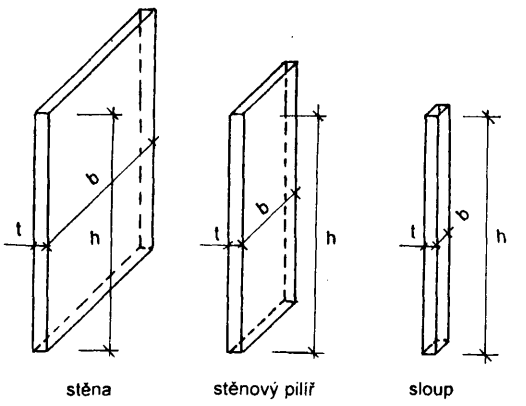
E1

Svislé nosné konstrukce spolu s konstrukcemi vodorovnými vytvářejí rozhodující část nosného konstrukčního systému (viz též kapitola C).

Tvarově rozdělujeme svislé nosné konstrukce na:

- *stěny* (plošné prvky s převládajícím délkovým a výškovým rozměrem nad tloušťkou - viz C1)
- *sloupy* (tyčové prvky s převažujícím výškovým rozměrem nad délkou a tloušťkou - viz C1)
- *pilíře* (masívnější sloupy)

Průřez stěn je zpravidla obdélníkový, sloupy a pilíře mohou mít průřezy i čtvercové, kruhové a jiné.

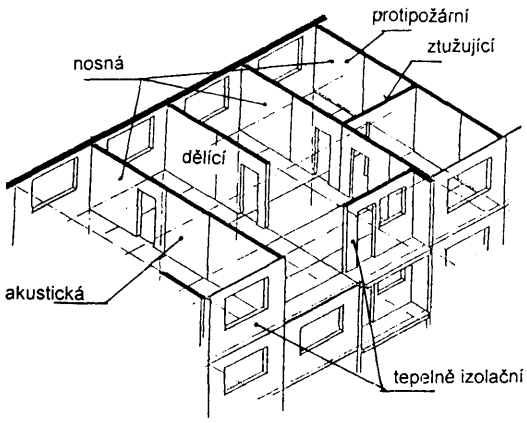


Primární funkce svislých konstrukcí je:

- *nosná a ztužující.*

Kromě toho mohou svislé konstrukce plnit i další funkce:

- *dělicí*
- *tepelně izolační*
- *akustické*
- *protipožární*

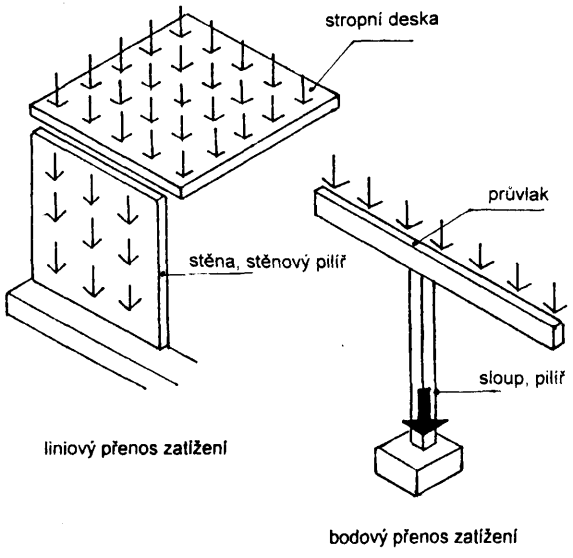


Nosná funkce

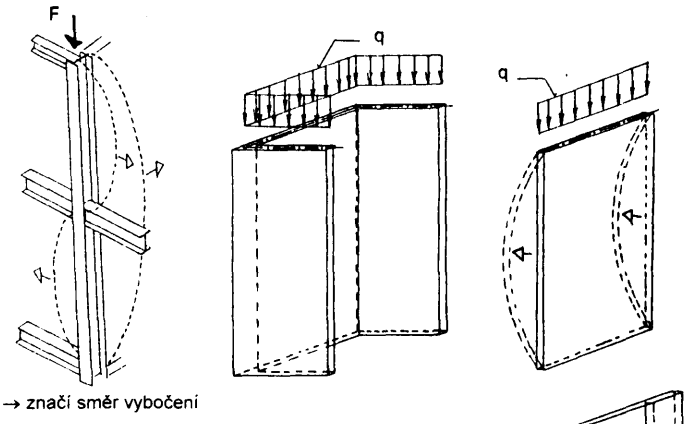
Svislé nosné konstrukce (stěny, sloupy, pilíře) přenášejí zatížení ze stropních konstrukcí, schodišť a střechy do základů.

Zatížení je přitom rozloženo buď liniově (stěny, stěnové pilíře) nebo je koncentrováno bodově (sloupy). Z hlediska působiště je vnější zatížení situováno dostředně (centricky) nebo mimostředně (excentricky). Konstrukce je přitom namáhána dostředným (mimostředným) tlakem.

U štíhlých vysokých prutů (stěn) je rozhodující namáhání vzpěrným tlakem. O způsobilosti konstrukce potom rozhoduje možnost jejího vybočení ve směru menší tuhosti průřezu (menšího momentu setrvačnosti). Z tohoto důvodu je vhodné pro tyčové prvky namáhané vzpěrným tlakem volit takové průřezy, jejichž tuhost je ve všech směrech přibližně stejná, nebo konstrukční

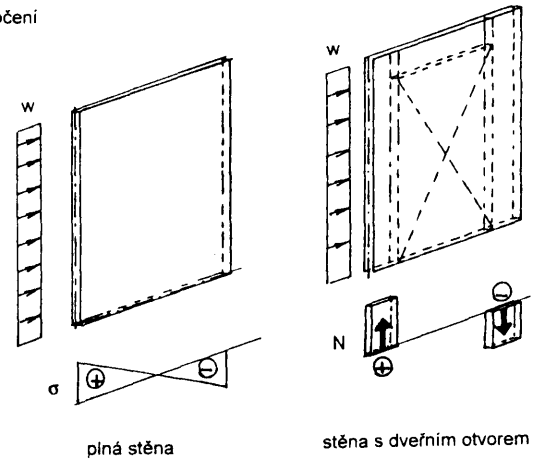


úpravou vybočení zabránit. Stěna nebo stěnový pilíř lépe odolávají účinkům vzpěru, jsou-li lomené nebo spojené s kolmo orientovanými prvky. Vybočení prvku závisí také na upevnění jeho konců. Teoretická délka střednice tlačeného prvku je při výpočtu zvětšena (zmenšena) součinitelem vyjadřujícím způsob upevnění.



Ztužující funkce

Svislé konstrukce, u kterých je jeden z půdorysných rozměrů výrazně větší než druhý rozměr (stěny a stěnové pilíře), jsou schopny ve směru delšího rozměru (většího momentu setrvačnosti průřezu) přenášet i zatížení vodorovná. Takový prvek, který má v určitém směru vysokou ohybovou a smykovou tuhost, v konstrukci plní i funkci ztužující. U tyčových prvků (sloupy), které ve směru působícího vodorovného zatížení mají ohybovou a smykovou tuhost malou, lze obdobného ztužujícího efektu dosáhnout jejich vzájemným spřažením pomocí ohybově a smykově tuhých průvlaků (rámový účinek).

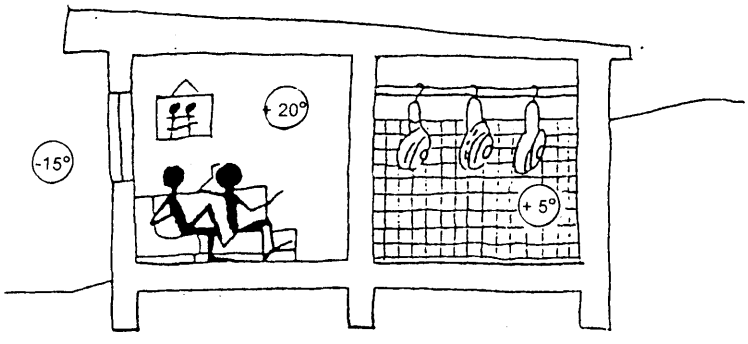


Dělicí funkce

Svým uspořádáním v konstrukčním systému svislé konstrukce oddělují jednotlivé dispoziční a provozní části budov.

Tepelně izolační funkce

Svislé konstrukce oddělující prostory s různou teplotou prostředí, mohou zajistit tepelnou pohodu v těchto prostorech. Kvalitních tepelně izolačních vlastností lze dosáhnout vylehčováním materiálu přímo ve hmotě (porobeton, mikrodutiny v pálené keramice) nebo vytvářením vzduchových mezer a dutin (děrované cihly, tvárnice ap.).



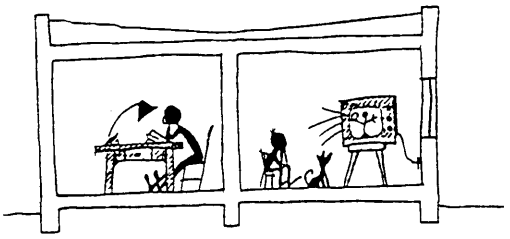
Zlepšování tepelně technických vlastností materiálů zpravidla vede ke snižování jejich pevnosti a tím i celkové únosnosti konstrukce. Splnění tepelně izolační funkce proto nemusí

Požadavky na tepelný odpor (m^2KW^{-1})	do r. 1979	1979 - 1991	1991 - 1994	od 1994
požadovaný tepelný odpor	0,52	0,95	2	2
doporučený tepelný odpor				2,9
přípustný tep. odpor pro rekonstrukce				1,25

být dosaženo pouze vlastním materiálem nosné konstrukce, může se zvýšit přidáním dalších účinných tepelně izolačních vrstev (tepelně izolační omítky, tepelně izolační vrstvy z izolačních desek z minerálních vláken, pěnového polystyrénu apod. - viz také E3).

Akustická funkce

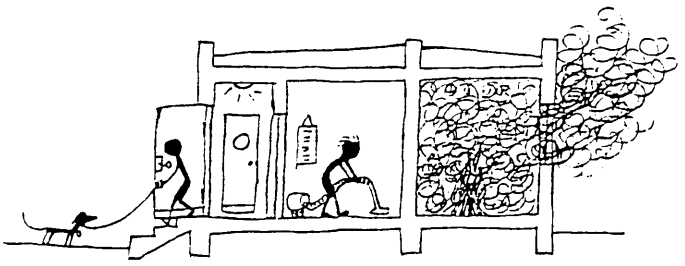
Svislé konstrukce - především stěny - mohou působit zároveň jako akustická izolace mezi jednotlivými prostory. S výhodou lze využít relativně vysoké plošné hmotnosti nosných cihelných a betonových stěn (nad 350 kg/m^2 - odpovídá cihelnému zdivu z plných cihel tl. 300 mm) k zajištění potřebné zvukové izolace chráněných prostorů.



Požadavky na vzduchovou neprůzvučnost vnitřních stěn Rw (dB)	
Hlučný (vysílací) prostor	Chráněný (přijímací) prostor
Všechny ostatní místnosti téhož bytu	42
Všechny místnosti druhých bytů	52
Průjezdy, podjezdy, garáže	57
Restaurace s provozem po 22. hod.	62

Protipožární funkce

Nosné konstrukce musí z hlediska bezpečnosti celého systému být vytvořeny z nehořlavých materiálů nebo musí být proti účinkům požáru účinně chráněny. Stěnové konstrukce však mohou přímo oddělovat požární úseky a vytvářet chráněné únikové cesty.



Minimální požadovaná požární odolnost požárních stěn v minutách							
Stupeň požární bezpečnosti požárního úseku	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Požární stěna v podzemním podlaží	30	45	60	90	120	180	180
Požární stěna v nadzemních podlažích	15	30	45	60	90	120	180
Požární stěna v posl. nadzemním podlaží	15	15	30	30	45	60	90

TECHNOLOGICKÉ VARIANTY - PRINCIPY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

E2

Technological Variants - Design Principles
Technologische Varianten - Prinzipien der Lösung

Zděné konstrukce

Zděné konstrukce mají v historii stavitelství dlouhou tradici. Nejstarší dosud zachovanou zděnou konstrukcí v Čechách z 2. až 1. století před naším letopočtem jsou hradby keltského opida na vrchu Závist u Zbraslavi. Hradby byly postaveny z neopracovaného kamene bez použití malty. Další archeologicky doložené kamenné a cihelné zděné objekty pocházejí z období Velkomoravské říše v 9. století n.l.

Zdivo je stavební konstrukce vzniklá záměrným skládáním zdicích prvků z přírodních nebo umělých staviv (kamenů, cihel, tvarovek, tvárnic apod.) spojovaných maltou nebo kladených na sucho. Zděné konstrukce musí vyhovovat základním požadavkům *statickým (únosnost), tepelně izolačním, zvukově izolačním, požární odolnosti,*

z čehož vyplývají jejich minimální rozměry. Výsledné vlastnosti zdiva jsou dány kombinací jeho základních elementů :

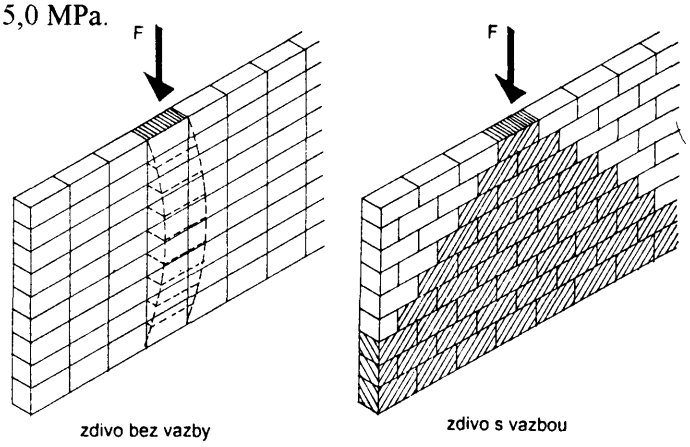
- *staviva,*
- *malty.*

Výsledné pevnosti dosahuje zdivo buď po zatvrdnutí malty (při použití mokrého způsobu stavění) nebo ihned (metoda suchého zdění bez malty).

Běžně používané *malty* pro stavební účely jsou směsí *pojiva* (obyčejné nebo hydraulické vápno, cement), *plniva* (písek, tepelně izolační přísady - perlit) a *vody*. Podle množství pojiva a konečné pevnosti se malty dělí na:

- *vápenné malty (MV)*, pevnost v tlaku max 1,0 MPa dosažena až po 90 dnech,
- *vápenocementové malty (MVC)*, pevnost v tlaku 1,0 - 2,5 MPa,
- *cementové malty (MC)*, pevnost v tlaku 5,0 - 15,0 MPa.

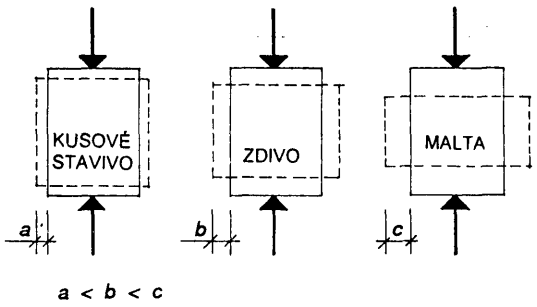
Na výslednou únosnost zdiva nemají však vliv pouze mechanické parametry spojovaných materiálů, ale také jejich uspořádání. Vazba zdiva má velký vliv na rovnoměrné rozložení tlaku, a tím i na celkovou únosnost zdiva. Kusové stavivo se ukládá do vodorovných vrstev a váže se tak, aby nevznikly průběžné svislé spáry. Podélně orientovaný kus staviva se jmenuje *běhoun*, příčně orientovaný *vazák*. V zakončení stykování, křížení zdí a při vyzdívání rohů a pilířů musí být vrstvy kusového staviva vzájemně provazovány.



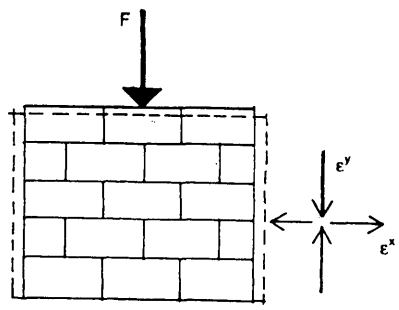
vybočení přetíženého sloupce zdicích prvků nesvázaných s okolním zdivem

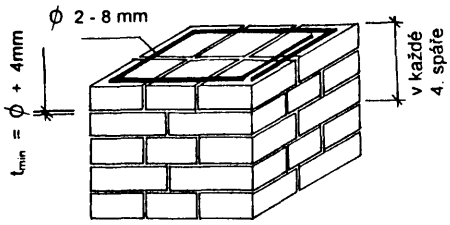
■ Vyztužené a předepnuté zděné konstrukce

Vzhledem k charakteru zdiva, které je tvořeno vrstvami dvou druhů stavebních hmot, nepůsobí konstrukce homogenně. Kusové stavivo a spojovací malta mají různé moduly pružnosti *(E)* a různé součinitele přetvárnosti *(a)*.

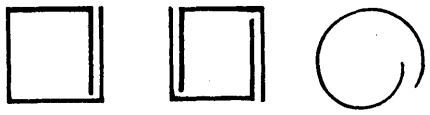


Deformace malty, na kterou působí tlak, je větší než deformace kusového staviva nebo výsledného zdiva. Proto má při stlačování zdiva malta tendenci k roztahování ve vodorovném směru, kolmém na směr tlaku. Příčné deformaci maltové vrstvy je bráněno třením a soudržností staviva s maltou. Tím vzniká v cihlách ve vodorovném směru napětí, které se snaží při rostoucím zatížení cihly roztrhnout. Při dostředném tlaku se tedy svislý nosný prvek deformuje ve směru působící síly, za současné deformace ve směru kolmém. Únosnost svislé konstrukce vzroste, je-li příčné deformaci zabráněno výztuží v ložných sparách, potom zděné konstrukce jsou ***vyztužené***.

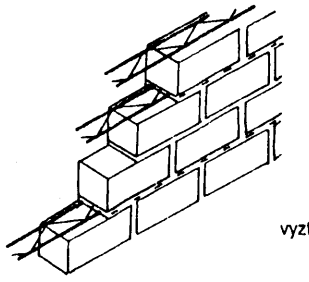




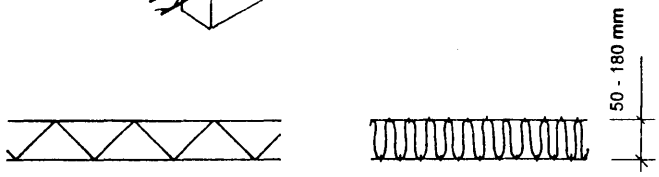
vyztužený pilíř



tvary třmínků pro sloupy a pilíře

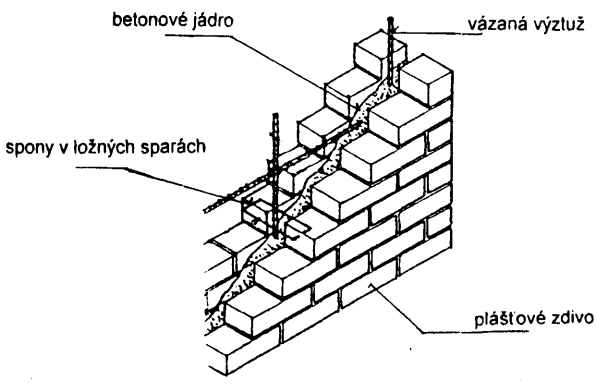


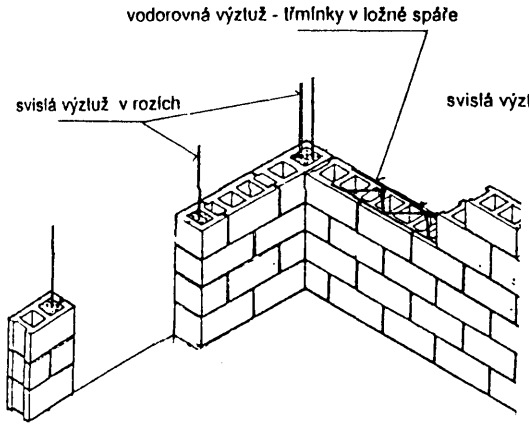
vyztužená stěna

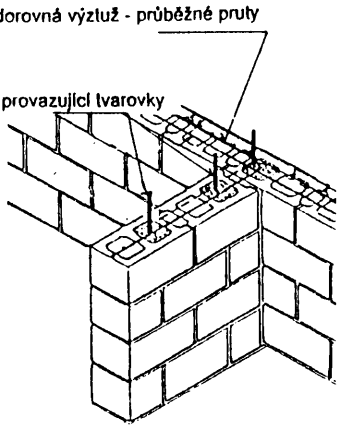


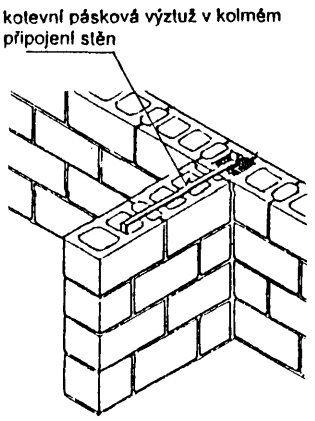
tvary třmínků pro stěny

Pro dosažení lepších mechanických vlastností zdiva se mohou používat ***vrstvené, vyztužené zděné*** konstrukce. Nosnou funkci plní vyztužené železobetonové jádro, spřažené sponami s plášťovým zdivem, které doplňuje i ostatní funkce (tepelně izolační, akustické, estetické). Mohou být však pouze vyztužena exponovaná místa v konstrukci (nárožní pilíře a meziokenní sloupy svislou výztuží, věnce a ložné spáry vodorovnou výztuží) a ostatní zdivo je vyzděno běžným způsobem.

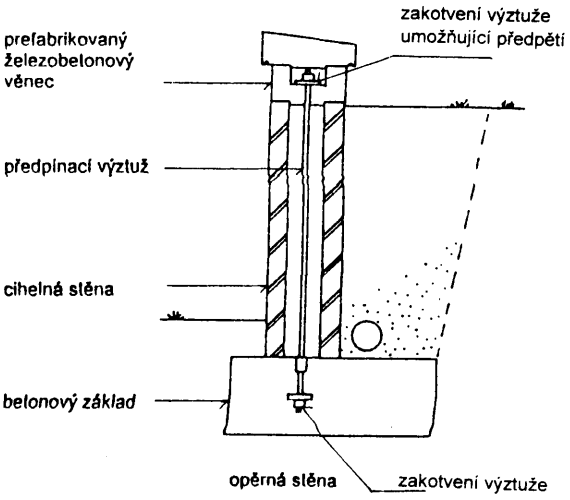




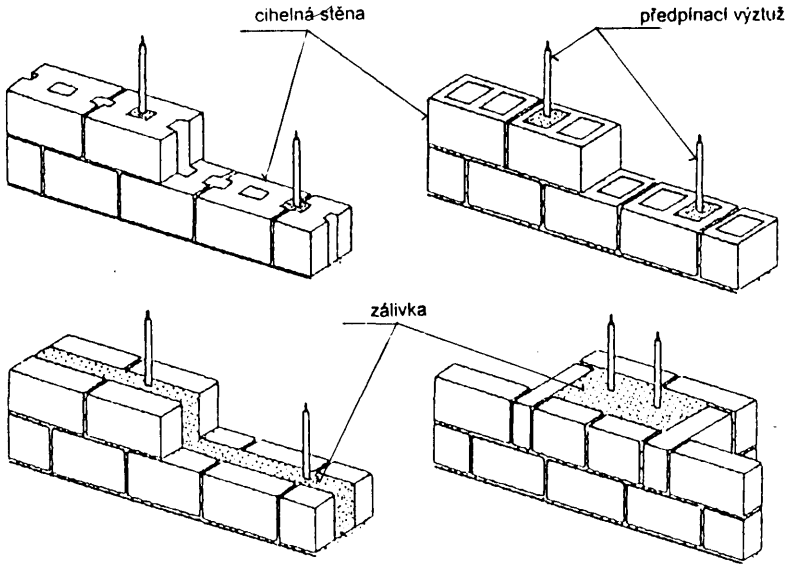


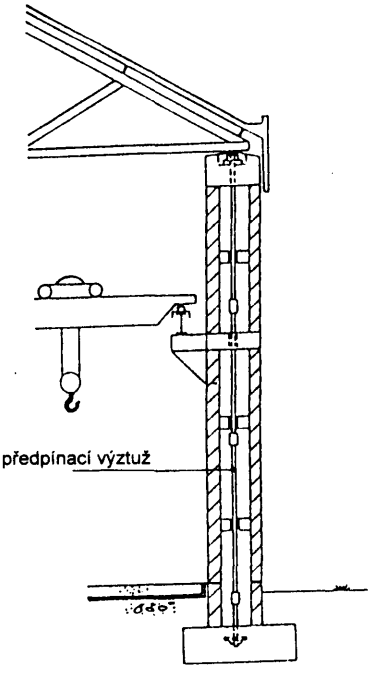


V pozemním, ale především v inženýrském stavitelství, se v posledních letech používá i ***předepnuté zdivo***. Vnesením předpětí svislou výztuží je stěna odolnější účinkům vodorovných zatížení. Tyto konstrukce se používají buď jako samostatně stojící stěny (protihlukové bariéry), opěrné zdi (proti účinkům zemního tlaku), ale i jako svislé nosné konstrukce průmyslových hal zatížených vodorovnými silami od jeřábových drah, dělicí stěny mezi skladovaným sypkým materiálem ap. Ve srovnání s *klasicky vyzděnou stěnou je předepnutá stěna* subtilnější, vykazuje menší vodorovné průhyby a lépe odolává účinkům zemětřesení. Speciální předpínací výztuž je volně vedena v zabetonované trubce (předpětí bez soudržnosti). Antikorozní ochrana výztuže je zajištěna polyetylénovým pláštěm výztuže a mazivem.



skladba předepnutého zdiva z cihel a keramických tvarovek



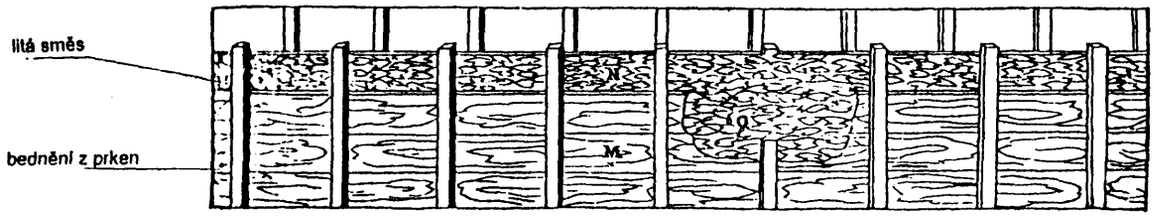


předepnutá stěna průmyslové stavby s jeřábovou dráhou

■ Monolitické konstrukce

Monolitické svislé nosné konstrukce vznikají ukládáním betonové směsi přímo na místě do bednění, přičemž bednění může být po zatuhnutí směsi odstraněno nebo zůstává trvalou součástí stavby (tzv. "ztracené bednění", viz též Vyztužené zděné konstrukce a Betonové stěny). Konstrukce z litého betonu byly známy již v antice. Řecké *opus emplekton* tvořilo vnější licované kamenné zdivo s litou výplní ze směsi drobnějšího kameniva s pojivem z hydraulického vápna, Římané monolitické konstrukce používali běžně.

A. Palladio: Čtyři knihy o architektuře (Benátky r. 1750): *„Litý druh, jemuž se říká také bednový, dělali staří tak, že oddělili deskami na stojato prostor, jak chtěli mít tlustou zeď, a plnili jej směsí malty a kamení jakéhokoliv druhu a tak pokračovali vrstvou po vrstvě. Zdi tohoto druhu je možno vidět v Sirmiu na Lago di Garda, kde jsou zbytky letohrádku římského básníka Catulla."*



Římská monolitická stěna (1.stol.př.n.l.) - technologie výroby

Novodobé betonové konstrukce se používají od poloviny 19. století, v současné době je beton jedním z nejrozšířenějších staviv.

Prostý beton vzdoruje velmi dobře namáhání v tlaku, má však velmi malou pevnost v tahu. Proto lze svislé tlačené prvky, u nichž nevznikají velká ohybová namáhání, navrhovat z prostého betonu. Tam, kde v konstrukci vznikají větší ohybové momenty:

- u ztužujících tenkých stěn přenášejících účinky zatížení větrem
- u sloupů rámových konstrukcí
- u obvodových stěn zatížených zemním tlakem,

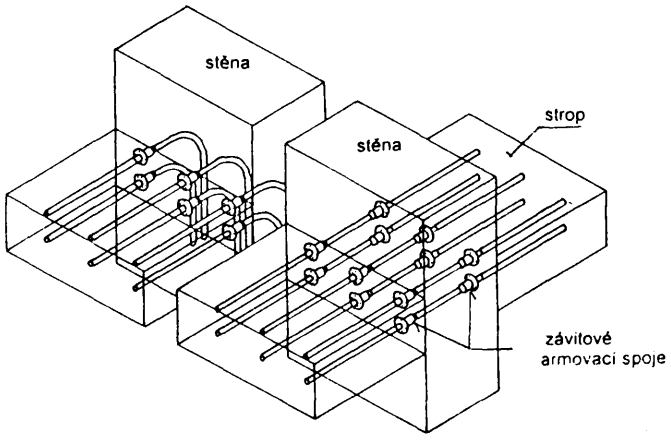
je nutné k přenesení tahových sil doplnit betonový průřez příslušnou ocelovou výztuží → monolitické železobetonové konstrukce.

Betonové a železobetonové konstrukce mají špatné tepelně izolační vlastnosti. Tam, kde kromě nosné funkce musí splňovat i požadavky tepelně technické, je nutná dodatečná izolace. Ta může být součástí ztraceného bednění (viz též Monolitické stěny), nebo vytvořená vrstvením dalších materiálů s dostatečnými tepelně izolačními vlastnostmi (viz též Vrstvené konstrukce nosných obvodových plášťů).

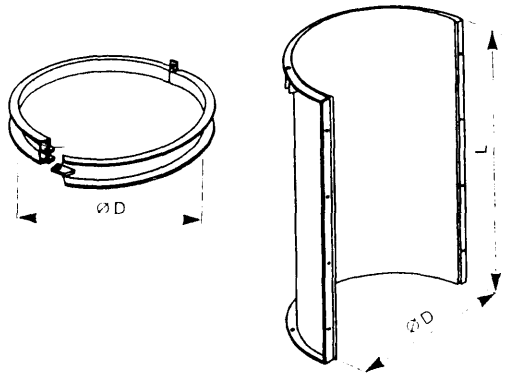
V dřívějších obdobích proklamované nevýhody monolitických konstrukcí, spočívající ve:

- velké spotřebě řeziva na bednění,
- vysoké pracnosti u vázané výztuže,
- dlouhé době výstavby,

jsou v současné době eliminovány na minimum. Použitím velkoplošného bednění s vysokou obratovostí byl umožněn přechod k technologicky efektivnímu vytváření monolitických konstrukcí, do kterých jsou i výztužné prvky ukládány jako předvyrobené výztužné koše. Napojování svislé a vodorovné výztuže pomocí speciálních šroubových spojek (např. systém Halfen) umožňuje souvislou betonáž stěn pomocí posuvného bednění (viz též Betonové stěny). Výrobní cyklus stěn je jedno až dvoudenní, kdy beton dosahuje pevnosti potřebné k odbedňování (krychelná pevnost musí být min. 50 % konečné krychelné pevnosti).

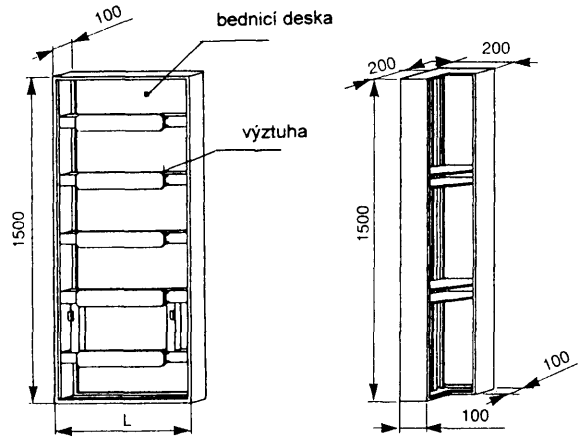


Bednicí desky jsou vyráběny z vodorovných překližek tl. od 5 - 40 mm, z ocelového plechu tl. 3 - 4 mm nebo z lehčených polypropylénových desek a jsou vkládány do ocelových nebo hliníkových rámů. Obratovost bednění s ocelových plechů je 200 - 400 násobná, s překližkou 30 - 60 násobná. K betonáži stěn se užívá beton měkké konzistence zhutňovaný vysokofrekvenčními vibrátory. Příklad bednění systému MONTI - ALU (pro stěny), MONTI SB (pro kruhové sloupy) a sestava plošného bednění systému BEST je uvedena na obrázku.



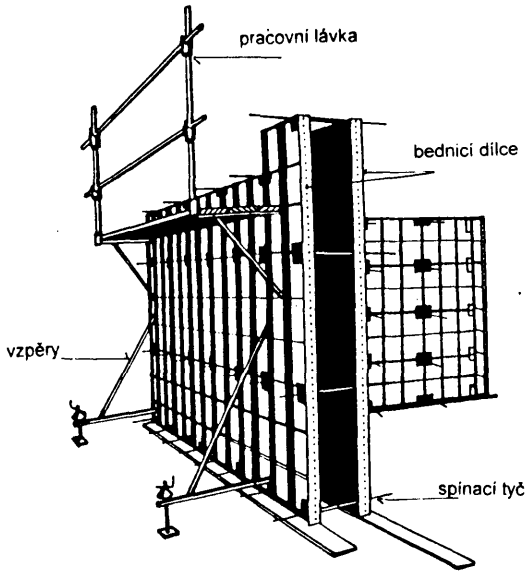
Bednicí dílce pro kruhové sloupy

Z půlkruhových segmentů lze sestavit sloupy různých průměrů a výšek



Bednicí dílce pro stěny rohový dílec

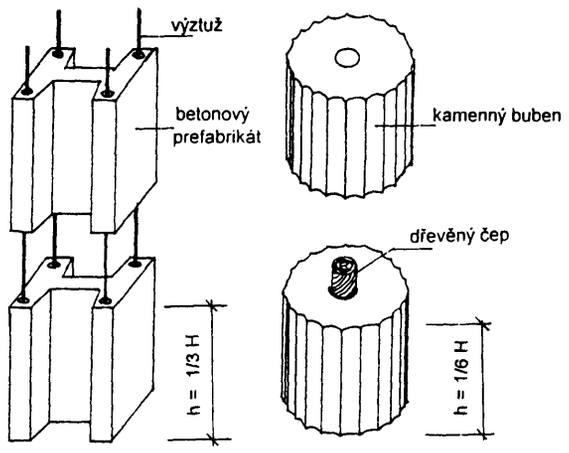
Pevný rám z hliníkových profilů vyplněný 12 mm silnou překližkou.



Sestava bednění pro stěny (systém BEST)

■ Prefabrikované konstrukce

Prefabrikované konstrukce jsou vytvářeny z předem vyrobených celoplošných nebo tyčových dílců, které jsou na stavbě stykovány (svařením, zálivkami). Myšlenka přenést část stavebního procesu mimo stavbu prostupuje paralelně s výstavbou in situ celými dějinami stavebnictví. Principy montáže kamenných sloupů pomocí spojovacích čepů z tvrdého (např. cedrového) dřeva byly známy již 2 500 let př. n. l. v egyptském stavitelství. Tento způsob byl později (cca v 6. stol. př. n. l.) převzat i řeckými staviteli s tím, že místo dřevěných spojovacích čepů byly používány i kovové skoby a hmoždíky. Na obdobném principu jsou založeny I některé současné prefabrikované konstrukce (viz. obrázek).

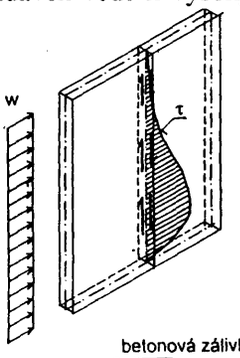


Montovaný skelet INTEGRO Řecký kamenný sloup

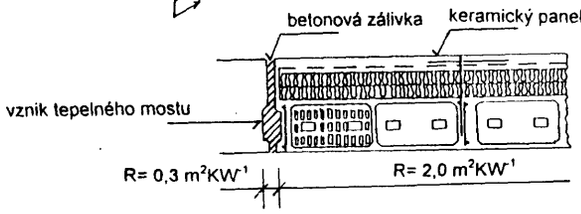
Předem vyrobené dílce svislých konstrukcí mohou být vyrobeny ze všech druhů běžně používaných stavebních materiálů:
- *keramiky*
- *betonu hutného i vylehčeného*
- *oceli.*

Montované svislé konstrukce musí splňovat veškeré požadavky, obecně kladené na svislé konstrukce. Tím, že jsou jednotlivé dílce stykovány na stavbě, vzniká ve většině případů konstrukce s různými vlastnostmi. Mechanické i stavebně - fyzikální vlastnosti materiálu dílců i spojovacích prostředků jsou obecně různé (modul pružnosti, pevnost ap. v závislosti na stáří prvku), přesto výsledné chování konstrukce by mělo odpovídat monolitické konstrukci. Tento požadavek vede k vysokým nárokům na provedení spojů:

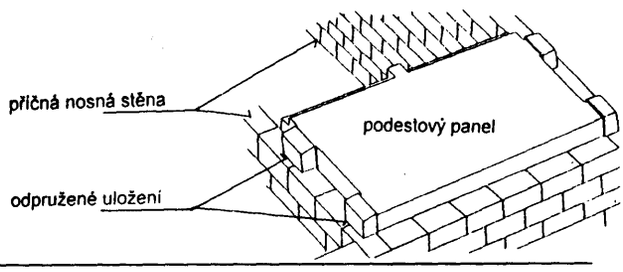
- *z hlediska statického* :
- přenos normálových (tahových nebo tlakových) sil, zajištění rovnoměrnosti normálového napětí,
- přenos smykových sil vzniklých v důsledku rozdílného zatížení stykovaných dílců, průhybu, geometrické excentricity, smršťováním a dotvarováním zálivek, ap. Styčné spáry bývají tvarovány s ohledem na přenos smykových sil (hmoždinky).



- *z hlediska tepelně-technického :*
- zamezení vzniku tepelných mostů.



- *z hlediska akustického :*
- zamezení vzniku akustických mostů



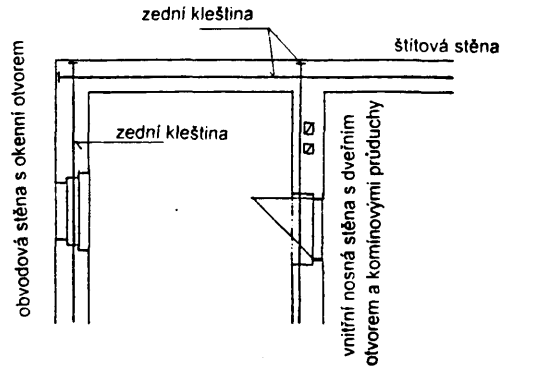
■ Ztužující věnce a kleštiny

K zachycení tahových sil ve svislých konstrukcích od účinků

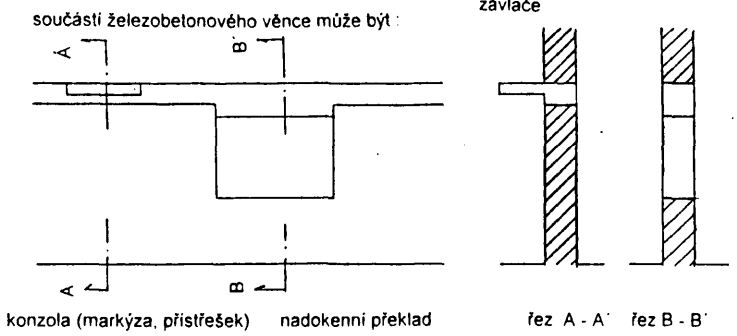
- *nerovnoměrného sedání*
- *rozdílného zatížení*
- *poddolování*

a k zajištění tuhosti budovy ve vodorovném směru slouží *zední kleštiny, pozední věnce a zálivková výztuž.*

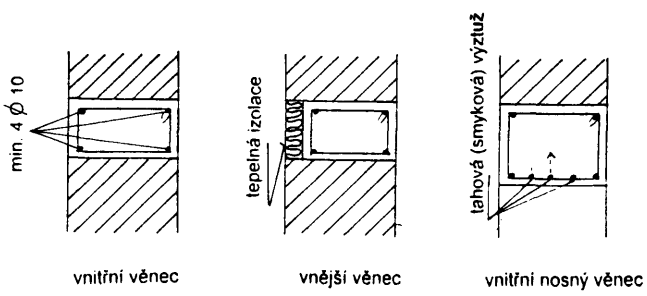
Zední kleštiny se používaly u zděných staveb s netuhými stropními konstrukcemi, zpravidla dřevěnými trámovými (viz F4). Zední kleštiny se zazdívaly do zdiva v úrovni stropů ve všech podlažích s výjimkou prvního podzemního podlaží, které mělo podle tehdy platného stavebního řádu tuhý nespalný strop klenbový nebo železobetonový. Kleštiny byly tvořeny táhlem z ploché oceli 6/45 mm až 9/45 mm ukončené v kovaném nebo lisovaném oku závlačí. U omítnutého zdiva se závlač zapouštěla do rýhy ve zdivu a omítala se, v případě režného zdiva bývaly závlače s ornamentální úpravou přímo na vnějším pohledovém povrchu zdiva. Táhlo procházelo v nosných zdech nad okenními a dveřními překlady a nesmělo procházet komínovými a větracími průduchy.



Ztužující železobetonové věnce později nahradily u zděných staveb zední kleštiny. Používají se u netuhých stropních konstrukcí nosníkového typu (keramické nosníky + vložky, ocelové nosníky + desky Hurdis ap.). Kromě ztužující funkce mohou plnit i nosnou funkci, pokud věnec nad otvorem působí jako překlad nebo je z věnce vyložena konzola.



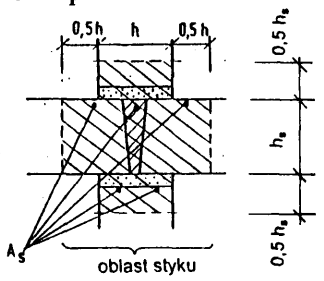
Železobetonové věnce se betonují nad všemi nosnými nebo ztužujícími stěnami, nad vnitřními stěnami na celou tloušťku zdi, nad obvodovými zdmi v tloušťce oslabené o vnější tepelnou izolaci, která se vkládá do bednění. Věnce musí obsahovat podélnou výztuž min. 4 ∅10, doplněnou konstrukčními třmínky. Pokud věnec plní i nosnou funkci, vyztužení odpovídá příslušnému zatížení a statickému schématu věnce.



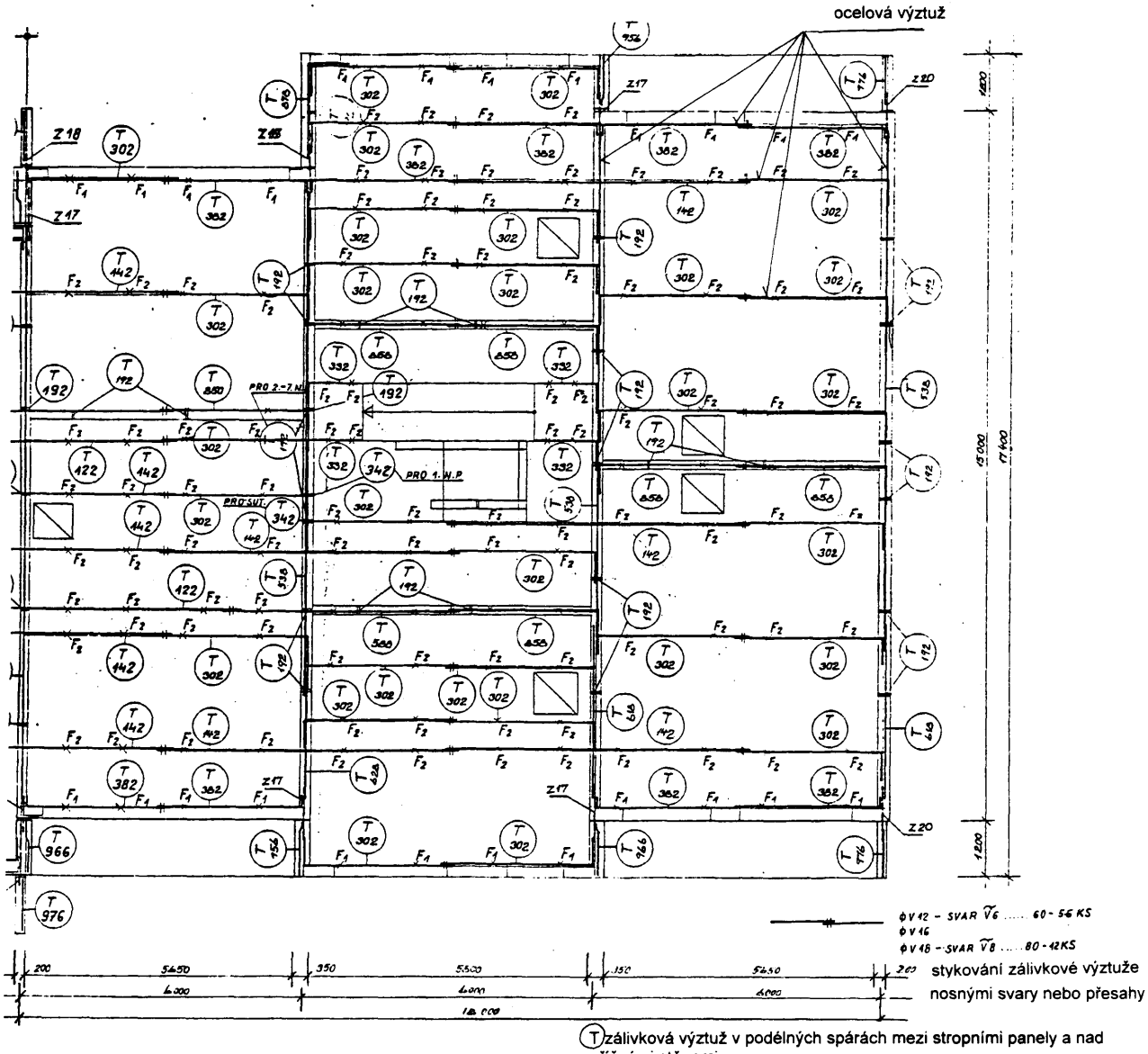
Zálivková výztuž

U montovaných stěnových systémů s deskovými stropními konstrukcemi (panely) musí být vodorovné ztužení budovy zajištěno výztuží vloženou do spár mezi panely v příčném i podélném směru.

V úrovni stropu každého podlaží je proto nutno vložit příčně i podélně spojitou výztuž, která zajistí tuhost a spojitost stropní desky v její rovině a zajistí spojení nosných stěn. Spojitá výztuž musí být dimenzována na min. tahovou sílu 15 kN/m. *Ve směru nosných stěn* musí být výztuž umístěna v oblasti vodorovného styku, lze ji vytvořit také spojením příčné výztuže stropních dílců.



V nosném směru stropních dílců je nutno ztužující výztuž vytvořit spojením podélné výztuže stropních dílců nebo ji umístit ve styku mezi stropními dílci. Vzdálenost spojovací výztuže je do 9 podlaží 2,4 m, přes 13 podlaží 1,2 m.



(T) zálivková výztuž v podélných spárách mezi stropními panely a nad příčnými stěnami

příklad výkresu zálivkové výztuže osmipodlažního panelového domu typu VVÚ - ETA

NOSNÉ STĚNY

E3

Load-bearing Walls
Tragende Wände

■ Kamenné stěny

Kámen jako jeden z nejstarších přírodních materiálů se uplatňuje ve stavitelství již víc než 5 000 let (egyptské pyramidy). Podle místních těžebných podmínek a nebo podle konstrukčního záměru se nejčastěji používá *žula, rula, opuka, pískovec*. Vliv na vysokou životnost a trvanlivost kamenných staveb mají především vynikající mechanicko - fyzikální vlastnosti:

- *pevnost v tlaku až 110 MPa,*
- *odolnost proti vlhku,*
- *inertní vůči vysokým a nízkým teplotám.*

Kamenné stěny se používají tam, kde se příznivě uplatní vlastnosti kamene:
- *u reprezentativních budov,*
- *pro konstrukce základů a podzemních částí budov,*
- *na soklové zdi a podezdívky,*
- *stavby silniční, železniční a mostní,*
- *vodní konstrukce - propusti, přehrady, opěrné zdi.*

Výsledná pevnost kamenného zdiva v dostředném nebo mimostředném tlaku je dána dle *ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí* v závislosti na použitém kusovém stavivu, jeho způsobu opracování a použité maltě. Nejúnosnější zdivo vznikne při použití jemných kvádrů s pemrlovanými ložnými plochami, pevnostní značce kamene P110 a malty M10, kdy výsledná pevnost zdiva je 13,8 MPa. Nejméně únosné je zdivo kyklopské, které za stejných parametrů staviva i malty má únosnost 2,2 MPa. Špatné tepelně technické parametry, tj. vysoká tepelná vodivost (žula $\lambda = 4{,}0\ \mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$) vylučují použití masívních kamenných stěn jako obvodových konstrukcí (pro splnění požadovaného tepelného odporu by musela mít kamenná stěna tloušťku až 8 m).
Pro zdivo se používají výrobky z kamene dané velikostí a tvarem:
- *lomový kámen* (nepravidelný tvar, kamenicky neopracovaný),
- *kopáky* (přibližný rovnoběžnostěn, hrubě kamenicky opracovaný),
- *haklíky* (tvaru hranolu určené jen pro obkladové zdivo s hrubým kamenickým opracováním),
- *kvádry* (pravidelné tvary s opracováním podle potřeby a použití).

Vazba jednotlivých kamenů zajišťuje tuhost stěn a roznášení zatížení. Toto musí být splněno i v případě neložného zdiva, kdy minimálně jedna třetina kamenů musí zasahovat přes polovinu tloušťky zdi. Hloubka vazáku má být 1,5 násobek výšky vrstvy, min. však 300 mm. Kamenné zdivo se zpravidla neomítá a spáry se vyspárují cementovou maltou. Šířka styčné I ložné spáry je 15 - 40 mm. Podle uspořádání vrstev kamenů a použitého tvaru se kamenné zdivo rozděluje na:

lomové zdivo

kyklopské zdivo

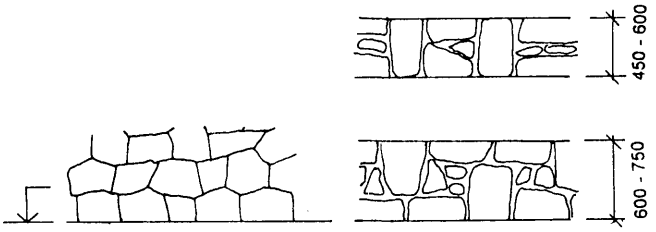
kvádrové zdivo

řádkové zdivo

haklíkové zdivo

lomové zdivo, neložné nebo vrstvené

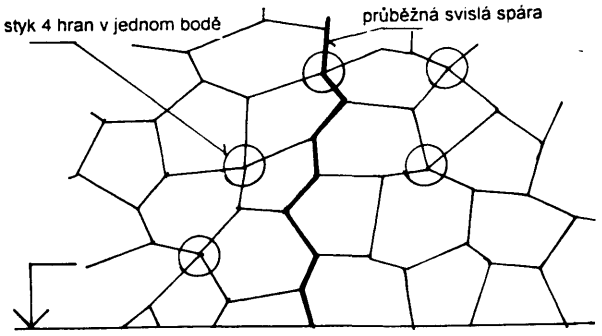
Používá se na zdivo základů a soklů. U vrstveného zdiva musí být alespoň dvě plochy kamenů rovnoběžné. Při menší tloušťce zdi (do 600 mm) se střídají běhouny s vazáky, které probíhají přes celou tloušťku zdi. V další vrstvě jsou vazáky nad běhouny spodní vrstvy. U tlustších zdí, kde vazáky nezasahují od jednoho líce zdi k druhému, se umísťují tak, že střídavě lícují s protilehlými povrchy a v další řadě se vystřídají.



neložné zdivo - pohled vrstvené zdivo -půdorys

kyklopské zdivo

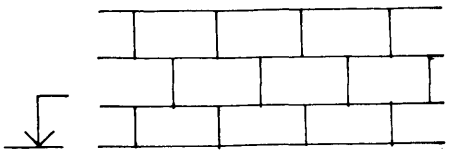
Zpravidla se používá se na dekorativní účely, nikoliv jako zdivo nosné. Jeho únosnost je v důsledku nepravidelné skladby malá. Jednotlivé kameny mají tvar mnohoúhelníků s plochami opracovanými do hloubky 30 mm s přesnými rohy a přímými hranami. V líci zdi se mohou sbíhat v jednom bodě maximálně tři hrany a nesmí vznikat průběžná svislá spára. Šířka spáry je 20 - 40 mm.



nesprávná vazba kyklopského zdiva

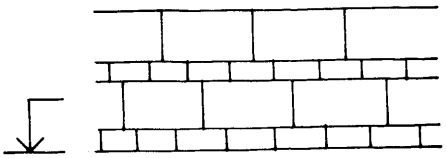
kvádrové zdivo

Je tvořeno z tesaného kamene přesně opracovaného podle výrobní dokumentace. Ložné i styčné spáry jsou v celé šířce zdiva opracovány. Šířka spar je u hrubých kvádrů 10 - 20 mm, u čistých kvádrů 10 - 15 mm.



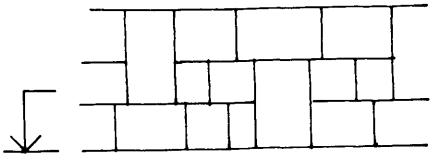
řádkové zdivo

Je tvořeno z nestejně vysokých vodorovných vrstev. Vyzdívá se z lomového kamene, a to z hrubých nebo čistých kopáků. V rámci jedné vrstvy jsou používány kameny stejné výšky.



haklíkové zdivo

Je speciálním případem řádkového zdiva, kdy vrstvy jsou svisle převázány. Výška svislých kamenů se rovná dvou nebo trojnásobku výšky kamenů vodorovných.



■ Dřevěné stěny

V klasickém pojetí byly dřevěné stěny používány především v lidovém stavitelství. Dřevo jako běžně dostupný levný stavební materiál má dobré mechanicko-fyzikální parametry, které umožňují jeho rozsáhlé využití. Výhody, pro které je dřevo ve stavebnictví používáno, jsou:

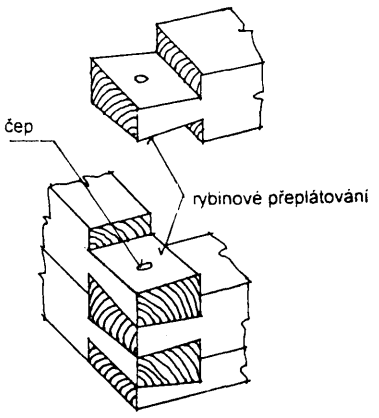
- *pevnost v tahu i tlaku* je přibližně stejná (ve směru rovnoběžně s vlákny je 7-12 MPa). Díky tomu je využití dřeva univerzální:
  - pro svislé tlačené prvky (sloupy, stěny),
  - pro vodorovné ohýbané prvky (trámy, průvlaky),
  - pro vodorovné tažené prvky (vazné trámy).
- *tepelně izolační vlastnosti* (λ=0,24 $Wm^{-1}K^{-1}$). Masívní dřevěná stěna o tloušťce 120 mm odpovídá izolačně zdi z plných cihel tloušťky 450 mm.
- *snadná opracovatelnost a stykování.*

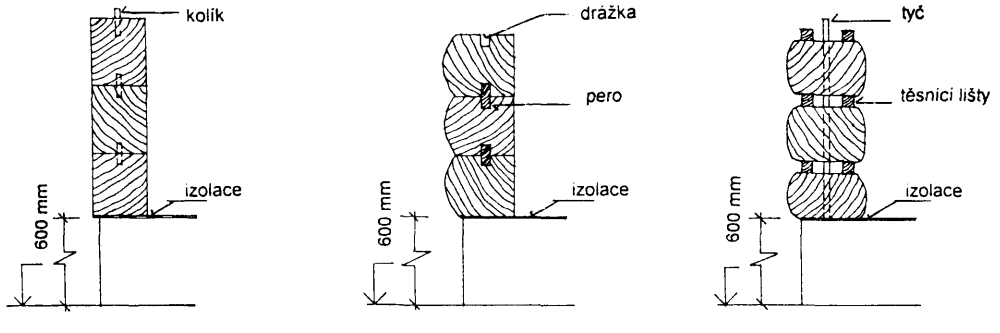
Nevýhody spočívají ve:

- *vysoké nasákavosti a schopnosti absorpce vzdušné vlhkosti,*
- *možnosti napadení biologickými škůdci,*
- *vysoké hořlavosti.*

Z těchto důvodů se dochovalo velmi málo archeologicky doložených dřevěných staveb. Pouze v případě, kdy dřevo bylo konzervováno bez přístupu vzduchu, sporadické nálezy dokumentují použití dřevěných konstrukcí. Nejstarší celostěnové dřevěné sruby byly např. nalezeny v močálech na území Německa a Švýcarska a pocházejí z doby bronzové. Na našem území je roubená stavba doložena až v 8. století n.l. v Klučově u Kolína.

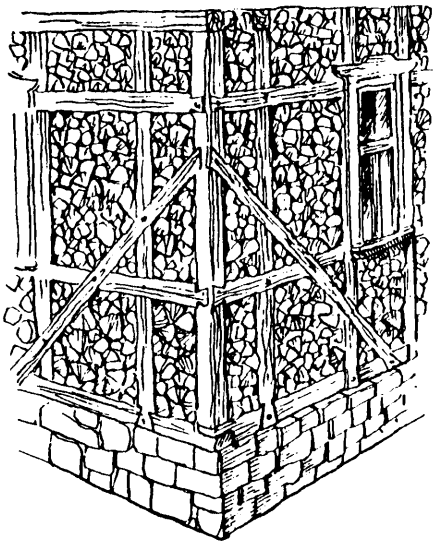
Roubené konstrukce stěn vznikají z trámů vodorovně kladených na sebe a spojených v nároží přeplátováním. Trámy mohou být buď plně, tří nebo dvoustranně hraněné, tloušťka stěny je 150 - 200 mm. Jejich vzájemné propojení mimo nároží je provedeno na drážku a pero nebo pomocí kolíků. Spáry mezi částečně hraněným řezivem se vyplňovaly slaměnými rulíky namočenými v hlíně a zamazávaly se hlínou smíšenou s plevami. Tato vymazávka se často kontrastně barvila. Někdy se spáry též překrývaly lištami. Pro trvanlivost roubených stěn byla důležitá jejich ochrana před vlhkostí, a to důsledným osazením stěny na kamennou, cihelnou nebo betonovou podezdívku min. 600 mm nad terén. Vlastní trámy byly impregnovány nejprve přírodními prostředky (volskou krví, lněným olejem, lojem), od 19. století i chemicky (fermež).



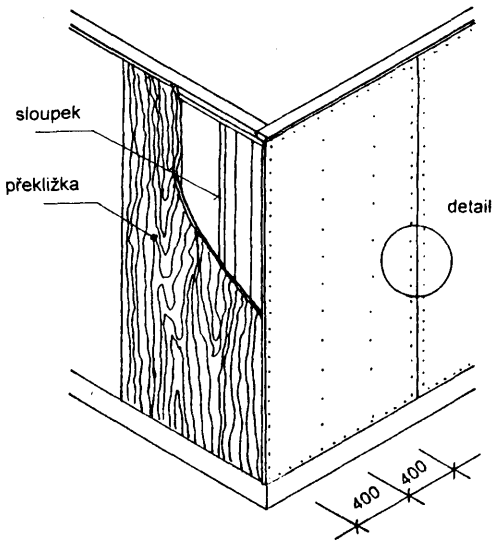


plně hraněné trámy | třístranně hraněné trámy | dvoustranně hraněné trámy

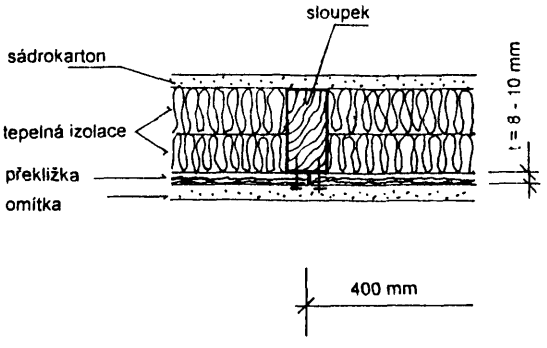
Z celodřevěných konstrukcí stěnových rozšířených s rozvojem pilařského průmyslu v 19. století jsou zajímavé tzv. ***krčkové stavby***. Na kamenné podezdívce byly vytvořeny stěny z krátkých celých nebo průhledných špalíčků (krčků), kladených vedle sebe a spojovaných pilinovápennou maltou. Konstrukce stěny je ztužena vodorovně kladenými trámky ve vzdálenostech 500 - 600 mm od sebe. Nároží byla vázána střídáním podélně kladených delších trámků a příčně položených kratších polen. Později se nosná konstrukce eliminovala pouze do sloupků a vzpěrek (viz dřevěné sloupy) a polena měla pouze funkci výplňovou. Princip konstrukce je tak shodný s *hrázděnými stavbami*, kde výplň místo špalíčků tvoří cihelné zdivo.



Překližkové konstrukce jsou novodobou aplikací dřevěných plošných stěn, i když svým konstrukčním řešením by bylo vhodnější jejich zařazení mezi konstrukce sloupkové. Překližkové stěny mají dřevěnou sloupkovou nosnou konstrukci, která přenáší účinky zatížení svislého. Překližkový plášť smykem přenáší vodorovné zatížení do základů. Překližky jsou na sloupkovou konstrukci připevněny hřebíky. Smyková překližka je často umístěna jen z jedné strany sloupku, druhý povrch (vnitřní) je tvořen povrchově upravenými obkladovými deskami - např. sádrokartonem. Tloušťka překližky závisí na vzdálenosti sloupků a na oslabení dveřními a okenními otvory. Podle tepelně (resp. akusticky) izolačních požadavků je prostor mezi sloupky vyplněn minerálními rohožemi.



Požární odolnost stěn se sloupkovou konstrukcí oboustranně opláštěnou překližkou tloušťky 8 mm je 15 minut, v případě oboustranného opláštění sádrokartonovými deskami tl 12,5 mm je 35 minut.

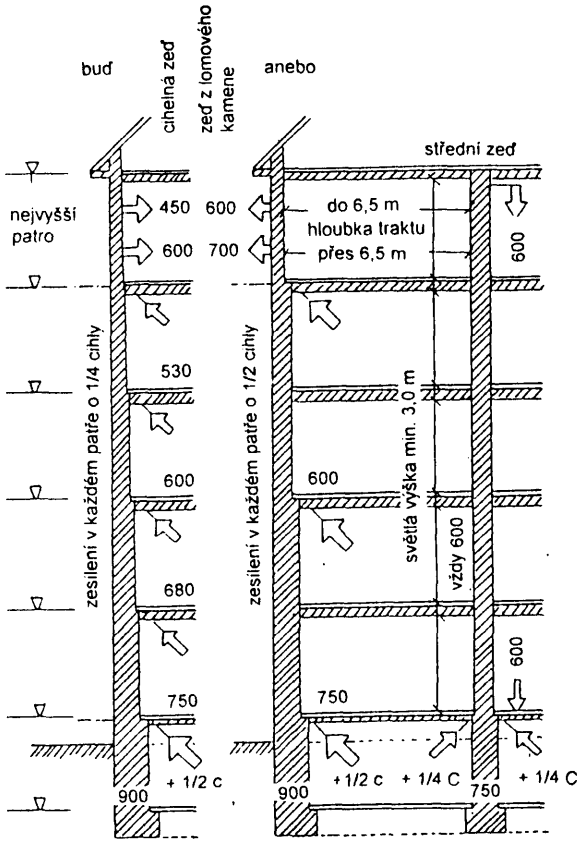


■ Stěny z cihelných materiálů

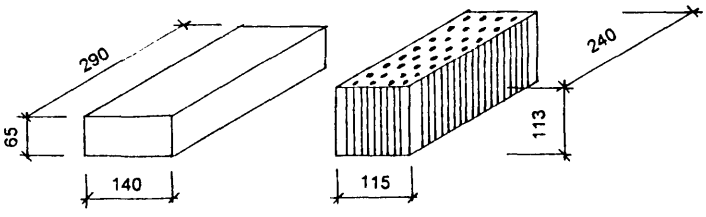
■■ Tradiční cihelné stěny

V zeměpisných oblastech, kde byl nedostatek přirozených stavebních materiálů (dřevo, kámen), bylo používáno jako prvků pro nosné konstrukce kusové stavivo z nevypálené nebo vypálené hlíny. Dochované archeologické nálezy z oblasti Malé Asie a Předního Východu - z období před 8000 lety - jsou zbytky staveb, na jejichž konstrukci bylo použito na slunci sušených nebo v ohni utvrzovaných cihel. Už tehdy je použit standardní geometrický poměr stran cihel 4 : 2 : 1, tj. 320 - 160 - 80 mm (Catal Hüyük - Turecko, 7. - 6. tisíciletí př.n.l.).

Výroba cihel ve střední Evropě byla po importovaném vlivu z Římského imperia, především v oblasti jižního Slovenska (Trenčín, Komárno), znovu zavedena v 12. století v souvislosti se šířením křesťanství ze západu. O zavádění výroby cihel se zasloužil cisterciácký mnišský řád. Od 18. století se rozšiřuje tovární výroba cihel. Na území Rakousko-uherské monarchie bylo významným počinem v poslední třetině 18. století v rozvoji cihelných staveb vydání stavebního řádu pro zděné budovy se zpřísněnými protipožárními požadavky a dále dekretem císaře Josefa II. zavedení jednotného rozměru plných pálených cihel 303 x 115 x 65 mm, které byly po zavedení metrické soustavy upraveny na dnešní rozměr 290 x 140 x 65 mm. Tento druh výrobku, označovaný též jako cihly klasického formátu, cihly plné (CP) je ve výrobním programu cihlářských závodů dodnes. Skladebné rozměry konstrukcí jsou navrhovány v násobku 150 mm. Nejmenší tloušťka zdiva je pro nenosné konstrukce 150 mm, 300 mm pro konstrukce nosné. Pro rozměrovou řadu vycházející z metrických modulových násobků jsou používány pálené svisle děrované cihly metrického formátu (CDm). Průřezy stěn a výšky konstrukcí jsou navrhovány v násobcích 125 mm. Nejmenší tloušťka zdiva nenosného je 125 mm, nosného 250 mm. Až do konce 18. století se všechny druhy zděných konstrukcí dimenzovaly empiricky dle stavitelových zkušeností. Teprve počátkem 19. století se začínaly pro země nebo jen některá města vydávat stavební řády, které obsahovaly empirická pravidla určování rozměrů zděných stěn, pilířů a sloupů v závislosti na počtu podlaží a vzdálenosti stěn.



Tloušťky hlavních a středních zdí podle pražského stavebního řádu z roku 1886



cihla plná (CP)

cihla děrovaná metrická (CDm)

Výsledné vlastnosti zdi z cihel závisí na vlastnostech cihel a spojovací malty.

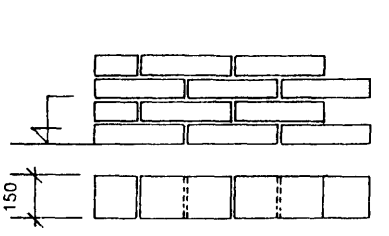
Z hlediska *konstrukčně statického* je výsledná pevnost zdiva v tlaku dána dle *ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí* kombinací pevnostních značek cihel (P2,5 MPa až P 35 MPa) a malty (M 0 MPa až M 15 MPa). Např. výpočtová pevnost běžného zdiva z cihel P10 a malty M1 je 1,0 MPa. Pevnost zdiva v tahu a smyku je přibližně 10 x menší než v dostředném tlaku. Tloušťka ložných i styčných spar vyplněných maltou se uvažuje 10 mm u cihel plných, 12 mm je ložná spára u cihel metrických. K dosažení normových pevností se předpokládá některá z obvyklých vazeb zdiva:

běhounová pro tl. zdiva 150 mm z CP nebo 125 mm z CDm,

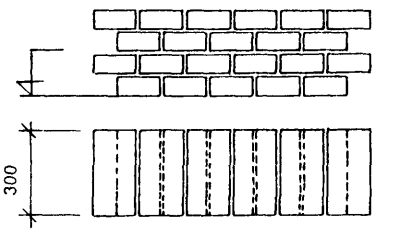
vazáková pro tl. zdiva 300 mm z CP nebo 250 mm z CDm,

polokřížová, která vzniká pravidelným střídáním vrstev běhounových a vazákových, v každé vrstvě se cihly překrývají v podélném směru o 1/4 cihly a v příčném směru o 1/2 cihly,

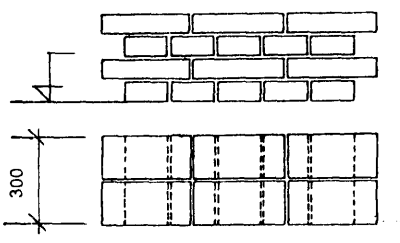
křížová, ve které jsou styčné spáry ve všech běhounových vrstvách navzájem posunuty o 1/2 cihly, ukončení zdi se provádí pomocí tříčtvrtek.



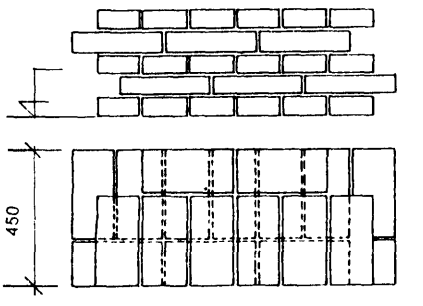
běhounová



vazáková



polokřižová



křížová

Svislé zdivo může být z technologických důvodů (komíny, svislé vedení instalací, větrací šachty) oslabováno svislými průduchy. Vzhledem k tomu, že dojde ke statickému oslabení průřezové plochy - nesmí být přitom porušena vazba zdiva - doporučuje se v oblasti oslabení volit maltu minimálně vápenocementovou (M1 - M2,5).

Z hlediska *tepelně technického* byla cihla vždy relativně dobrým izolačním materiálem (cihly o r = 1800 kg/m^{-3} ; l = 0,84 Wm^{-1}K^{-1}). Až do r. 1979, kdy byly zvýšeny tepelně technické požadavky na obvodové konstrukce, stačila obvodová konstrukce z plných cihel tl. 450 mm k zajištění potřebného tepelného odporu (do r. 1979 R = 0,52 m^{2}KW^{-1}). V současně závazné části *ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov* je požadovaná hodnota R = 2,0 m^{2}KW^{-1}, což odpovídá nereálné tloušťce zdiva víc než 1,7 m. Z tohoto důvodu se pro obvodové jednovrstvé konstrukce cihel plných přestává používat a jsou nahrazovány efektivnějšími tepelně izolačními materiály.

Akustické kritérium (vzduchová neprůzvučnost) pro použití plných cihel pro konstrukce mezibytových stěn je dáno jejich plošnou hmotností (> 350 kg/m^2), což odpovídá tl. zdi 300 mm z plných cihel.

Z hlediska *požární odolnosti* zajišťují obvodové konstrukce požární stabilitu objektu dle *ČSN 730821 Požární odolnost stavebních konstrukcí* takto:

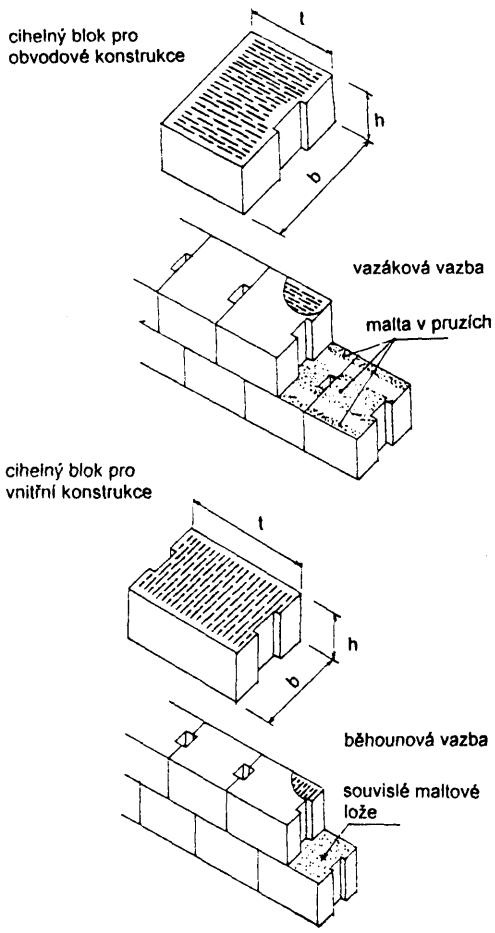
- odolnost 65 minut - zdivo CP 150 - 300 mm
- odolnost 72 minut - zdivo CP 450 mm
- odolnost 115 minut - zdivo CP 600 mm

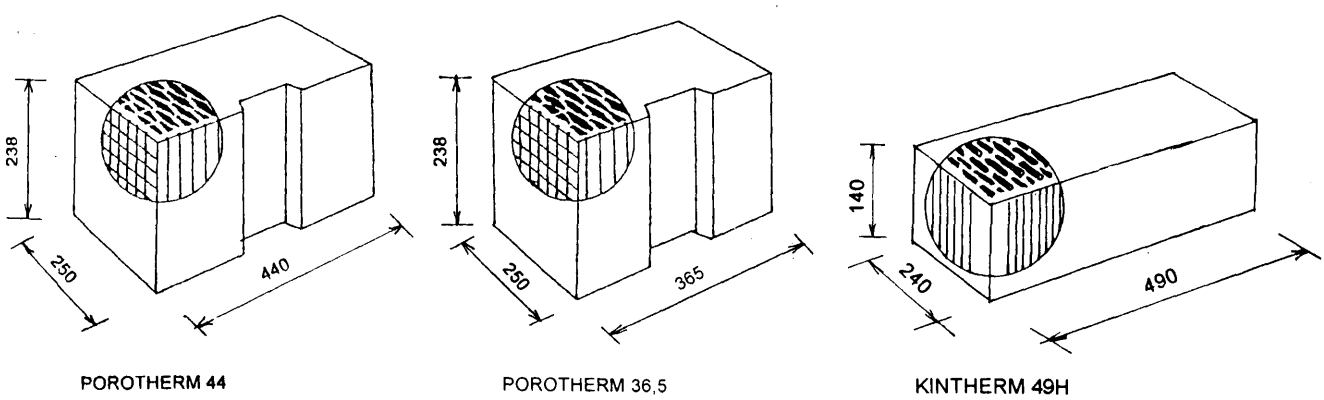
■■ Stěny z cihelných bloků

Po zpřísnění tepelně technických požadavků na obvodové konstrukce (od r. 1979) a také v souvislosti se snižováním pracnosti při výstavbě cihelných stěn došlo postupně k rozšíření výrobního sortimentu cihlářských výrobků.

Cihly - bloky - o půdorysných rozměrech odpovídajících tloušťce zdiva jsou ještě vylehčeny podélnými dutinami. Některé cihlářské výrobky mají i hutný střep vylehčený mikropóry, které vzniknou při vypalování vyhořením pilinové příměsi obsažené v cihlářské hlíně. Vazba tohoto zdiva je zpravidla vazáková. K dokonalejším tepelně izolačním schopnostem obvodového zdiva nemusí být vždy ložná maltová vrstva průběžná. Snížení tepelného mostu v ložné spáře je dosaženo přerušením souvislé vrstvy malty, tzv. zděním na maltu v pruzích (viz též Stěny z tvárnic na bázi lehkých betonů). Při použití vylehčené malty - např. perlitem, jsou u výsledných tepelně izolačních vlastností zdiva prakticky vyloučeny tepelné mosty. Svislé styčné spáry jsou u cihlených bloků vyráběných s vysokou rozměrovou přesností řešeny jako bezmaltové, maltovou výplň obsahují pouze boční zámky (kapsy). Použití přesných kalibrovaných tvárnic umožňuje jejich lepení tmely. Ložná spára má výšku jen několik mm, čímž se snižuje možnost vzniku tepelných mostů a zvyšuje se únosnost zdiva.

Pro vnitřní nosné konstrukce jsou vyráběny cihelné bloky pro min. tloušťku nosného zdiva 250 mm, vazba zdiva v tomto případě je běhounová. Vylehčováním hmoty cihlářských výrobků dutinami a mikropóry se snižuje pevnost výrobků (P4 až P10). Také malty s tepelně izolačním plnivem mají nižší pevnostní značku (M 0,4 až M 1,0). Splnění náročných tepelně izolačních hledisek na obvodové konstrukce s sebou tedy přináší snižování výsledné pevnosti zdiva.





POROTHERM 44 | POROTHERM 36,5 | KINTHERM 49H

	POROTHERM 44	POROTHERM 36,5	KINTHERM 49H
Tepelný odpor R (m^2KW^{-1})	2,65 (perlit.malta)	2,10	2,58 (vápenocem.malta)
Pevnost.značka	P10 , M 0,4	P 8, P10 , M0,4	P 10, M 0,4
Pevnost zdiva Rd (MPa)	0,7	0,6	0,7

■ Stěny z tvárnic na bázi lehkých betonů

Pro nosné i výplňové obvodové zdivo a vnitřní svislé konstrukce jsou určeny výrobky z lehkých betonů. Podle technologie výroby se dělí na:

– *pórobetonové tvárnice*

Pórobeton je druh lehkého umělého kamene s homogenní jemnozrnnou strukturou. Pod pojmem pórobetonu jsou zahrnuty dva druhy autoklávovaného betonu:

plynobeton (základ tvoří jemnozrnná malta *s cementem*, která je vylehčená póry vzniklými chemickou reakcí plynotvorné přísady).

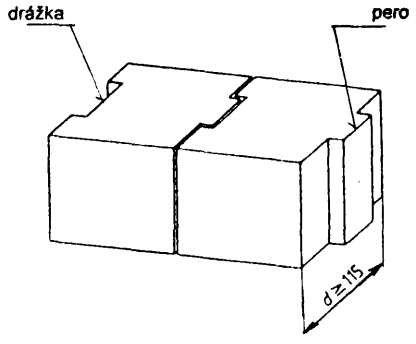
plynosilikát (základ tvoří jemnozrnná malta *s vápnem* vylehčená plynovými póry jako u plynobetonu.

– *tvárnice s plnivem z lehčených materiálů*

Místo hutného kameniva je používána škvára struska, perlit, keramzit (expandované kamenivo), liapor.

Menší objemová hmotnost použitého materiálu (ρ = 500 - 100 kg/m^3) umožňuje výrobu manipulačně vhodných prvků větších rozměrů (pórobetonová tvárnice 600 x 300 x 250 mm /30 kg), což výrazně snižuje staveništní pracnost. Hlavní výhodou lehčených betonů jsou dobré tepelně izolační vlastnosti (pórobeton: λ = 0,12 - 0,27 Wm^{-1}K^{-1}, keramzitbeton: λ= 0,29 - 1,3 Wm^{-1}K^{-1}). Tloušťky obvodových konstrukcí splňující tepelný odpor R = 2,0 m^{2}KW^{-1} jsou pro jednovrstvé zdivo 300 - 400 mm.

Pórobetonové zdivo díky vysoké přesnosti výrobků (např.YTONG, HEBEL ap.) je ve styčné spáře spojováno nasucho bez malty nebo pomocí drážky a pera. Styčné spáry musí být nad sebou vystřídány. Ložná spára je vyplněna souvislou nebo přerušovanou vrstvou malty. Další předností pórobetonu je snadná opracovatelnost za použití běžných nástrojů pro opracování dřeva (ruční nebo elektrická kotoučová pila), lze v něm vytvářet drážky pro instalace frézováním, vrtat otvory pro hmoždinky, zatloukat hřeby, skoby apod. Pórobetonové zdivo má vysoké sorpční vlastnosti (přijímá vzdušnou vlhkost) a je nasákavé. V nasáklém stavu ztrácí tepelně izolační schopnosti a snižuje se jeho únosnost.



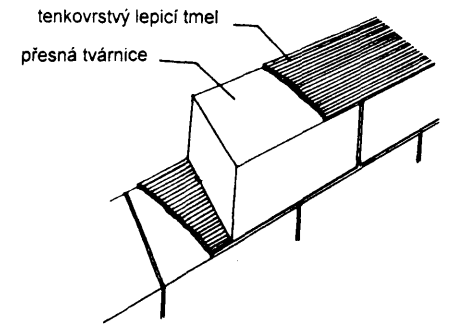
pórobetonové zdivo bez malty ve styčné spáře

Pórobetonové zdivo nesmí proto být používáno na konstrukce vystavené trvale zvýšené vlhkosti (nedoporučuje se proto jeho použití na suterénní zdivo, kde je vážné riziko zvýšené vlhkosti). Pro obvodové konstrukce musí začínat pórobetonové zdivo min. 300 mm nad terénem. Pevnost pórobetonového zdiva v suchém stavu závisí na pevnosti staviva a malty. Vzhledem k používání lehčených malt nebo přerušovaného maltového lože jsou výsledné pevnosti zdiva do 0,5 MPa. Pórobetonové zdivo tak nelze použít na nosné konstrukce vícepodlažních budov (podle půdorysných vzdáleností stěn max. 4-6 podlaží) a staticky exponované svislé prvky (pilíře a sloupy s koncentrovaným zatížením).

Keramzitbetonové nebo škvárobetonové zdivo se vyzdívá z tvárnic, jejichž hmotnost se pohybuje kolem 30 kg . Samotné tvárnice mají pevnost 3-6 MPa, při použití malty M 2,5 je výsledná pevnost zdiva až 0,7MPa. Hutnější hmota (ρ = 600-1200 kg/m^3) nezaručuje vždy při použití jednovrstvého zdiva požadovaný tepelný odpor vnějších stěn, které potom vyžadují dodatečnou tepelnou izolaci (keramitbetonové zdivo tl. 300 mm : R = 1,17 m^{2}KW^{-1}).

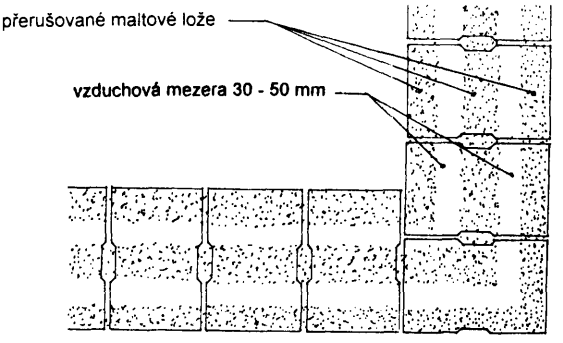
Podle způsobu ukládání tvárnic do *ložné spáry* rozlišujeme zdění na.

- *souvislé maltové lože - klasická malta, tepelně izolační malta,*
- *souvislé maltové lože - tenkovrstvé tmely*
- *přerušované maltové lože (malta v pruzích)*
- *bezmaltové zdění („suché zdění").*



Tenkovrstvé lepicí tmely se používají u přesných tvárnic (YTONG, HEBEL). Tloušťka vrstvy tmelu je 1 - 3 mm, nanáší se v souvislé vrstvě na ložnou spáru přesných tvárnic.

Přerušované maltové lože snižuje výslednou pevnost zdiva, ale zabraňuje vzniku tepelných mostů v ložné spáře. Ložná spára má tloušťku 10 mm a je dvakrát přerušena vzduchovou mezerou šířky 30 - 50 mm. Při nanášení malty se používají šablony z dřevěných latěk, které zajistí konstantní šířku vzduchové mezery. Při posuzování únosnosti zdiva s přerušovaným maltovým ložem se uvažuje redukovaná výpočtová pevnost zdiva s ohledem na staticky účinnou plochu ložné spáry.



Bezmaltové zdění lze použít u nenáročných konstrukcí max. do tří nadzemních podlaží na rodinné a rekreační domky, garáže, zemědělské farmy, stáje, školy, jesle, rozebíratelné objekty, zařízení staveniště.

Dutinové tvárnice suchého zdění (TSZ) ze škvárobetonu jsou na ložné ploše opatřeny zámkem (výstupkem), který při zdění přesně zapadá do předchozí vrstvy tvárnic. V úrovni stropní tabule prochází zdivem tvarovka (věncovka), která po doplnění výztuží a dobetonování zajišťuje tuhost ve vodorovném směru. Zdivo z tvárnic suchého zdění lze až 3 x rozebrat a znova sestavit, což je výhodné u provizorních a dočasných konstrukcí. Pro vnější konstrukce je nutný obklad tepelně izolačními deskami.

tvárnice suchého zdění

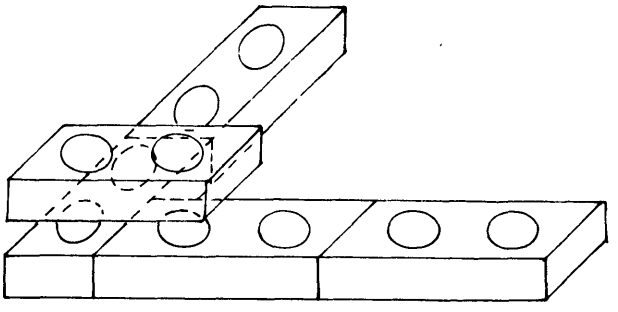


schéma vazby nároží zdiva z tvárnic suchého zdění

Podle řešení vzájemného svislého kontaktu se *styčné spáry* rozlišují na:

- *maltové*
- *suché* (zámkový spoj, drážka a pero).

Technické parametry tvárnic z lehkých betonů:

Stavivo	tl.(mm)	R(m^2KW^{-1})	Rw(dB)	požár.odol.(min.)
porobeton (Hebel)	300	2.5	41	180
škvárobeton (TSZ)	300	2	46	180

■■ Prefabrikované stěny z cihelných materiálů

Plošné dílce z keramických tvárnic spojených maltou nebo jemnozrným betonem mají přednosti pálených cihlářských materiálů:

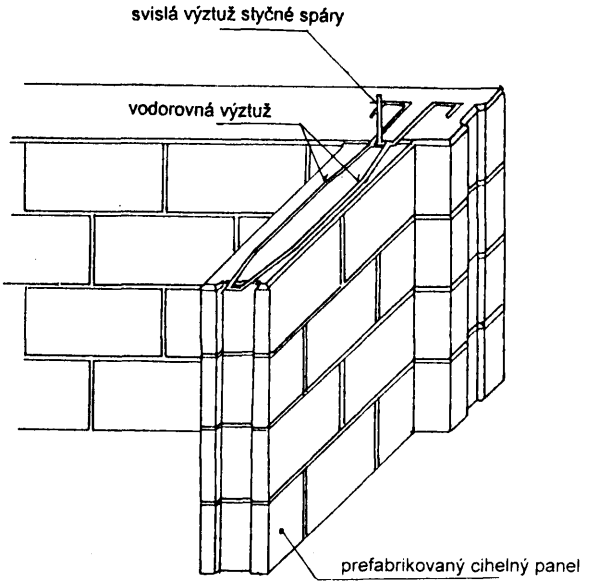
– *tepelně izolační,*

– *zvukově izolační,*

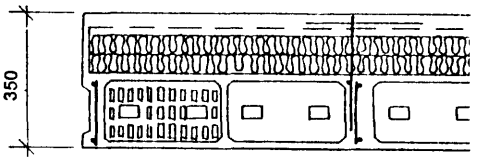
– *schopnost akumulace tepla,*

– *mrazuvzdornost*

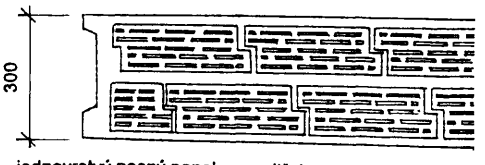
a zároveň splňují požadavky na rychlou montáž s omezením mokrých procesů na stavbě. Dílce musí být opatřeny zvedacími háky dimenzovanými na manipulační zatížení. Stěnové dílce se osazují do maltového lože 25 - 30 mm na dřevěné klíny. V bocích stěnových dílců jsou vytvarovány drážky, které vytvoří zámek šířky 60 - 100 mm. Tento prostor se po vyrovnání dílců a přikotvení ocelovými spojovacími prvky zalije betonem velmi měkké konzistence. Vzhledem k tomu, že oproti klasickému zdivu není v kolmém křížení stěn provedena vazba, musí být nároží vyztužena v úrovni stropní desky a opatřena svislou výztuží a vodorovným pozedním věncem.



Keramické stěnové dílce mohou být tvořeny jednovrstnou konstrukcí (pro vnitřní nosné stěny) nebo vrstvené konstrukce s tepelně - izolačními polystyrénovými deskami a vnější betonovou krycí monierkou. Ta je prostřednictvím nerezových skobek přikotvena k vnitřní nosné části panelu. Jako u všech prefabrikovaných konstrukcí musí být koncepčně vyřešeno stykování dílců, tak aby i styky mezi dílci plnily všechny mechanické i stavebně fyzikální funkce v rozsahu celé konstrukce.



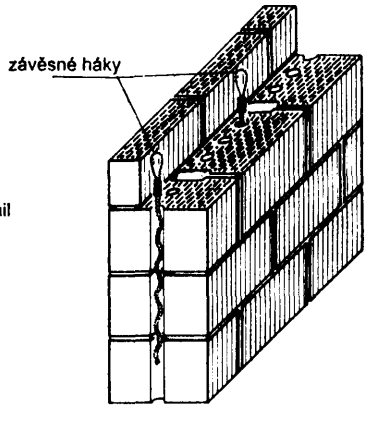
vrstvený obvodový panel



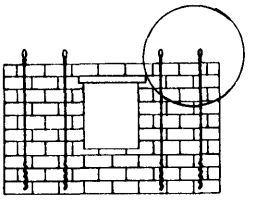
jednovrstvý nosný panel pro vnitřní stěny

Technické parametry keramických panelů:

dílec	tl.(mm)	R(m^2KW^{-1})	Rw(dB)	požár.odol.(min.)
obvodový	350	2.0	50	180
vnitřní	300	0.64	57	240



keramický panel s otvorem

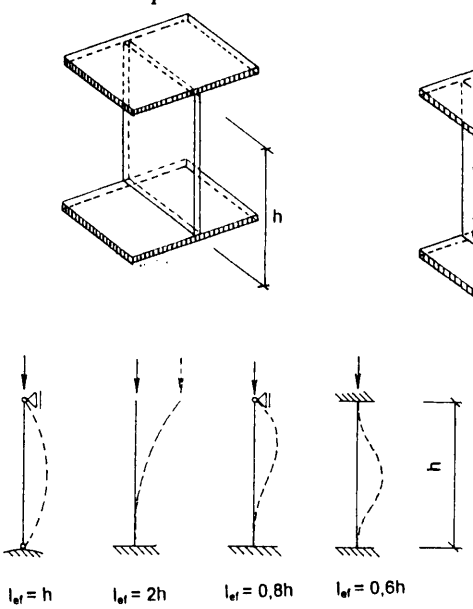


■ Betonové stěny

■■ Monolitické betonové stěny

Monolitické stěny (a sloupy) jsou nejstaršími konstrukcemi prováděnými z betonu. Vzhledem k mechanickým vlastnostem betonu (vysoká pevnost v tlaku 30 MPa i více a cca 10x nižší pevnost v tahu) je ideální jeho použití na svislé nosné prvky namáhané tlakem. Tam, kde je vyloučen vznik větších ohybových momentů, lze prvky navrhovat z prostého betonu.

Stěny zatížené vodorovným zatížením (vítr, seismicita) nebo zemním tlakem je nutno na vzniklé ohybové momenty vyztužit. Betonová stěna jako štíhlý vysoký prvek je namáhána vzpěrným tlakem. Je-li podepřena na dvou protilehlých stranách (upnutí mezi stropní konstrukce), uvažuje se její vzpěrná délka vzhledem ke způsobu upnutí. Je-li stěna podepřená po obvodě (upnutí mezi stropní konstrukce a oboustranně nebo jednostanně přilehlé kolmé části stěn), uvažuje se její vzpěrná délka $l_{ef} = \beta . h$, kde součinitel β vyjadřuje vliv bočního podepření.

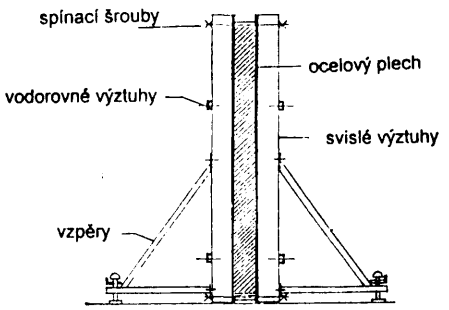


vybočení stěny při vzpěrném tlaku ve směru kolmém na střednicovou rovinu

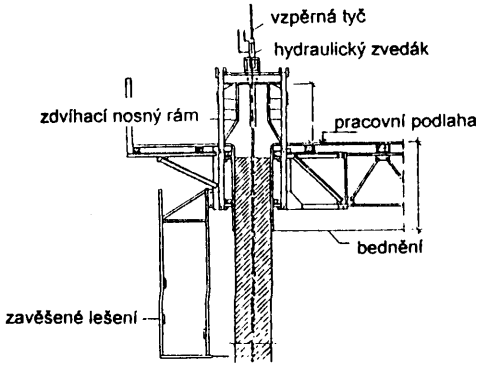
Beton má špatné tepelně-izolační schopnosti (λ = 1,2 - 1,7 $Wm^{-1}K^{-1}$), proto musí být pro obvodové konstrukce opatřen dodatečnou tepelnou izolací.

Betonová směs je ukládána do *bednění.* Bednění pro svislé monolitické konstrukce podle technologie dělíme na:

Příložné bednění, tvořené rámy z oceli nebo hliníkových slitin s deskovou výplní ocelovým plechem nebo vodovzdornými překližkami. Spojení jednotlivých bednících dílců je pomocí speciálních zámků, které umožňují jejich stupňovité propojení. S odbedňováním lze začít po 1 - 2 dnech. Bednicí systémy obsahují prvky pro svislé i vodorovné konstrukce, které se betonují současně, ale odbedňování stropů probíhá ve větších - až pětidenních cyklech..



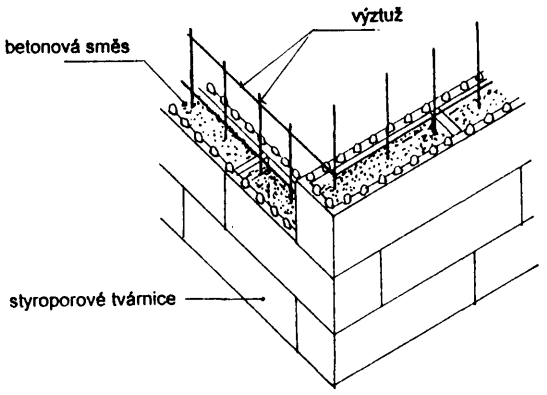
Posuvné bednění, tvořené obedňovacím jádrem výšky 1,2 - 1,5 m s dřevěnou nebo ocelovou vyztuženou konstrukcí, uzavřenou pracovní podlahou. Jádro je připojeno ke zdvihacím nosným rámům, jejichž svislý posun umožňuje mechanické nebo hydraulické zdvihací zařízení. Oporou jsou ocelové vzpěrné tyče, jejichž délka se řídí výškou podlaží. Rychlost posunu bednění je možná do 0,5 m/h v závislosti na tuhnutí betonové směsi. Tento druh bednění je vhodný především pro hladké svislé konstrukce (sila, komíny), ale lze ho použít i v konstrukcích ostatních (ztužující jádra, výtahové



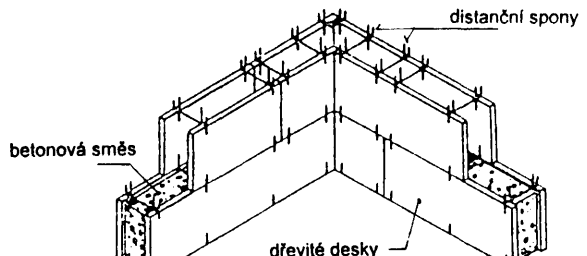
šachty, nosné stěny). Osazení stropních konstrukcí je dodatečně na vynechané kapsy ve stěnách (prefabrikované stropy) nebo napojením výztuže pomocí speciálních šroubovacích spojek (monolitické stropy) - viz též Monolitické konstrukce.

Ztracené bednění zůstává součástí svislé konstrukce i po zatuhnutí betonu.Takto vytvořené stěny lze též nazvat *prefamonolitické*. Bednění plní potom především tepelně izolační funkci. Dílce ztraceného bednění mohou tvořit:

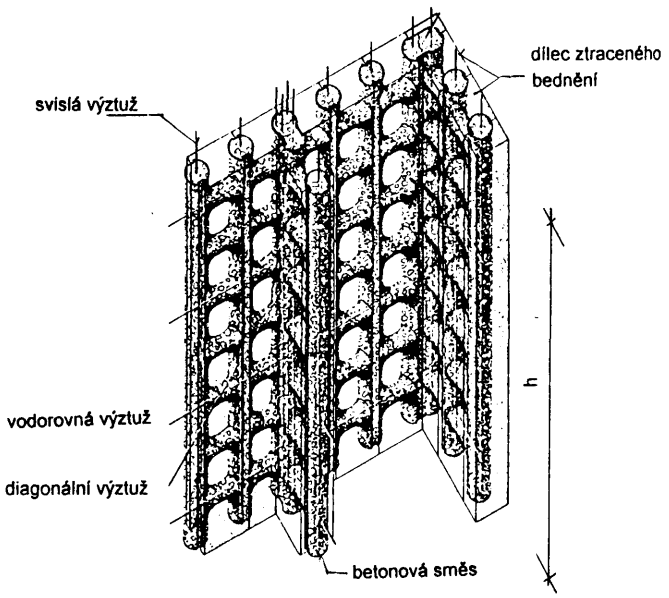
"Tvárnice" z vypěněného styroporu (250 mm x 300 mm x 1000 mm), které umožňují stavebnicovým způsobem vyskládat bednění až pro sedmipodlažní budovy (rodinné a obytné domy, skladovací haly, chladicí prostory), povrchová úprava je podkladem pro omítky. Podle požadavků na výslednou únosnost je možno vložit do bednění svislou i vodorovnou výztuž.



Desky z dřevitých odpadů (štěpek) s cementovým pojivem 2000 mm x 500 mm x 50 mm a tloušťky 25, 35, popř. 50 mm (např. systém Velox). Pro použití k vnějšímu povrchu obvodové stěny je na štěpkocementovou desku tl. 35 mm nalepena z vnitřní strany vrstva pěnového polystyrénem tl. 40 - 100 mm. Desky se spojují pomocí distančních spon tak, aby byla dodržena přesná vzdálenost a svislost stěn. Vnější povrch desek slouží přímo jako podklad pro omítku. Uvedený typ ztraceného bednění lze v závislosti na tloušťce železobetonového jádra vrstvené stěny použít i pro vícepodlažní objekty přes 10 podlaží.



Tyčové prvky na výšku podlaží, tvořené kompozitním materiálem *na bázi cementu* s plnivem z drceného *polystyrénu* (thastyron). V závislosti na počtu podlaží je možné vložení svislé, vodorovné i diagonální výztuže. Montáž bednění začíná v rohu, odkud se bednicí prvky postupně fixují ve svislé poloze, slepí se pěnou na bázi polyuretanu a spojí napínacím drátem. Vzniklé svislé a vodorovné dutiny se vyplní tekutou betonovou směsí, čímž se vytvoří nosné betonové jádro budoucí stěny. Povrch dílců umožňuje přímé omítání.



Vyztužené zdivo - vícevrstvé stěnové konstrukce s plášti z cihel nebo keramických tvarovek (např. tvárnice KB bloky ap.) s vyztuženým betonovým jádrem (viz též Vyztužené stěnové konstrukce).

■■ Prefabrikované betonové stěny

Orientace stavebnictví na průmyslovou výrobu dílců určených pro hromadnou bytovou výstavbu v letech 1955 - 1990 s sebou přinesla vývoj a aplikaci mnoha konstrukčních řešení stěnových systémů. Prefabrikace na jedné straně umožnila rychlou výstavbu s nízkou pracností, na druhé straně při omezených finančních prostředcích vedla k jednotvárnosti a uniformitě staveb. Výhody stěnové prefabrikace .

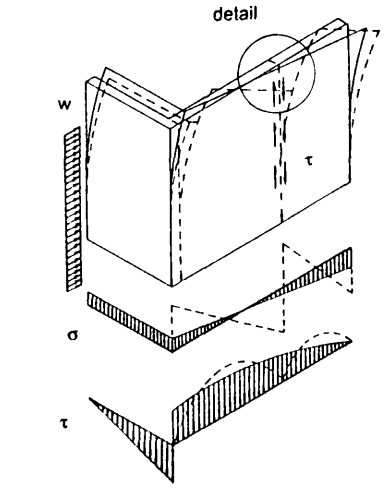
- *rychlost montáž,e*
- *nezávislost výstavby na ročním období,*
- *přesnost a kvalita povrchů.*

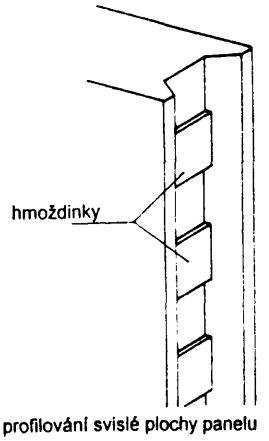
však pro určité typy staveb vytvářejí vždy konkurenční technologii k ostatním technologiím.

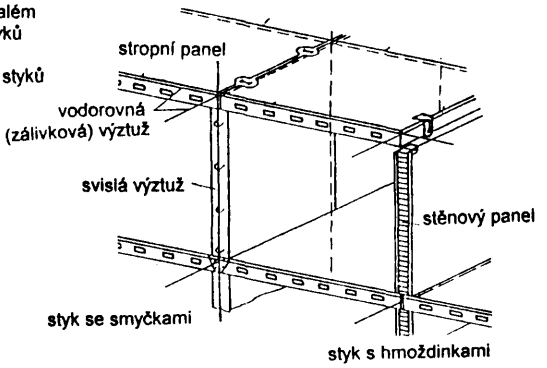
Betonové nebo železobetonové montované stěny jsou vytvářeny z jednotlivých stěnových panelů. Velikost panelů by měla být volena tak, aby byly optimálně využity zvedací prostředky, osazující panely na určené místo (např. technologie do 5 tun). Výška panelů odpovídá zpravidla světlé výšce místností, tloušťky panelů jsou min. 100 mm, běžně používané tloušťky jsou 150 mm. Tento rozměr je vhodný vzhledem k předpokládané únosnosti, splňuje i kritéria akustická a protipožární. Rozhodujícím článkem montovaných stěn jsou styky mezi jednotlivými panely. Zvláštnost styků oproti ostatním konstrukcím je dána podmínkami jejich výroby:

- *obtížnost ukládání a zpracování betonové směsi (B15 - B20) v omezeném prostoru,*
- *nemožnost kontroly a dosažení pevnosti, modulu pružnosti.*

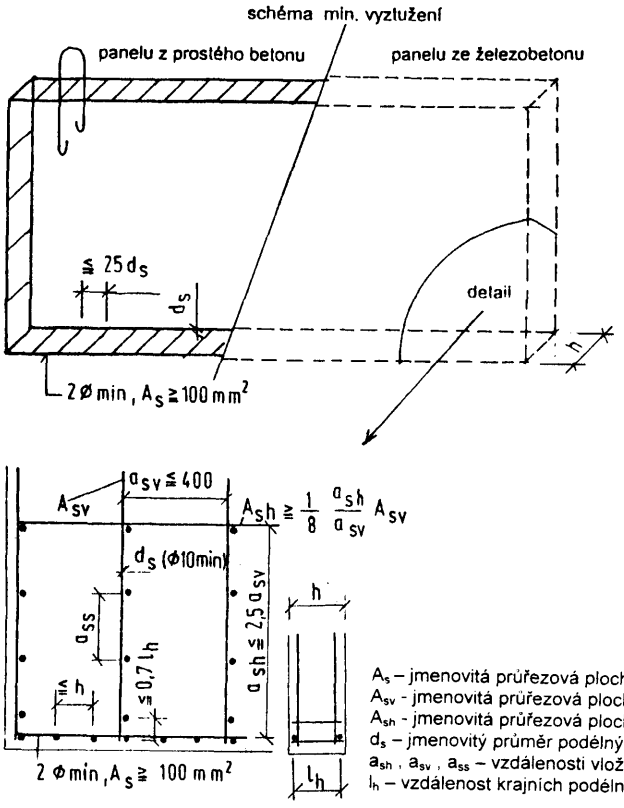
Svislé styky kromě *akustické a tepelně - izolační funkce*, kterou musí plnit ve stejném rozsahu jako vlastní prefabrikovaný dílec, zajišťují *statické spolupůsobení* veškerých prefabrikovaných stěn a přenášejí síly mezi panely navzájem. Význam statické funkce styků je znázorněn na obrázku. Jsou-li styky mezi panely schopny přenášet smykové síly (dokonale spolupůsobí se spojovanými stěnami), snižuje se namáhání i deformace svislých prvků. Přenos smykových sil je umožněn např. vytvořením "hmoždinek" profilací bočnic stěnových panelů. Základní podmínkou, aby styk s ozuby byl staticky účinný, je zabránění vzájemného oddalování panelů pod působícím zatížením. Z tohoto důvodu se musí styk opatřit výztuží soustředěnou buď do úrovně stropní desky a jí probíhajícího věnce nebo samostatně propojenými protilehlými oky spojenými skobami nebo svislou výztuží. Svislá výztuž styku plní i funkci bezpečnostní proti účinkům mimořádných zatížení (výbuch plynu). Musí přenést zatížení z horních podlaží do spodních v případě absence některého z panelů, aby nedošlo k postupnému zřícení celé konstrukce (progressive collaps).



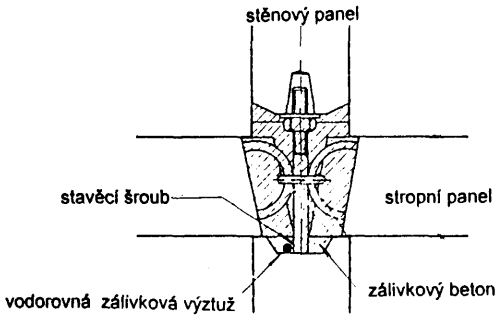




Stěnové dílce mohou být podle předpokládaného zatížení z prostého nebo slabě vyztuženého betonu nebo ze železobetonu. Všechny dílce musí obsahovat minimální výztuž po obvodě, při dolním a horním povrchu musí být umístěna min. jedna svařovaná síť. Nadpraží u panelů s dveřními nebo okenními otvory se vyztužuje jako ohýbaný nebo stěnový nosník v závislosti na výšce průřezu. Svislá část panelu užší než 0,5 m od okraje (při asymetricky umístěném otvoru) se vyztužuje jako sloup. Nepoměr mezi stupněm vyztužení části jednoho panelu však může vést k nerovnoměrnému namáhání a vzniku trhlin v dílci nebo přilehlém styku. Stěnové panely musí být opatřeny háky pro manipulaci při osazování.



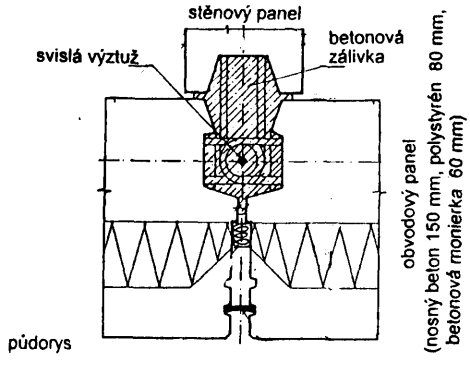
A_s – jmenovitá průřezová plocha betonářské výztuže
A_{sv} - jmenovitá průřezová plocha betonářské výztuže – vertikální
A_{sh} - jmenovitá průřezová plocha betonářské výztuže – horizontální
d_s – jmenovitý průměr podélných vložek
a_{sh} , a_{sv} , a_{ss} – vzdálenosti vložek
l_h – vzdálenost krajních podélných vložek rohože

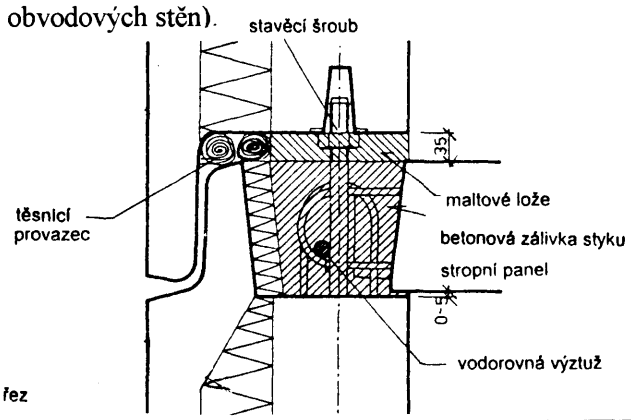


montovaný styk stěna - strop - stěna

Osazení stěnových panelů se provádí pomocí dřevěných klínků nebo rektifikačních šroubů do maltového lože. Cementová malta s kamenivem s horní frakcí 4 mm má pro montáž na stavěcí šrouby menší vodní součinitel, aby nedocházelo před uvolněním šroubů k jejímu sedání. Při svislém odříznutí přebytečné malty nesmí dojít k vydrolování okrajů maltového lože, které by způsobilo klínový účinek ve stěně.

Prefabrikované betonové jednovrstvé stěny nesplňují požadavky tepelně technické pro obvodové konstrukce. Jako kompletizované výrobky jsou speciální vícevrstvé dílce, určené pro nosné obvodové konstrukce (viz též Vrstvené konstrukce nosných obvodových stěn).

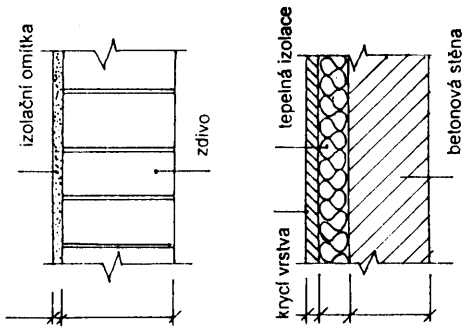


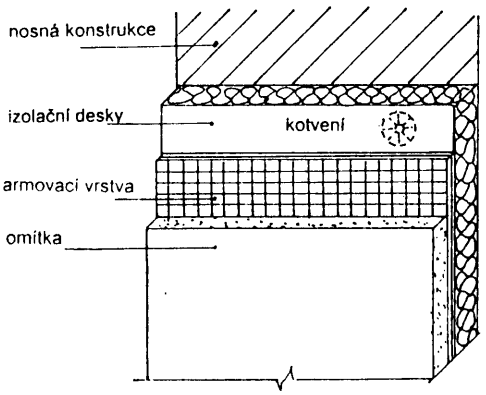


■ Vrstvené konstrukce nosných obvodových stěn

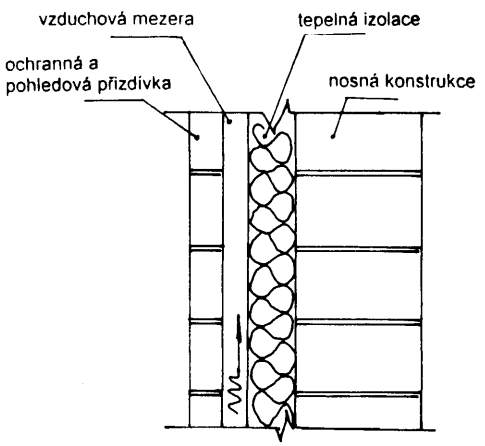
Mnoho stavebních materiálů, které vyhovují požadavkům na pevnost a únosnost (kámen, beton prostý i železový, hutný cihlářský střep), jsou též dobrými vodiči tepla. Není proto vhodné, aby při použití v obvodových konstrukcích plnily kromě statické funkce i funkci tepelně izolační. Tu musí plnit další materiály přidané na vnější povrch nosné konstrukce tak, aby byl dosažen minimální požadovaný tepelný odpor $R = 2{,}0\ m^2KW^{-1}$. Pro vrstvené konstrukce je jeho výsledná hodnota daná součtem dílčích hodnot všech vrstev. Obvodové stěnové konstrukce z hlediska řazení tepelně izolačních vrstev jsou:

Kontaktní pláště s tepelným izolantem bezprostředně souvisejícím s nosnou konstrukcí. U konstrukcí z keramických materiálů, kdy k dosažení potřebného tepelného odporu stačí slabá izolační vrstva (např. u rekonstrukcí), plní funkci přídavného izolantu tepelně izolační omítky s plnivem z perlitu drceného polystyrénem ap. Tam, kde je tepelný odpor nosné konstrukce velmi nízký (železobetonová stěna tl. 150 mm, $R = 0{,}09\ m^2KW^{-1}$), musí účinný izolant zajistit požadované hodnoty prakticky sám (polystyren tl. 85 mm, $R = 1{,}97\ m^2KW^{-1}$). Izolant je vně chráněn krycí vrstvou. Kontaktních zateplovacích systémů existuje velké množství, lze je vytvářet současně s nosnou konstrukcí (viz též Monolitické stěny, ztracené bednění) nebo dodatečně upevňovat. Princip izolačního systému je následující: na nosný podklad je připevněna deska z minerální vlny nebo pěnového polystyrénu pomocí kotevních hmoždinek, přilepením nebo kombinací hmoždinek s přilepením. Armovací vrstva z tkaniny ze skelných nebo polypropylénových vláken zajišťuje jednolitost finálního povrchu bez trhlin v místě spojů nosné konstrukce nebo zateplovacích desek, je ukládána do speciální malty. Finální povrch tvoří modifikované plasty umožňující větší deformace bez vzniku trhlin. Kontaktní systémy znemožní vznik tepelných ztrát v zimním období, nejsou však schopny dokonale chránit konstrukci před teplotními zisky v letním období, kdy se může teplotní účinek negativním způsobem projevit na napjatost vnitřní nosné konstrukce.



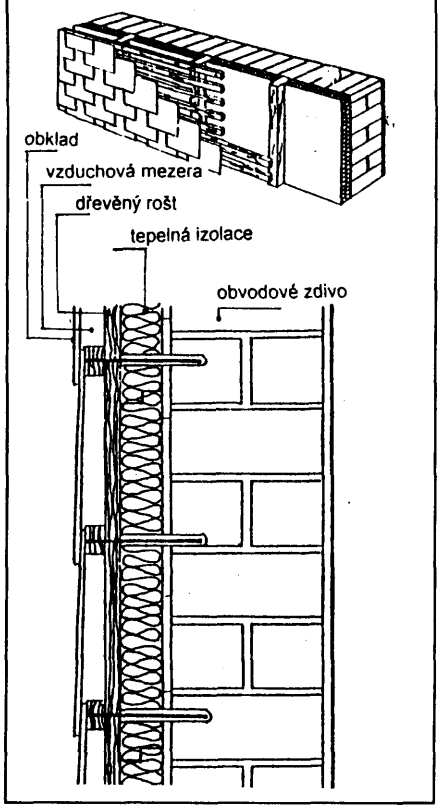


Skládané pláště s kontaktní vrstvou tepelného izolantu, provětrávanou vzduchovou mezerou a ochrannou krycí vrstvou. Vzduchová mezera optimální šířky cca 40 mm zajistí snížení teplotních zisků a tím i menší teplotní gradient způsobující zatížení nosné konstrukce vynuceným přetvořením v důsledku teploty. Nosná obvodová konstrukce tak může být lépe využita k přenášení silových zatěžovacích účinků. Principy řešení krycích pohledových vrstev jsou buď na bázi prefabrikované, vyzdívané z lícových cihel do kotevních profilů upevněných v úrovni stropní konstrukce nebo kotvených pomocí spon přímo k nosné konstrukci a nebo pomocí obkladových fasádních prvků na bázi metalické a plastické upevňovaných na roštovou konstrukci.

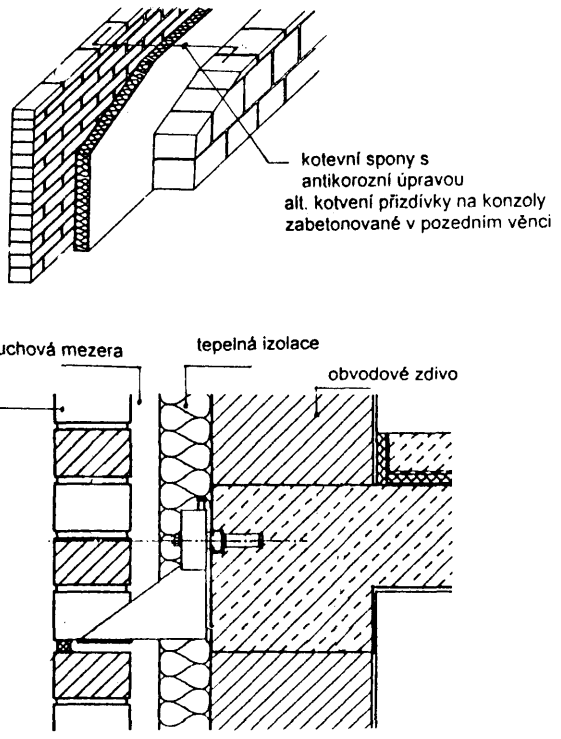


Principy vrstvených konstrukcí obvodových stěn

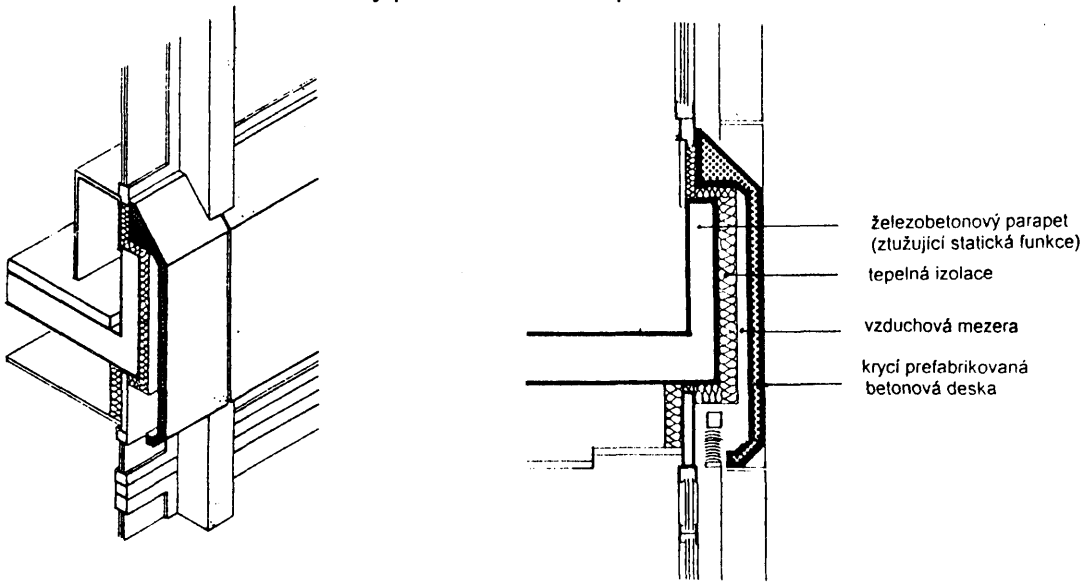
DVOUPLÁŠŤOVÉ ZATEPLENÍ
suchý proces



DVOUPLÁŠŤOVÉ ZATEPLENÍ
mokrý proces



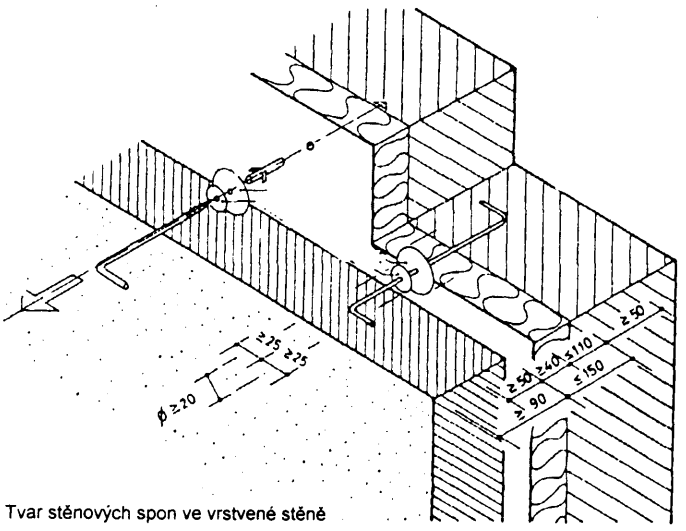
DVOUPLÁŠŤOVÉ ZATEPLENÍ
suchý proces - betonová prefabrikace



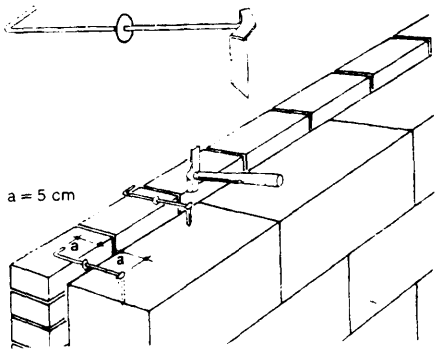
Principy kotvení vnějších vrstev skládaných plášťů.

K zajištění statické spolehlivosti vrstvených stěn skládaných plášťů a celé zděné konstrukce objektu slouží celý soubor pomocných prvků a doplňkových konstrukcí.

Stěnové spony, spojují obě části obvodové vrstvené stěny, jsou zakotvené v obou vrstvách a procházejí přes vzduchovou mezeru a vloženou vrstvu tepelné izolace. Materiál stěnových spon může být pouze antikorozní (nerez) ocel, používané průměry jsou 3 až 5,5 mm. Stěnové spony jsou uloženy v ložných spárách zdiva i vnější vrstvy na výšku ložných spár dle použitého modulu zdicích prvků 150 nebo 250 mm. Délka kotvy vychází ze statických požadavků na únosnost kotvy a z tepelně technického požadavku šířky mezery 40 mm pro zajištění provětrávání lícové vrstvy předsazené před tepelně izolační zdivo nebo vloženou tepelnou izolaci tl. 80 - 120 mm. Stěnové spony jsou kotveny min. 50 mm za líc cihel a zahnuty min. 25 mm do ložné spáry v obou vrstvách, U vnitřní vrstvy zdiva z lehkého betonu se kotva zatlouká. Stěnové spony musí přenášet silové účinky zatížení (tlak a sání větru) a přetvárné účinky zatížení (rozdílnou deformaci od nestejné teploty, vlhkosti, svislého přetvoření včetně dotvarování). Profily a rozmístění spon musí být navrženy na základě statického výpočtu, nejmenší počet kotev na 1m^2 stěny je 5 ks. Při návrhu skladby lícového zdiva je nutno uvažovat s nutností svislých i vodorovných dilatací vnější vrstvy. Pro vertikální dilatační spáry lze předběžně uvažovat vzdálenosti s ohledem na orientaci vůči světovým stranám (západ - max. 8 m, jih - max. 9 m, východ - max. 10 m, sever - max. 11 m). Horizontální dilatace se předběžně navrhují ve vzdálenostech 9 - 12 m. Velikosti obou dilatačních úseků je nutno navrhnout pro konkrétní materiály vnějších vrstev na základě statického výpočtu.

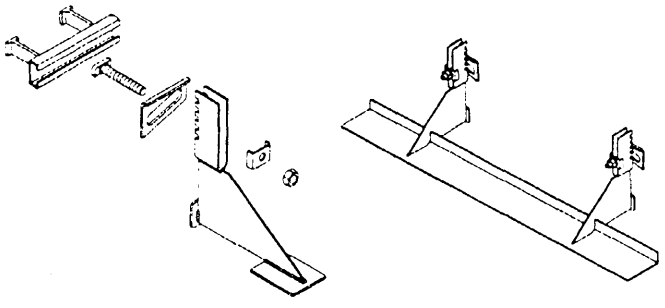


Tvar stěnových spon ve vrstvené stěně



Připevnění kotvy do zdiva Hebel do dvourstvého zdiva se vzduchovou a vnitřní vrstvou z přesných tvárnic.

Závěsné konzoly a úložné prahy slouží též k vynášení vnější vrstvy lícového zdiva a dále pro vynášení nadpraží otvorů. I tyto prvky musí být navrženy z antikorozní oceli. Rozmístění konzol je dáno únosností prvku, tj. většinou mezním zatížením v kN doporučeným výrobcem. Při použití těchto prvků, které jsou ve většině případů zahraniční výroby, je nutný certifikát výrobku (např. systém Halfen).


sestavené díly závěsné kolejnice vč. kotevní lišty úložné prahy

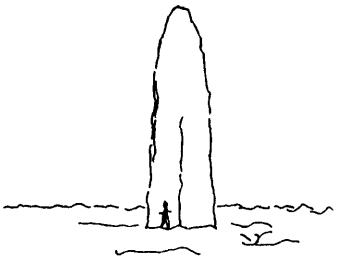
SLOUPY A PILÍŘE

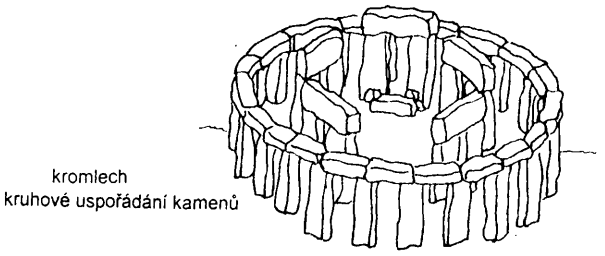
Columns and Pillars

Stützen und Pfeiler

E4

■ Kamenné sloupy a pilíře

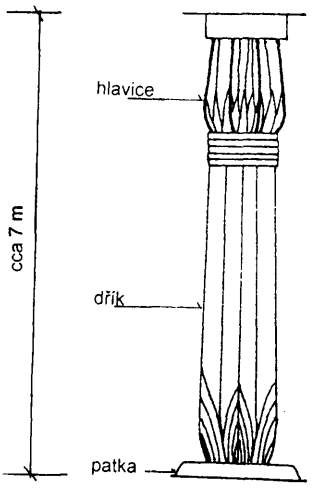




Kamenné stavby díky vynikajícím mechanickým vlastnostem kamene (viz též kamenné stěny) jsou dokladem nejstarší lidské stavební činnosti. Předdějinné pilířovité stavby pocházející z mladší doby kamenné, pravděpodobně náboženského účelu, jsou svisle postavené monolitické kamenné sloupy - *menhiry.*

Překlenutím dvou pilířů vodorovným kamenným prvkem byl vyřešen základní konstrukční princip architrávového systému (t.j.soustavy podpor a k nim proporčně vhodným trámem), který je ve stavitelství používán více než 5000 let (*megalitické stavby* - Stonehenge, Velká Británie)

Kamenné monolitické sloupy byly používány v počátcích monumentální staroegyptské architektury (1500 - 1100 př.n.l.). Egypťané byli mistry v lámání a opracování kamene. V duchu egyptského náboženství byly stavěny dlouhé štíhlé monolity, nazývané „zhmotnělým paprskem slunce". Kamenný sloup nejprve pouze symbolizoval přepis svazku rostlin papyru do ušlechtilého materiálu. Přesto již jeho tvar vychází ze hry vnitřních sil:

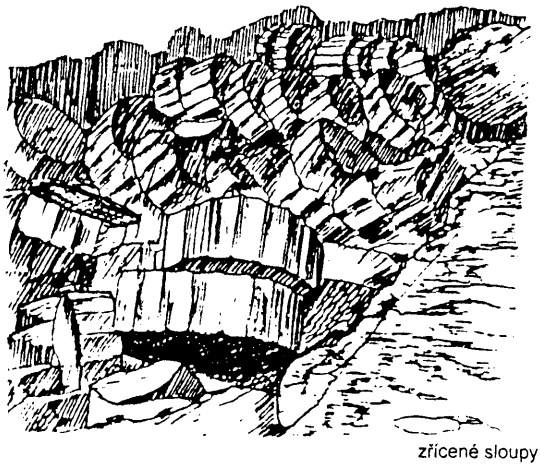


- sepnutí několika svazků (převážně 6-8 kusů) štíhlých papyrových stvolů symbolizuje plnou nosnou sílu jednotlivě křehkých lodyh
- zesílení průřezu v dolní třetině výšky jako vyjádření nejvíce exponovaného místa z hlediska vybočení vzpěrným tlakem.

Monumentální sloupy chrámových lodí měly výšku kolem 7 m a více za poměru šířky k výšce 1 : 6. Vzhledem k empirickým návrhům konstrukce, transportu a možnostem opracování se jednalo o masívní průřezy.

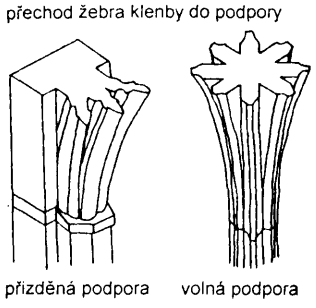
S rozvojem technologií opracování kamene (cca do r. 2500 př.n.l.) se sloupové kolonády, podpěry nosníků chrámů a další podpěrné prvky vytvářely z jednotlivých segmentů, ***"bubnů"***. Ložné spáry byly dokonale opracovány s mírně zdrsnělým povrchem pro zvýšení přilnavosti maltového lože. Spojení jednotlivých bubnů bylo dáno gravitačním působením masívní konstrukce. Pro fixaci polohy byly bubny spojovány dřevěným čepem. Použití dřeva ke spojení kamenných bloků vycházelo z dokonalých znalostí místních klimatických podmínek a v oblastech na sever od Středozemního moře se vyskytuje zřídka. Podnebí Egypta se totiž vyznačuje zanedbatelnou vzdušnou vlhkostí, takže je vyloučeno nebezpečné bobtnání dřeva vyvozující příčné síly v těsném spoji dřevo - kámen.

Řecké a římské sloupy zahajují éru klasické architekury. Z konstrukčního hlediska jsou vždy tvořeny jednotlivými bubny půdorysného tvaru kruhu, čtverce nebo obdélníku. Kameny byly spojovány nasucho bez malty kovovými skobkami, které měly umožnit přenos vodorovných sil. V mnoha případech bylo toto spojení pouze montážní a nebo degradací vlivem klimatických podmínek přestalo plnit svou statickou funkci. O ztrátě schopnosti přenést vodorovné síly svědčí v seismických oblastech kolem středozemního moře mnoho zřícených sloupů antických chrámů.



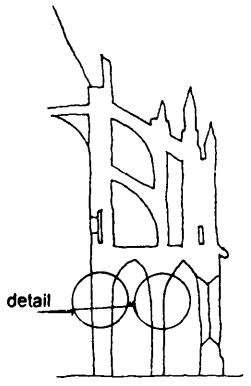
zřícené sloupy složené z bubnů

Kamenné sloupy a pilíře byly dovedeny ke konstrukční dokonalosti (štíhlost, opracování, napojení na vodorovné konstrukce) v období gotiky ve 12. - 15. století. Výšky chrámových lodí přes 30 m byly umožněny zavedením opěrného systému, který přenášel vodorovné síly z kleneb do základů. Opěrný systém tak přispíval k převládajícímu zatížení kamenných sloupů tlakem.



přechod žebra klenby do podpory

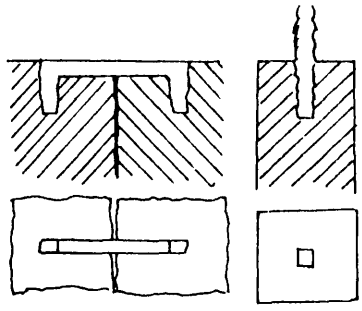
přizděná podpora volná podpora



gotický opěrný systém

Kamenné sloupy a pilíře byly ve stavitelství používány vždy pouze u staveb, které měly trvalý a reprezentativní charakter (chrámy, kostely, paláce). Stavební předpisy z minulého století předepisovaly dvě možnosti spojení kvádrů:

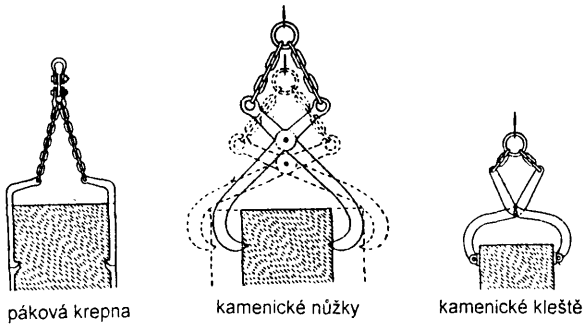
- *kamenickou skobou* délky 150 - 250 mm z kovaného hranatého železa, na koncích nasekaného,
- *čepem* z kovaného, oboustranně nasekaného hranatého železa.



kamenická skoba čep

Místo železa, které korozívními účinky zvětšuje svůj objem a kamenný spoj by mohlo roztrhnout, byly používány u významných staveb skoby a čepy z nerezavějících kovů, např. z mědi nebo mosazi.

K osazování kamenných kvádrů na místo určení se používaly speciální kamenické pomůcky.



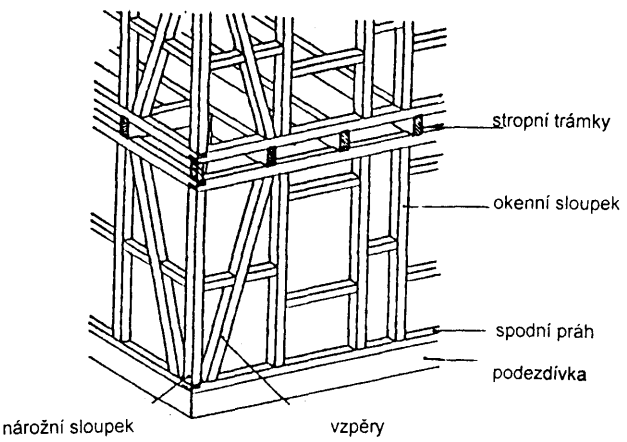
páková krepna kamenické nůžky kamenické kleště

Vzhledem k levnějším a lépe opracovatelnějším materálům se v současné době kamenných sloupů jako konstrukčních prvků užívá velmi zřídka a výsledný povrchový efekt bývá dosažen obkladem z kamenných desek na nosné konstrukci sloupu z jiného materiálu.

■ Dřevěné sloupy

Dřevěné sloupové konstrukce vzhledem k dostupnosti materiálů a jeho snadnému opracování ve vývoji stavitelství předcházely konstrukcím z kamene.

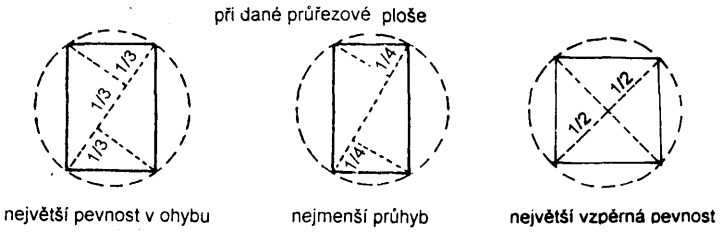
V lidovém stavitelství a s konstrukčními úpravami (řešení styků, opracování řeziva) se dřevěné sloupové konstrukce používají dodnes.



Z hlediska *tepelně technického* slouží v současnosti jako výplňové materiály mezi nosnými dřevěnými profily účinné izolanty. V Německu, kde tradice *hrázděných staveb* v novostavbách i rekonstrukcích vyvolává potřebu širokého sortimentu výplňových materiálů, se používají pórobetonové, keramzitbetonové nebo pemzobetonové tvárnice.

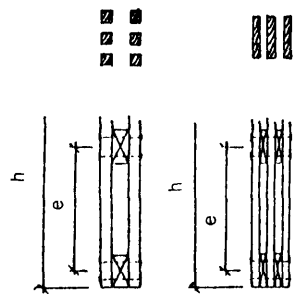
Dřevěné sloupy se dělí na:

celistvé, tvořené masivem dřeva s opracovanými hranami. Průřezová plocha sloupu je dána maximálním možným průřezem rostlého kmene. Běžný současný sortiment je do průřezu 180/250 mm.



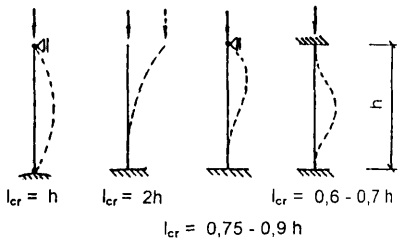
složené, vzniklé průběžným spojením subtilnějších profilů pomocí hřebíků, ocelových hmoždíků nebo lepením. Výsledná průřezová plocha sloupu je větší, tvarově je možno uspořádat průřez tak, aby jeho namáhání v konstrukci bylo optimální.

členěné, tvořené dílčími subtilnějšími profily spojenými navzájem hřebíky nebo ocelovými hmoždíky prostřednictvím po výšce neprůběžných vložených profilů. Tento typ sloupů umožňuje nahradit velké plné profily pomocí menších vhodně prostorově uspořádaných. Únosnost členěného sloupu může být při dané spotřebě materiálu vyšší než plného, neboť prostorové uspořádání zajišťuje vyšší vzpěrnou pevnost.



Z hlediska *statického* rozhoduje o minimálním průřezu dřevěných sloupů:

- *únosnost* v dostředném nebo mimostředném tlaku
- *štíhlostní poměr* $l_{cr}/i < 120$, kde l_{cr} je vzpěrná délka prutu a i je poloměr setrvačnosti určený v závislosti na průřezu prutu.



charakter vybočení při ztrátě stability

Požární odolnost dřevěných sloupů:

- bez impregnace a bez omítky pro průřez 120 mm/120 mm....10 min.
  200 mm/200 mm.....20 min.
- bez impregnace s omítkou na pletivu tl. 15 mm....25-35 minut
  tl. 25 mm....40-60 minut

■ Cihelné sloupy a pilíře

Cihelné sloupy a pilíře se používají v nosném zděném konstrukčním systému tam, kde z dispozičních důvodů je požadována větší půdorysná plocha vnitřních prostor nebo jako fasádotvorných prvků v průčelí prolomeném okenními otvory, výkladci apod. Na sloupy a pilíře jsou kladeny především požadavky statické a požární bezpečnosti, v omezeném rozsahu též tepelně izolační, jsou-li součástí obvodových konstrukcí.

Tvarově rozlišujeme sloupy a pilíře na:

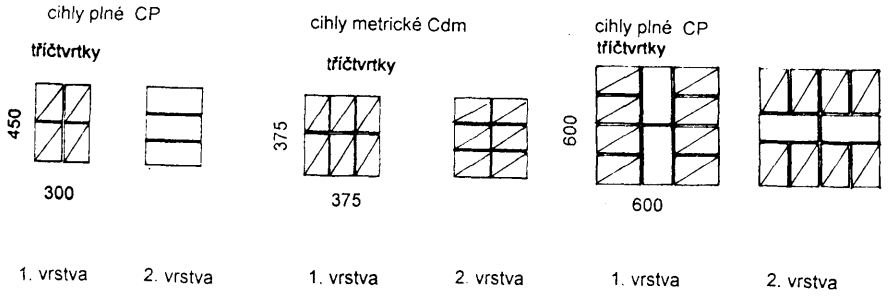
- *pravoúhlé*
- *tupoúhlé*
- *kruhové*

Cihelné sloupy a pilíře jsou prvky přenášející zatížení lokálním způsobem. Výslednice normálové síly od vnějšího zatížení určuje způsob namáhání svislého prvku:

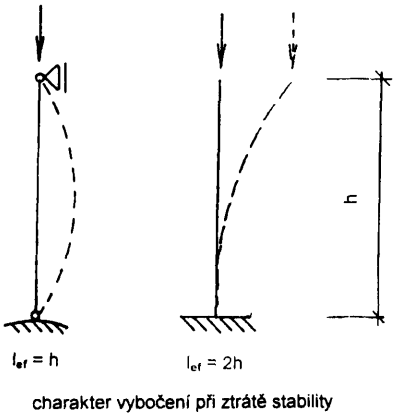
- *dostředný tlak*, výslednice působí v těžišti průřezu,
- *mimostředný tlak*, výslednice je < 0,45 násobku vzdálenosti nejvíce tlačeného okraje průžezu od těžišťové osy nebo výslednice je v rozmezí 0,45 - 0,7 násobku vzdálenosti nejvíce tlačeného okraje průřezu od těžišťové osy,
- *ohyb*, výslednice je déle než 0,9 násobku vzdálenosti nejvíce tlačeného okraje průměru od těžišťové osy.

Statické požadavky na sloupy a pilíře:

- dodržení vazby zdiva. Vazba je v některých případech daná dvěma (i více) střídajícími se vrstvami.



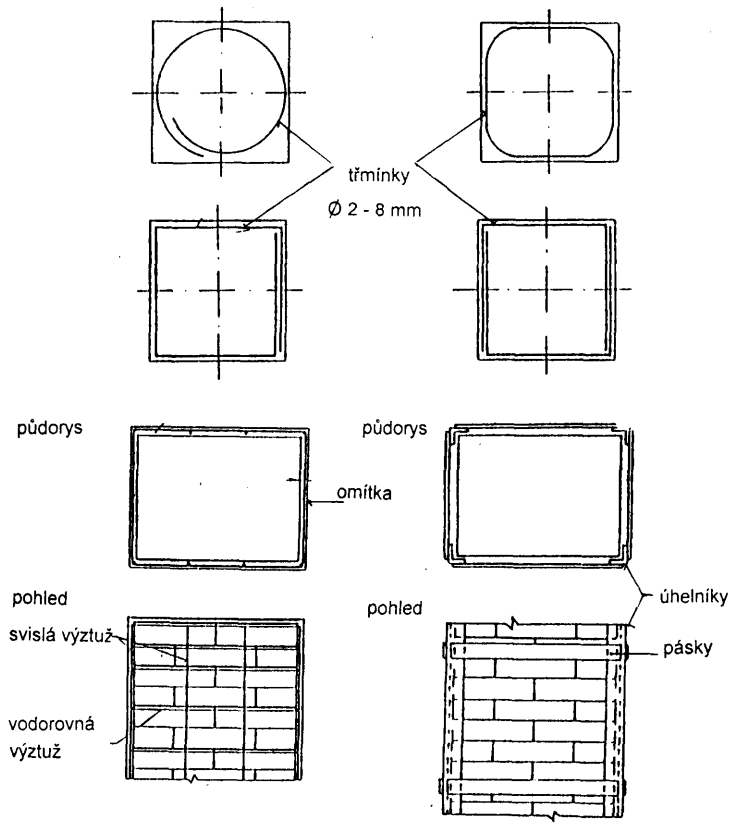
- uvažování vzpěru, který zmenšuje výslednou únosnost zdiva v závislosti na poměrech vzpěrné délky pilíře l_{ef}, jeho průřezových charakteristikách (plocha, moment setrvačnosti) a součiniteli přetvárnosti zdiva. Ke zkrácení vzpěrné délky ($l_{ef} = h$) přispívá tuhá stropní tabule. Pro zděné sloupy a pilíře přichází v úvahu kromě základních schémat ještě poddajné opření zhlaví (např. u podélných stěn jednopodlažních budov), kde l_{ef} = 1,25 h u vícetraktů a l_{ef} = 1,5 h u jednotraktů.



charakter vybočení při ztrátě stability

Vzhledem k většímu zatížení sloupů a pilířů volíme zpravidla únosnější stavivo i maltu, případně může být únosnost zvýšena dalšími konstrukčními opatřeními:

- *vložením třmínků* do ložných spar (viz Vyztužené a předepnuté zděné konstrukce).
- *oplášťováním* vyztuženou omítkou tl. 30 - 50 mm. Cementová omítka se na povrch zdiva nanáší stříkáním (tzv. torkretováním). Protože je nutné dodržení krycích vrstev výztuže, používají se ocelové pruty profilů 6 - 16 mm na svislou výztuž a 4 - 10 mm na vodorovnou výztuž.
- *vnesením předpětí* pomocí ohřátých ocelových objímek. Součástí ocelové objímky jsou svislé nárožní ocelové úhelníky a vodorovné pásky, které se ohřejí plamenem na teplotu 80 - 120° C a vzájemně svaří. Potom se obalí jemnou ocelovou sítí a pilíř se omítne.



Úpravy cihelných sloupů a pilířů se spočívající buď v oplášťování nebo v předopnutí se používají především při rekonstrukcích, kdy je nutno podstatně zvýšit jejich únosnost nebo kdy je zdivo výrazně porušeno. Třmínky se vkládají též do nových konstrukcí.

Únosnější zdivo pilířů vykazuje menší poměrné přetvoření e_x a e_y v porovnání s ostatním méně únosným zdivem nosných stěn, jsou-li kombinovány v rámci jednoho konstrukčního systému. Tuto skutečnost je nutno respektovat při návrhu tuhé stropní desky, do které bude vnášena rozdílná deformace podpor.

Sloupy a pilíře nesmějí být oslabovány prostupy a drážkami, pokud toto oslabení není součástí statického návrhu. Dodatečné osazování plynoměrů, elektrorozvodnic a dalších instalací do nosného zdiva - zpravidla fasádních pilířů - musí být vždy staticky posouzeno.

V souvislosti s rekonstrukcemi dochází často též k vybourávání původních stropních konstrukcí a vytváření nových dispozičních řešení (např. dvoupodlažní vstupní prostory bankovních hal, restaurací ap.). Je třeba si uvědomit, že se v těchto případech mění statické schéma podepření konců cihelného sloupu nebo pilíře při namáhání vzpěrným tlakem. Konstrukčními úpravami je nutno jejich vybočení zabránit.

Požární odolnost sloupů z cihel plných nebo děrovaných s nejvyšším obsahem dutin do 15 % objemu, zděné na maltu pevnostní značky min. 0,4 MPa je 240 minut.

Tepelně technické požadavky na sloupy a pilíře obsažené v obvodových konstrukcích závisí na splnění požadovaného tepelného odporu R = 2,0 m^2KW^{-1} buď vlastní nosnou konstrukcí nebo přidáním účinějšího izolantu z vnější strany.

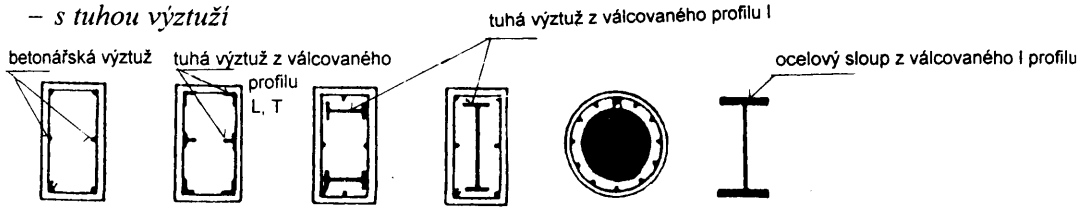
■ Betonové sloupy

■■ Monolitické betonové sloupy

Monolitické sloupy jsou prutové konstrukční prvky, zpravidla používané jako součást monolitických skeletových systémů. Na sloupy jsou kladeny především požadavky statické a požární bezpečnosti, ostatní funkce související s obecnými požadavky na stavební konstrukce plní další přídavné materiály (hlediska estetická, tepelně technická, akustická).

Podle způsobu vyztužení rozlišujeme monolitické sloupy:

- *z prostého nebo slabě vyztuženého betonu*
- *ze železobetonu*
- *s tuhou výztuží*

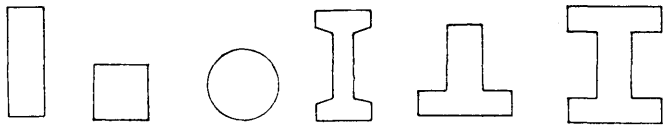


Vyztužení průřezu

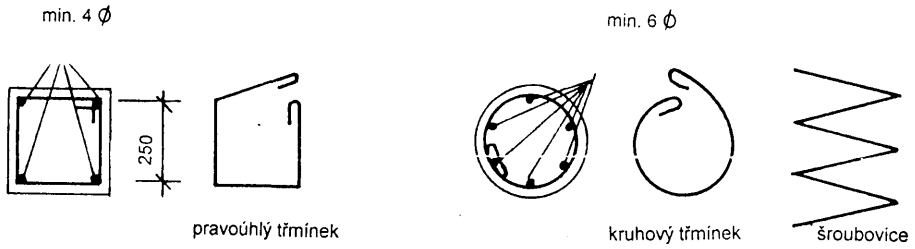
0,6% až 3%	10% až 30%	80% až 100%
sloup z vyztuženého betonu	betonový sloup s tuhou výztuží	ocelový sloup

Podle půdorysného průřezu rozlišujeme monolitické sloupy :

- *obdélníkové a čtvercové*
- *kruhové*
- *složené průřezy*



Minimální konstrukční vyztužení sloupů je svislými 4 ∅10 dle ČSN nebo 4 ∅12 dle EC 2 umístěnými v rozích obdélníkového nebo čtvercového průřezu nebo 6 ∅10 (6 ∅12 EC 2) po obvodě kruhového průřezu. Tyto pruty jsou po výšce propojeny třmínky uzavřených tvarů nebo šroubovice u kruhových sloupů (ovinutá výztuž).



Minimální rozměr sloupu je 250 mm dle ČSN nebo 200 mm dle EC 2.

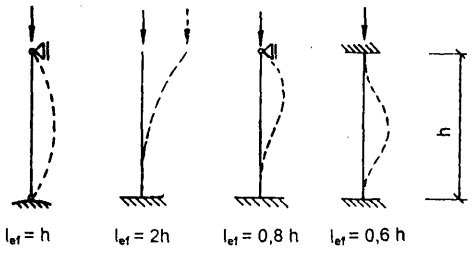
Vzhledem k charakteru namáhání:

- dostředný nebo mimostředný tlak,
- ke geometrickému tvaru prvků (vysoký štíhlý prut),

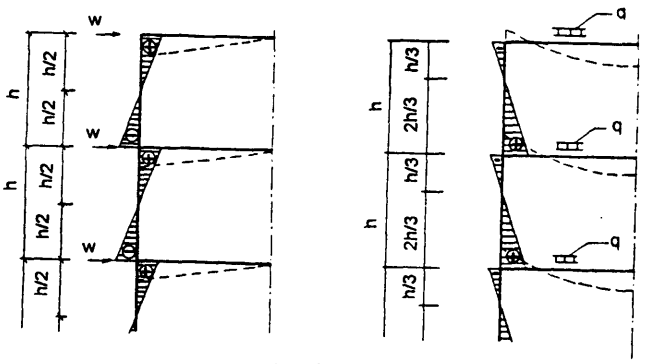
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústřední knihovna fakulty stavební a fakulty architektu
166 29 Praha 6, Thákurova 7
IČO: 68407700

rozhoduje o minimálním rozměru též štíhlostní poměr. Je-li jeho hodnota překročena, musí se půdorysné rozměry zvětšit. Pro sloupy z prostého betonu musí být štíhlostní poměr: $l_e/i_b < 80$ a pro železobetonové sloupy $l_e/i_b < 150$.

Vzpěrná délka l_e se určí v závislosti na upnutí konců sloupu.



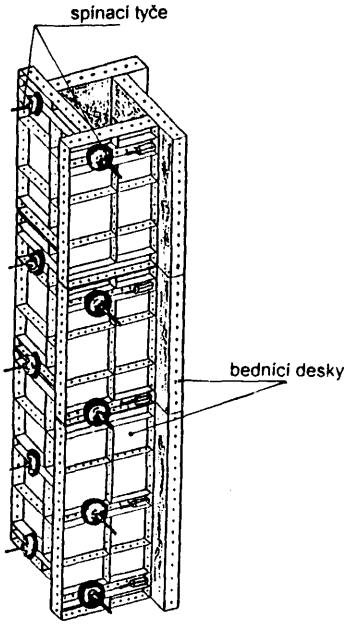
Monolitické sloupy jsou v konstrukčním systému často propojovány tuhými styčníky s vodorovnými prvky (průvlaky, příčlemi) a vytvářejí spolu s nimi patrové rámy. V těchto případech jsou do sloupů vnášeny ohybové momenty od vnějších zatěžovacích účinků (vítr, svislé zatížení).



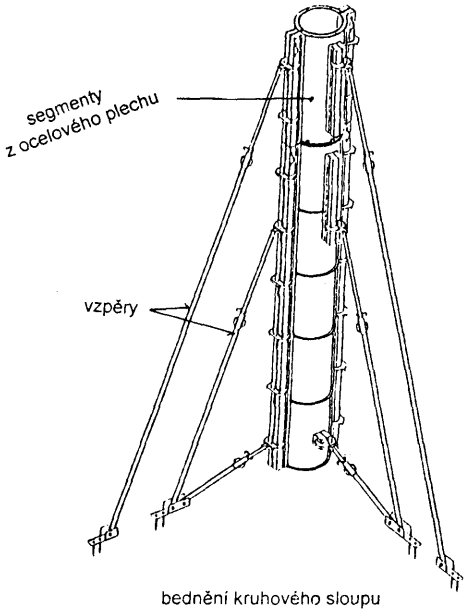
momenty v rámových sloupech

S intenzitou zatížení větrem, která se zvětšuje s výškou budovy, vzrůstají i ohybové momenty ve sloupech. Vliv tohoto zatížení potom rozhoduje o dimenzích sloupů a spotřebě výztuže, ekonomické použití rámových sloupů je proto omezeno počtem cca 25 podlaží.

Betonáž sloupů je v současnosti vysoce mechanizována. Výztužné vložky tvoří předem vyrobené armovací koše, které se fixují do bednění. Bednění pro čtvercové i kruhové sloupy je tvořeno snadno sestavitelnými dílci s vysokou obratovostí (viz též Monolitické konstrukce). Ocelové kruhové bednění (např. systém Meva) zaručuje hladký pohledový povrch, který se uplatní u staveb pozemních (průmyslové haly, garáže) i u staveb inženýrských (mostní pilíře).



bednění čtvercového sloupu (BEST)



bednění kruhového sloupu

Požární odolnost betonových sloupů v závislosti na kvalitě betonu, tloušťce krycí vrstvy výztuže (bez omítky) je pro min. průřez 250/250 mm 60 - 90 minut.

■■ Prefabrikované betonové sloupy

Prefabrikované betonové sloupy se používají jako součást montovaných skeletů halových a vícepodlažových budov. Minimální půdorysný rozměr sloupu je 150/150 mm (dle ČSN) nebo 140/140 (dle EC2). Tvarově se rozdělují na:

tyčové, používané pro:

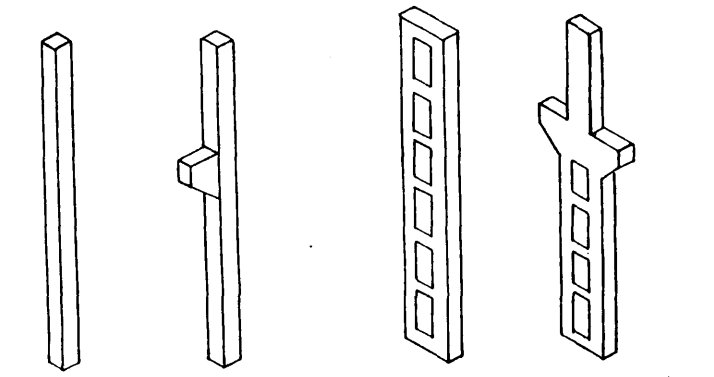
vícepodlažní skelety bytových a občanských staveb,

tyčové s konzolou, používané pro:

jedno i vícepodlažní skelety průmyslových staveb,

členěné, používané pro:

jedno i vícepodlažní skelety průmyslových staveb.

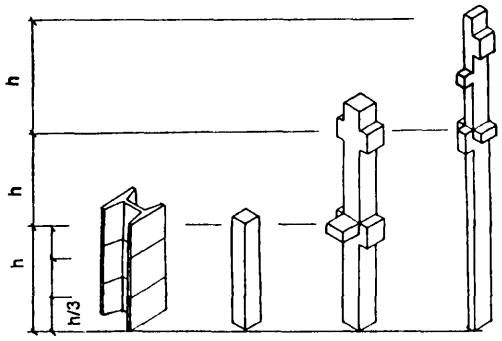


Půdorysné tvary prefabrikovaných sloupů jsou:

- *čtvercové nebo obdélníkové*
- *I průřezu*

Z hlediska délky rozdělujeme sloupy na:

- *kratší než výška podlaží*
- *jednopodlažní*
- *vícepodlažní*



Kritériem pro velikost sloupu jsou:

- *dopravní možnosti:*

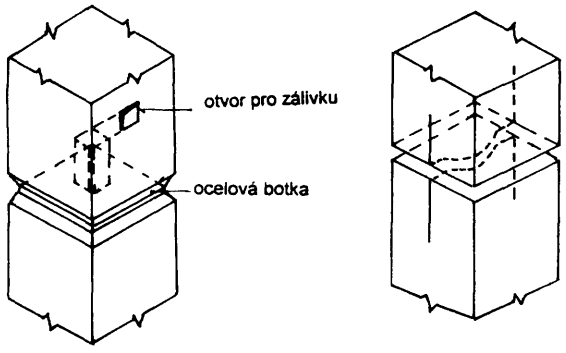
umístění na návěsu, doprava naležato až do délky sloupu 18 m

- *hmotnostní limit:*

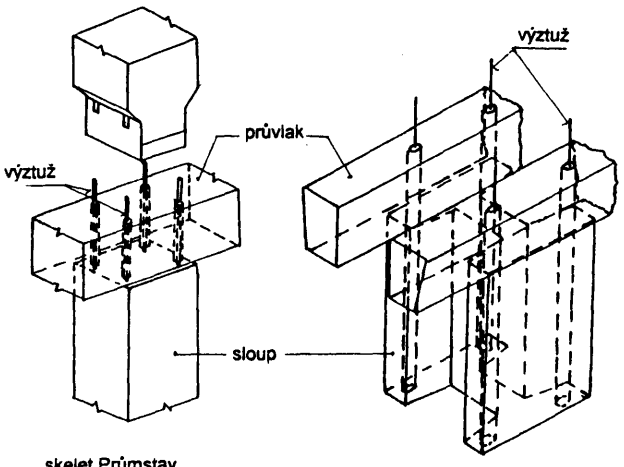
hmotnost každého z prvků montované konstrukce by měla být přibližně stejná vzhledem k efektivnosti využití zvedacího prostředku (např. pětitunová nebo osmitunová technologie).

Vzhledem k tomu, že sloupy spolu s průvlaky vytvářejí nosný stystém, je možno řešením styků sloup - sloup a sloup - průvlak volit výsledné statické schéma konstrukce.

Kloubové styky sloupů musí přenést normálovou a posouvající sílu. Kontakt mezi sloupy je buď prostřednictvím speciálních ocelových botek nebo ložnou spárou z cementové malty. Ložná spára o tloušťce větší než 25 mm musí být vyztužená svařovanou mřížovinou, která zachytí příčné tahy. Stykování sloupů se často provádí mimo stropní konstrukci ve spodní třetině podlaží v místě nejmenších ohybových momentů.



Tuhé styky sloupů přenášejí kromě normálové a posouvající síly i ohybový moment. Spojení sloupů je nejčastěji přivařením výztuže vyčnívající z dolního sloupu k zabetonovaným ocelovým deskám nebo úhelníkům v horním sloupu. Častým řešením je u našich systémů stykování sloupů přes průvlak (*Čapkův styk*). To je realizováno provléknutím výztuže ze zhlaví dolního sloupu otvory v průvlaku, přivařením výztuže k úhelníkům horního sloupu a zalitím otvoru koloidní cementovou maltou. Tuhý styk sloupů tak svírá průvlak a vytváří rámový styčník schopný přenášet ohybové momenty mezi sloupy a průvlaky (vetknutí průvlaku).

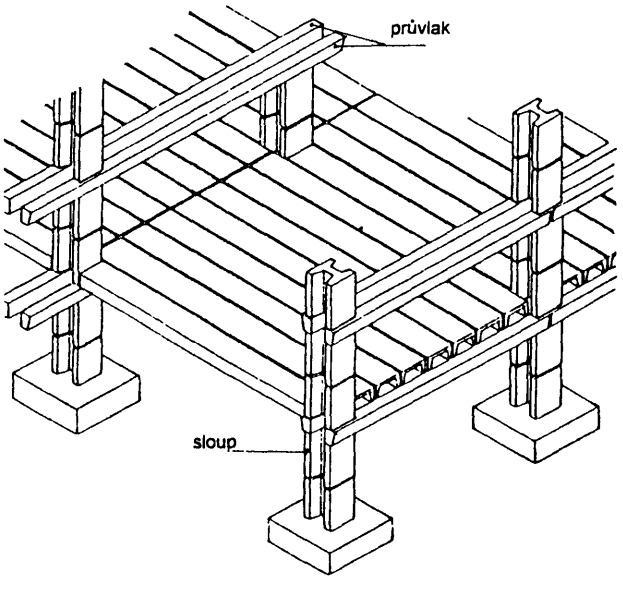


skelet Průmstav
Čapkův styk

skelet INTEGRO

Sezónnost montážních prací je dána použitím zálivek a injektážních směsí. V současné době se používají např. suché expanzní maltovinové směsi, které umožňují práce až do -10°C a tím vytvářejí předpoklady pro celoroční výstavbu.

V současné době kromě skeletových systémů obsahujících ve výrobním programu konkrétní sortiment prvků s rozměrovými a tvarovými parametry daným typem systému (S.1.2, H.1.1., INTEGRO ap.) vycházejí některé výrobny prefabrikátů vstříc individuálním požadavkům projektanta. Rozměrová variabilita v násobcích po 5 mm vytváří možnost pro pojetí prefabrikace jako technologické varianty nosného systému bez nutnosti projektanta přizpůsobit se "diktátu výrobce" a jeho výrobnímu programu (např. individuálně navrhovaný skelet MEGARON - Olomouc). Vzhledem k přechodu na evropský standard jakosti jsou viditelné části sloupů a průvlaků se zkosenými hranami z dokonale hladkého pohledového betonu, který nevyžaduje povrchové úpravy.



skelet INTEGRO

Požární odolnost montovaných sloupů je od 45 min (pro průřez 150/150 mm), výrobci prefabrikátů udávají hodnoty např. pro sloup 600/300 mm bez úprav 90 minut s omítkou tl. 40 mm až 180 minut.

Tepelně technické a akustické požadavky na svislé konstrukce jsou u prefabrikovaných sloupů splněny přidáním dalších izolačních vrstev.

■ Ocelové sloupy

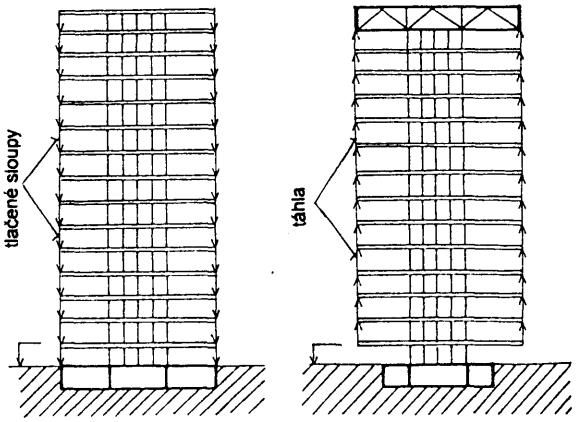
Ocelové sloupy mají nejvyšší poměrnou únosnost, tj. na jednotku plochy průřezu unesou víc než sloupy z jiných materiálů. To je dáno mechanickými vlastnostmi oceli, protože pevnost v tlaku i v tahu je vysoká (více než 210 MPa). Ocelové sloupy proto mohou být navrhovány jako prvky:

tlačené,

zatížení ze stropních konstrukcí přenášejí do základů tlakem. Při tomto způsobu namáhání rozhoduje o dimenzích průřezu jeho štíhlostní poměr a je nutno uvažovat vzpěr,

tažené,

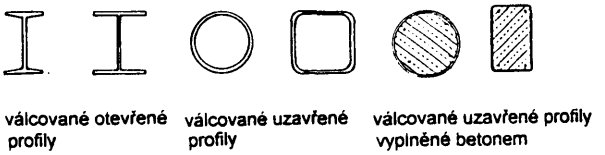
zatížení ze stropních konstrukcí je přenášeno do dalších podpůrných prvků tahem. U tažených sloupů (táhel) je povolený štíhlostní poměr větší, dimenze průřezu jsou proto subtilnější.



■■ Tlačené ocelové sloupy

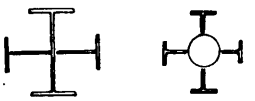
Celistvé, z válcovaných profilů

Tyto průřezy mohou být uzavřené nebo otevřené, oba typy průřezů mohou být pro zvýšení únosnosti spřaženy s betonem, který zvyšuje jejich únosnost při menší spotřebě oceli. V současné době jsou preferovány uzavřené profily pro jejich snažší údržbu (menší nátěrové plochy, jednodušší protipožární ochrana obkladem, nástřikem nebo uzavřeným cirkulačním vodním systémem uvnitř sloupů).


válcované otevřené profily | válcované uzavřené profily | válcované uzavřené profily vyplněné betonem

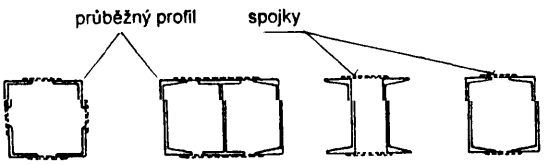
Celistvé svařované z válcovaných profilů nebo plechů

Tyto průřezy jsou voleny tam, kde je třeba zvětšit tuhost průřezu nebo zajistit přenos ohybových momentů. Jsou výrobně náročnější a také stykování s ostatními konstrukčními prvky (průvlaky, ztužidla) je obtížnější.

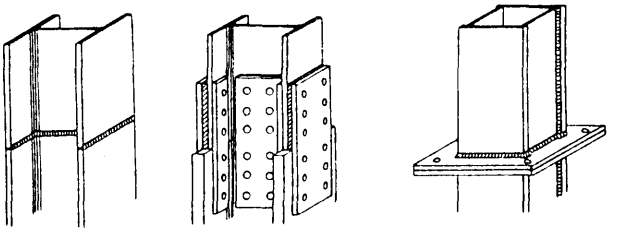


Členěné profily sloupů

Vznikají spojením průběžných profilů pouze na několika místech výšky sloupu. Spojení pásky nebo příhradovinou zprostředkuje přenos sil z jedné části průřezu do druhé, takže všechny navzájem spojené průřezy spolupůsobí. V úsecích mezi spoji jsou však jednotlivé průřezy volné, takže při posuzování vzpěru musí být uvažováno namáhání i dílčích průřezů.

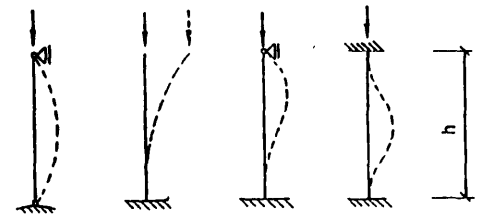


Sloupy se stykují především kontaktním způsobem, tj. podstatná část normálové síly je přenášena dotykovými plochami. Tento styk se svým působením podobá kloubu, proto by se měl provádět v místech, kde je namáhání pouze tlakem bez uplatnění vzpěru.



Stykování pomocí čelních desek je z konstrukčních důvodů vhodné umístit v prostoru stropní konstrukce nebo podhledu, aby desky nevyčnívaly přes obrys sloupu.

Štíhlost tlačených sloupů závisí na zajištění konců uložení sloupu a poloměru setrvačnosti průřezu k těžišťové ose kolmé k rovině vybočení L_{cr}/i . Mezní štíhlostní poměr pro nosné sloupy je 180.



charakter vybočení při ztrátě stability

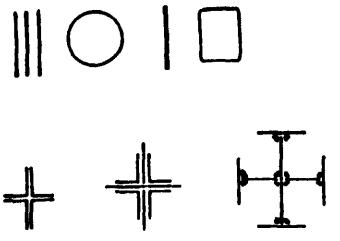
■■ Tažené ocelové sloupy

Pro *tažené* sloupy - *závěsy* se používají nejčastěji tyto profily:

pásková ocel odstupňovaná podle namáhání - v nejvyšších podlažích až trojitá,

tyčová ocel nebo trubky

zesílené profily ve směru menšího momentu setrvačnosti kolmým páskem ke zvýšení tuhosti průřezu.



Při volbě průřezu rozhoduje kromě velikosti osové síly u tažených prutů též mezní štíhlost (max. 400 pro pruty trvale tažené a 250 pro pruty tažené jen od nahodilého zatížení) a pružné prodloužení závěsu účinkem svislých zatížení. Prodlužování závěsů následkem nárůstu zatížení vyžaduje uvažovat s tímto zatížením již v montážním stavu budovy. Vzhledem k poloze závěsu vůči obvodovým plášťům (závěs vně fasády nebo uvnitř) je nutno uvažovat i teplotní zatížení.

Požární odolnost ocelových sloupů je pro:

nechráněné	10 min
obetonované (tl. 30 mm beton)	70 min
s nástřikem (tl. 10 mm)	40 min
s omítkou (tl. 15 mm)	30 min
s obkladem ze sádrokartonu (tl. 9,5 mm)	15 min

Podrobnější údaje jsou obsaženy v *ČSN 73 0821 Požární odolnost stavebních konstrukcí.*

Tepelně technické a akustické požadavky u ocelových sloupů musí být splněny dalším obkladovým materiálem.

OTVORY V NOSNÝCH STĚNÁCH

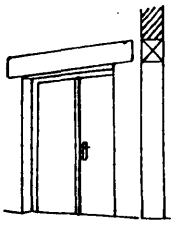
E5

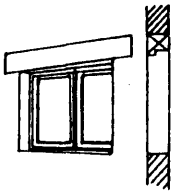
Openings in Load-bearing Walls

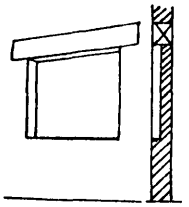
Öffnungen in tragenden Wänden

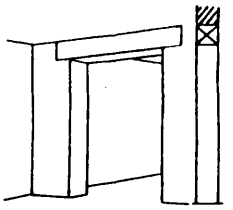
Nad otvory v nosných stěnách musí být umístěn prvek, který je schopen přenášet zatížení z přilehlých částí stropů a zdiva do svislých podpor podél otvoru. Tyto prvky se nazývají překlady a podle umístění nad otvorem ve stěně se dělí na:

- *nadedveřní*
- *nadokenní*
- *nad výklenky, nikami, drážkami*
- *nad průchody ve stěnách*







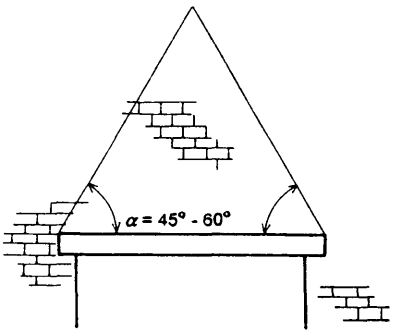


Podle použitých hmot se dělí na:

- *kamenné*
- *cihelné*
- *z ocelových nosníků*
- *z keramických nosníků*
- *ze železobetonu*
- *z lehkých betonů*

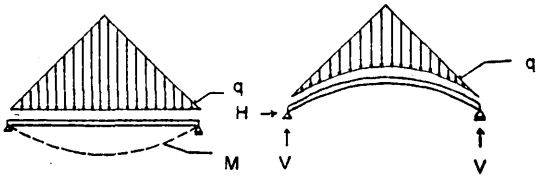
Překlady mohou být *monolitické* nebo *montované*.

Překlady v konstrukci musí splňovat tyto požadavky:

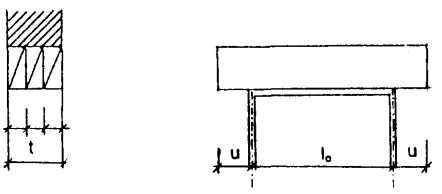


Statické požadavky: Překlad musí zajistit přenos zatížení do přilehlých podpor. Zatížení překladů se uvažuje zpravidla trojúhelníkové, velikost roznášecího úhlu závisí na tuhosti stěny, její výšce nad překladem, působení osamělých břemen ap. Pokud v uvedené roznášecí oblasti je strop, je třeba zatížení od něj započítat. Na tvaru střednice překladu závisí jeho namáhání v konstrukci:

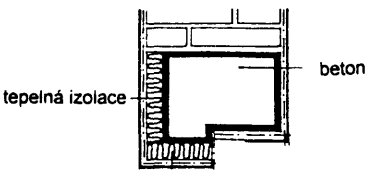
- *přímé překlady* působí jako prostý, spojitý nebo vetknutý nosník a jsou namáhány ohybem,
- *klenuté překlady* podle vzepětí a tvaru oblouku jsou namáhány tlakem nebo kombinací tlaku s ohybem.



Skladebné požadavky: U prefabrikovaných překladů musí jejich rozměry odpovídat skladebným rozměrům svislých nosných konstrukcí a výplňových konstrukcí otvorů.

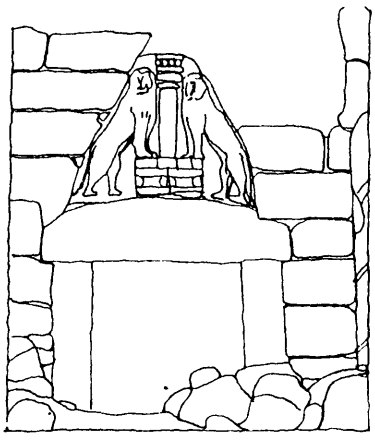


Tepelně izolační požadavky. V obvodových konstrukcích nesmí v místě překladu vznikat tepelný most. Pokud vlastní materiál překladu není schopen tepelně izolační požadavky splnit (kámen, beton, ocel), musí být doplněn z vnější strany tepelnou izolací.



■ Kamenné překlady

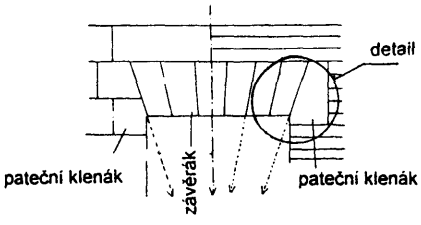
V historických konstrukcích byly zpočátku používány kamenné monolitické překlady, které v obvodovém kamenném zdivu umožňovaly vytvoření otvorů. Nejdelší 8 m dlouhý překlad byl použit v Amónově chrámu v Karnaku (Egypt), staticky promyšlený je překlad nad vstupem do mykénského hradu na Krétě tzv. Lví bránou (2.tisíciletí př.n.l.).Kamenný blok o délce 5,0 m je uprostřed v místě maximálního ohybového momentu nadvýšen (zvětšená tuhost průřezu) a v trojúhelníku, který by překlad zatěžoval, je vložen subtilnější kamenný reliéf. Zdivo okolo reliéfu je zakončeno přečnělkovou klenbou.

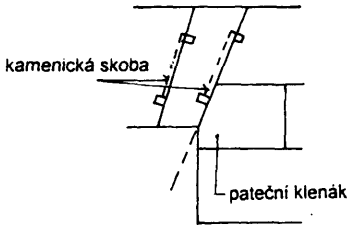

Lví brána, Mykény

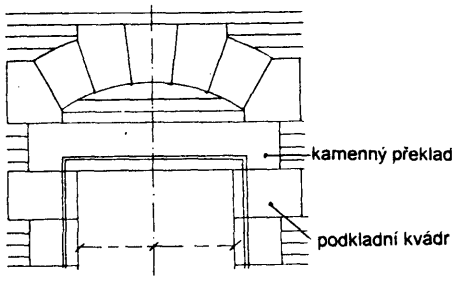
Přímé kamenné překlady bývají tvořeny zkosenými kvádry přesně do sebe osazenými a také spojenými kamenickými skobami.

Přímý kamenný monolitický překlad může být též vylehčen obloukem ve zdivu.

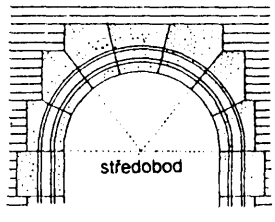
Klenuté kamenné překlady mají rozmanité tvary oblouku (segment, půlkruh, elipsa, gotický atd.). Skládají se z kamenných klenáků různých tvarů a velikostí, jejichž styčné spáry se sbíhají v jednom bodě (středobod).







rovné kamenné nadpraží odlehčené obloukem

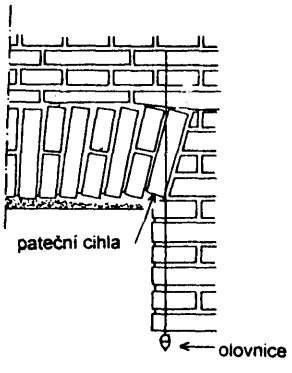


obloukové kamenné nadpraží

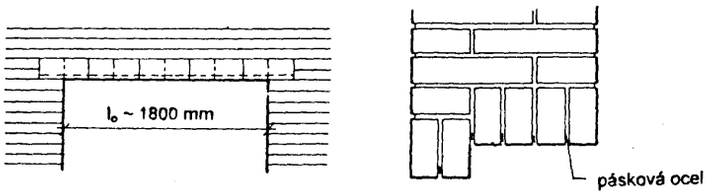
Vzhledem k velké pracnosti při provádění kamenných překladů a k nedostatečným tepelně izolačním schopnostem kamene se v současnosti kamenné překlady u novostaveb nepoužívají. Požadovaný estetický efekt je dosažen obkladem z kamenných desek na podkladu z jiného materiálu. Jejich použití je však možné při rekonstrukcích vytvářením replik poškozených částí.

■ Cihelné překlady

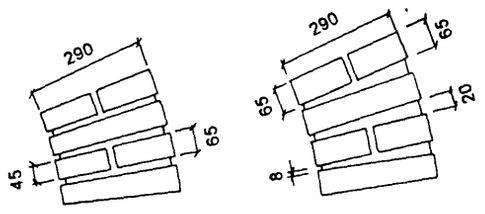
Přímé překlady vytvořené ***plochou klenbou*** na tzv. maltový ramenát s nadvýšením 30-50 mm uprostřed rozpětí se používají pro menší světlosti otvorů (cca do 1200 mm). Sklon patky klenby je dán úhlopříčkou pateční cihly.

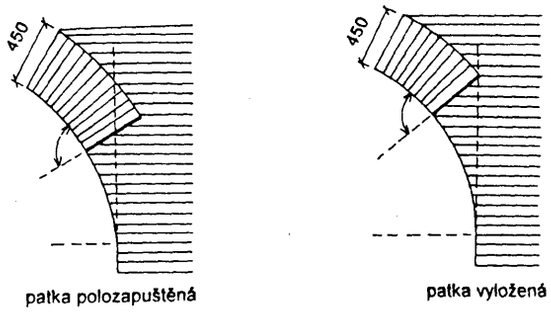


Přímé vyztužené překlady používají k přenesení tahových napětí ve spodním líci překladu páskovou ocel umístěnou v maltě styčné spáry. Vzhledem k zajištění spolupůsobení a krytí oceli se volí max. tloušťka pásků 2 mm. Vhodné rozpětí je do 1800 mm.



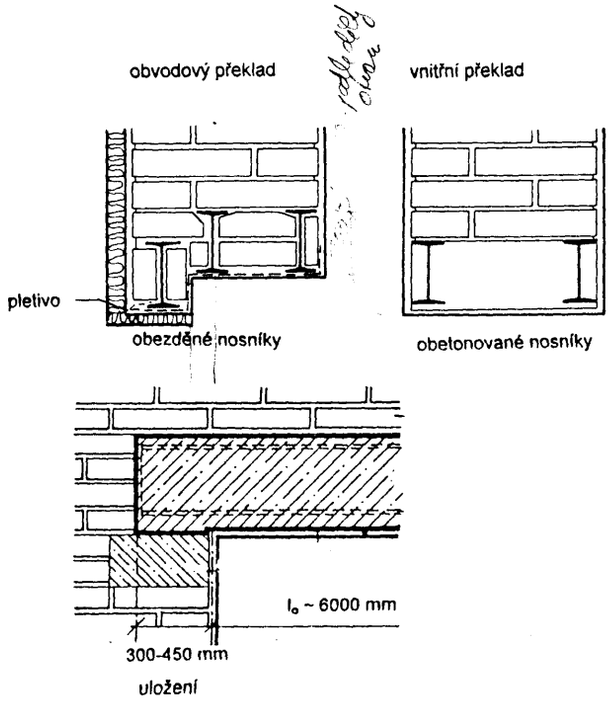
Klenuté překlady do patky mohou být z běžných cihel s klínem z malty nebo z přisekaných, resp. speciálních kónických cihel. Statické působení překladů je obdobné jako u kleneb, tvary oblouků jsou stejné jako u kamenných oblouků. Používají se do rozpětí cca 3000 mm. Styčná spára tvořená maltovým klínem má nejmenší šířku 8 mm, největší 20 mm. Spáry širší než 20 mm se klínují plochými úlomky cihel, střešními taškami nebo břidlicí. Přisekávané cihly musí mít min. tloušťku 45 mm. Úpravy patek klenby závisí na tloušťce stěny a nasazení klenby (patka může být zapuštěná, polozapuštěná, vyložená, stupňovitá). Výhodou cihelných překladů byly vždy jejich shodné tepelně izolační schopnosti jako přilehlého zdiva. Toto však pro běžné tloušťky zdiva z cihel plných není pro obvodové konstrukce podle současných požadavků splněno. Nevýhodou použití je též vysoká pracnost.





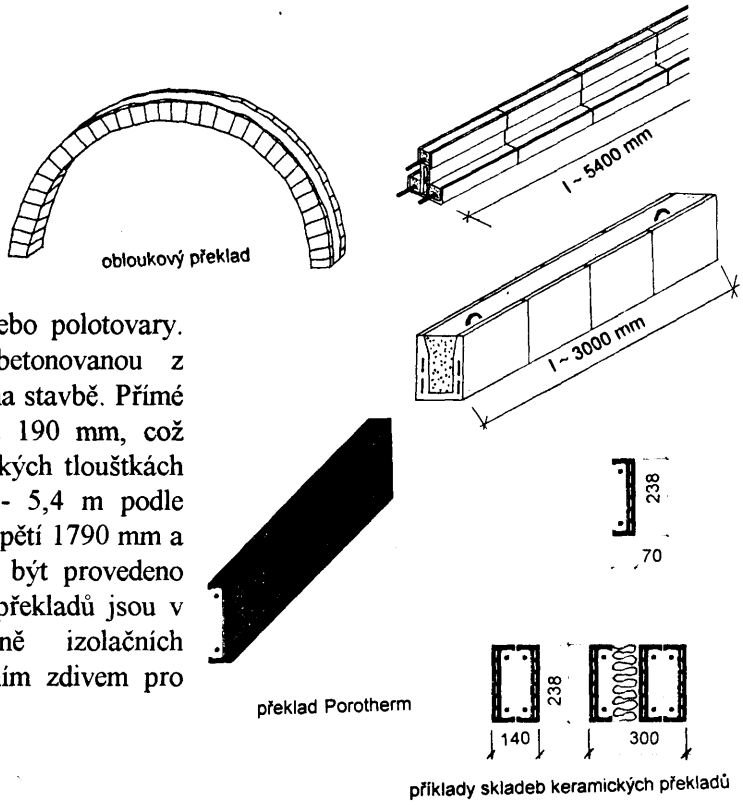
■ Ocelové překlady

Ocelové překlady jsou tvořeny nejčastěji válcovanými I nosníky, používají se na větší rozpětí (2-6 m) nebo při dodatečných úpravách ve zdivu - při rekonstrukcích. Ocelové překlady jsou po osazení v konstrukci ihned schopny přenášet požadovaná zatížení. Roznesení reakce v místě uložení nosníku musí být zajištěno prostřednictvím kvalitního zdiva nebo betonovým podkladem, uložení nosníku je min. 150 mm. Ocelové nosníky musí být z požárních důvodů chráněny obetonováním, obezděním nebo omítkou na pletivu tl. 20-30 mm, obvodové překlady musí být doplněny tepelnou izolací.



■ Keramické překlady

Překlady z keramických nosníků jsou dílce tyčového nebo segmentového tvaru, jejichž délka je určena šířkou otvoru. Protože samotná keramika je materiál s nízkou pevností v tahu, musí být doplněny výztuží, která tahové síly v oblasti spodního líce překladu přenese.



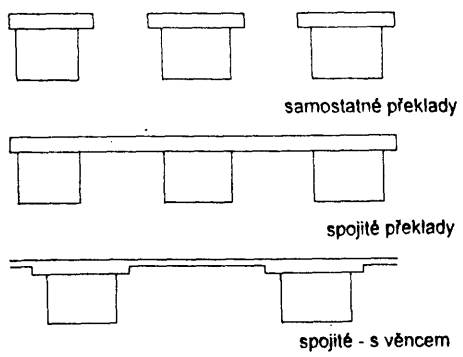
příklady skladeb keramických překladů

Překlady mohou být jako kompletní dílce nebo polotovary. Polotovary obsahují výztuž částečně zabetonovanou z výrobny, zbylá část překladu se dobetonuje na stavbě. Přímé překlady se vyrábějí v šířkách 115, 140 a 190 mm, což umožňuje jejich použití v tradičních i metrických tloušťkách nosného zdiva, max. délka překladu je 3 - 5,4 m podle vyztužení. Uložení překladů je 150 mm do rozpětí 1790 mm a 300 mm pro rozpětí vyšší, v uložení musí být provedeno maltové lože 10 mm. Výhody keramických překladů jsou v jednoduchosti montáže, dobrých tepelně izolačních vlastnostech a stejnorodém povrchu s okolním zdivem pro provedení omítek.

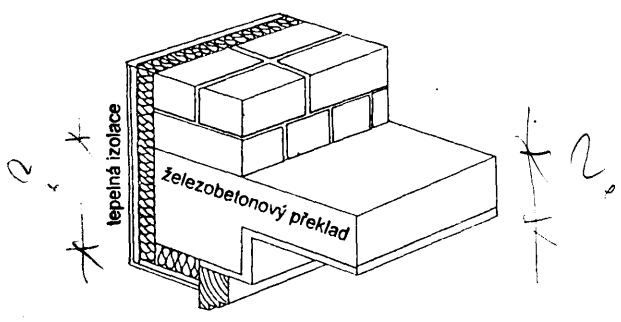
■ Železobetonové překlady

Železobetonové překlady jsou *monolitické* nebo *montované.*

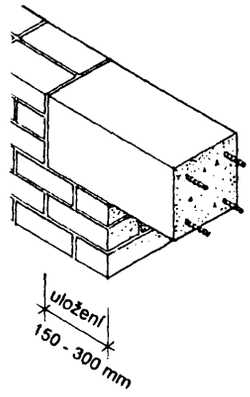
Monolitické překlady jsou často spojovány s pozedním věncem. Jsou-li umístěny v obvodovém zdivu, musí být z exteriérové strany opatřeny tepelnou izolací. Vyztužení překladů musí odpovídat jejich statickému působení (prostý, vetknutý nebo spojitý nosník). Uložení monolitického překladu na zdivu musí být min. 7,5 % vzdálenosti líců podpor nebo 200 mm. Napětí v uložení samostatných překladů se musí ověřit výpočtem, nedojde-li k porušení soustředěným tlakem. Tento výpočet není nutný pouze v případě překladů monoliticky spojených s pozedním věncem.

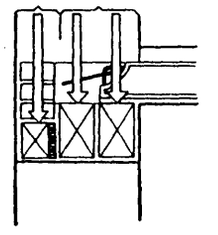


Výhodou monolitických překladů je možnost jejich libovolného tvarového řešení, vysoká únosnost. Nevýhody spočívají v pracnosti provedení (bednění, výztuž), u obvodových překladů nutnost tepelné izolace. Tento problém může být řešen v souvislosti s vrstvenými nebo skládanými obvodovými plášti.



Prefabrikované překlady jsou železobetonové prvky tyčového průřezu, vyráběné v šířkách v násobcích klasického (140 mm) i metrického (115 mm) formátu pro použití v různých tloušťkách zdiva, délka vzhledem k hmotnosti prvku je max. 2990 mm. Předklady v konstrukci působí jako prosté nosníky, každý prvek má od výrobce udány max. hodnoty zatížení, které může přenést. Tomu je nutno přizpůsobit polohu konstrukcí, která překlad zatěžuje. Překlady pro použití do obvodového zdiva jsou opatřeny tepelnou izolací.

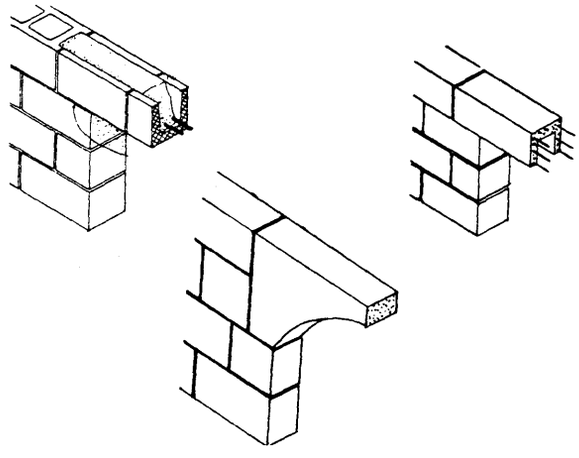



zatížení jednotlivých překladů

■ Překlady z lehkých betonů

Překlady z lehkých betonů jsou součástí výrobního programu pórobetonových, keramzitbetonových a dalších výrobců těchto stavebních prvků (Ytong, Hebel apod).

Tvarově se rozlišují na:



truhlíkové, které plní funkci ztraceného bednění pro vyztužený monolitický překlad,

roletové truhlíky, které v kombinaci s kleštinovým věncem vytvoří nosný překlad, do kterého se osadí vnější žaluziová roleta,

segmenty a oblouky k vytvoření zaoblených otvorů.

Překlady z lehkých betonů splňují veškeré požadavky na vnější tepelně izolační materiály.

Literatura a normy

1) Dimitrij Pume: *Vstupní údaje pro navrhování a posuzování svislých zděných konstrukcí při přestavbách* (ČVUT 1990)

2) Miroslav Korecký: *Objevy pod pyramidami* (Odeon 1983)

3) Václav Frolec, Josef Vařeka: *Lidová architekrura* (SNTL-ALFA 1983)

4) Bohuslav Syrový: *Architekrura - encyklopedie* (SNTL 1973)

5) *Dějiny architekrury* (Odeon 1993)

6) Arnold W. Hendry: *Reinforced and prestressed Masonry* (Longman Group UK Ltd. 1991)

7) *Betonářské dny Pradubice*, sborník přednášek (ČSSI oblastní pobočka Pardubice, 1994)

8) *ČSN 731201 Navrhování betonových konstrukcí*, (1986, změna a))

9) *ČSN 731211 Navrhování betonových konstrukcí panelových budov, 1987*

10) *EC2 - Betonové konstrukce* (EN1992)

11) Juraj Kozák: *Konstrukcie vysokých budov* (SNTL - ALFA 1980)

12) *EC3 - Ocelové konstrukce* (EN 1993)

13) *ČSN 731401 Navrhováni ocelových konstrukcí* (1984 změna a),b))

14) *ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí*, 1980

15) *ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov*, 1995

16) *ČSN 73 1701 Navrhováni dřevěných stavebnich konstrukcí*, 1983

17) *ČSN 73 0821 Požárni odolnost stavebních konstrukcí*, 1973

18) Libuše Kostelková: *Pozemní stavitelství*, (SNTL 1982)

19) Bohumil Švarc: *Přehled pozemního stavitelství*, 1944

20) František Rambousek: *Stavebni konstrukce I.* (SNTL 1969)

21) Hana Gattermayerová: *Atelierová tvorba konstrukční - montované stěnové systémy 1., 2.(* ČVUT 1988, 1990)

22) Firemní podklady, prospekty výrobců

STROPNÍ KONSTRUKCE

F

Floor Structures
Deckenkonstruktionen

F1	**FUNKCE A POŽADAVKY**	*Functions and Requirements*	*Funktionen und Anforderungen*
	■ Architektonická funkce a požadavky	*Architectural Function and Requirements*	*Architektonische Funktion und Anforderungen*
	■ Statická funkce a požadavky	*Structural Function and Requirements*	*Statische Funktion und Anforderungen*
	■ Protipožární funkce a požadavky	*Fire Safety Function and Requirements*	*Brandschutz-Funktion und Anforderungen*
	■ Akustická funkce a požadavky	*Acoustics Function and Requirements*	*Schallschutz-Funktion und Anforderungen*
	■ Tepelnětechnická funkce a požadavky	*Thermal Function and Requirements*	*Wärmeschutz-Funktion und Anforderungen*
F2	**PRINCIPY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ**	*Principles of Structural Solution*	*Prinzipien der konstruktiven Lösung*
	■ Klenbové působení	*Vault Behaviour*	*Gewölbewirkung*
	■ Nosníková konstrukce	*Beam Structure*	*Balkenkonstruktion*
	■ Desková konstrukce	*Slab Structure*	*Plattenkonstruktion*
	■ Vyztužení ohýbané konstrukce	*Reinforcement of flexure Structure*	*Armierung den gebogener Konstruktion*
	■ Předpětí ohýbané konstrukce	*Prestressing of Structure*	*Vorspannung gebogener Konstruktion*
	■ Spolupůsobení konstrukčních prvků	*Interaction of Structural Elements*	*Zusammenwirkung der Konstruktioner Elemente*
	■ Konstrukční varianty stropních kcí	*Alternatives of Floor Structures*	*Varianten des Deckenkonstruktionen*
F3	**KLENBY**	*Vaults*	*Gewölbe*
	■ Klenby tradiční zděné	*Traditional Masonry Vaults*	*Traditionelle gemauerte Gewölbe*
	■ Klenby novodobé	*Modern Vaults*	*Zeitgenössische Gewölbe*
F4	**DŘEVĚNÉ STROPY**	*Timber Floor Structures*	*Holzdecken*
	■ Povalové stropy	*Timber Deck Ceiling*	*Dübeldecke*
	■ Dřevěné trámové stropy	*Timber Joist Ceiling*	*Holzbalkendecke*
	■ Fošnové stropy	*Plank Joist Ceiling*	*Bohlendecke*
	■ Stropy z lepených, sbíjených a příhradových nosníků	*Glued-laminated, Nailed and Truss Beams*	*Decken aus Klebeholz-, Nagel- und Fachwerkbinder*
F5	**ŽELEZOBETONOVÉ STROPY**	*Reinforced Concrete Floor Structures*	*Stahlbetondecken*
	■ Monolitické železobetonové stropy	*Monolithic RC Floor Structures*	*Decken aus Ortbeton*
	■ Prefabrikované železobetonové stropy	*Precast RC Floor Structures*	*Vorgefertigte Stahlbetondecken*
	■ Prefa-monolitické železobetonové stropy	*Composite RC Floor Structures*	*Teilweise vorgefertigte Stahlbetondecken*
F6	**OCELOVÉ A OCELOBETONOVÉ STROPY**	*Steel and Composite Steel and Concrete Floor Structures*	*Stahldecken und Verbundbauwerk aus Stahl und Beton*
	■ Ocelové stropy	*Steel Floor Structures*	*Stahldecken*
	■ Ocelobetonové stropy	*Composite Steel and Concrete Floor Structures*	*Verbundbauwerk aus Stahl und Beton*

Autoři: Hájek P. (F1. F2, F3-F6), Půbal Z. (F3-F6 část)

FUNKCE A POŽADAVKY

F1

Functions and Requirements
Funktion und Anforderungen

Stropy společně se svislými nosnými konstrukcemi určují celkový charakter nosné konstrukce objektu. Jejich návrh závisí na celkovém architektonickém konceptu vycházejícím z účelu, pro který se objekt navrhuje. Rozhodující kriteria pro volbu konstrukce stropu jsou *rozpon*, *únosnost*, *plošná hmotnost*, *horizontální tuhost*, *akustické a tepelnětechnické vlastnosti* a *požární odolnost*.

Stropní konstrukce se skládá z *nosné konstrukce stropu*, *podlahové konstrukce* a *konstrukce podhledu*. V některých případech může horní plocha nosné konstrukce stropu tvořit zároveň nášlapnou vrstvu (konstrukce stropu bez podlahy) nebo spodní část nosné konstrukce stropu je viditelná bez podhledu.

Základními funkcemi stropních konstrukcí jsou:
- *architektonická funkce*
- *statická funkce*
- *protipožární funkce*
- *akustická funkce*
- *tepelnětechnická funkce*

Na zajištění požadovaných funkcí se podílí nejenom vlastní nosná konstrukce, ale celá skladba včetně podlahy a podhledu.

■ Architektonická funkce a požadavky

Stropní konstrukce rozdělují objekt po výšce na podlaží a vytvářejí nosnou konstrukci pro uvažovaný provoz a pro další konstrukce nutné k jeho zajištění (příčky, technické vybavení aj.). Vlastnosti stropní konstrukce (únosnost, max. rozpon, stavebně fyzikální vlastnosti aj.) ovlivňují možnosti architektonického ztvárnění objektu po stránce tvarové, provozní i estetické.

■■ Půdorysná variabilita

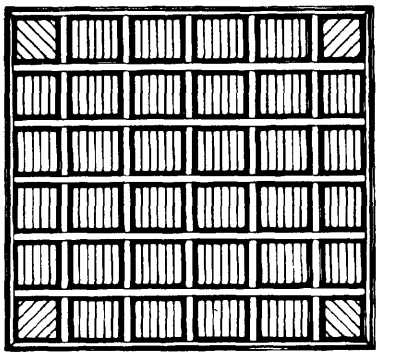
Půdorysná variabilita konstrukce souvisí nejenom s volbou svislých nosných konstrukcí, ale i s typem stropu, umožňujícího zastropení větších rozponů. Se zvětšujícími se rozpony však narůstá i plošná hmotnost stropu, větší zatížení na ostatní konstrukce (stěny, sloupy, základy aj.) a tím i celkové náklady. Variabilita však nesouvisí pouze s velikostí rozponů, ale i s možností podepření v libovolném vhodném místě. Z tohoto pohledu jsou podstatně variabilnější železobetonové monolitické konstrukce oproti některým typům konstrukcí prefabrikovaných. V současné době však začíná převládat i v prefabrikovaných konstrukcích možnost variabilního přizpůsobení tvaru prefabrikátů požadavkům architektury.

S variabilitou souvisí i možnost *vykonzolování* a možnost *řešení prostupů* stropní konstrukcí. Jednosměrné stropy lze efektivně vykonzolovat pouze ve směru pnutí hlavních nosných prvků. Některé prefabrikované stropy nelze vykonzolovat a v případě potřeby se konzola musí řešit jinou konstrukcí. Požadavky na vertikální prostupy stropem jsou různé od nejmenších pro potrubí vytápěcího systému nebo elektroinstalaci až po velké pro výtahové šachty aj. Některé stropy umožňují i snadné řešení dodatečných prostupů.

■■ Estetická funkce

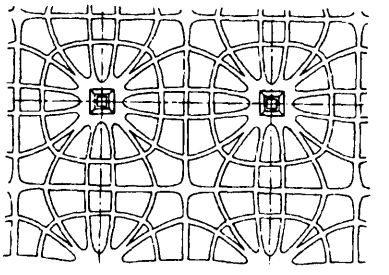
Strop se uplatňuje nejenom ve smyslu vytáření architektonického prostoru, ale i svojí estetickou funkcí v interiéru i exteriéru.

U historických staveb se často setkáváme s podhledy stropů, které tvořily součást výzdoby interiérů. Nejde pouze o dřevěné trámové nebo kazetové stropy, kde viditelné trámy byly často zdobeny malbami, ale i o podhledy stropů zdobené štukovou výzdobou. V případě klenutých stropů představuje tvar kleneb rozhodující architektonický prvek prostoru.



podhled dřevěného kazetového stropu

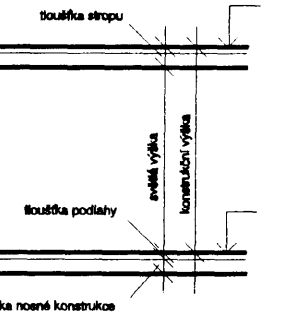
V současnosti je nejčastějším případem rovný podhled stropu, který je svojí jednoduchou formou nejméně kolizní s ostatními konstrukcemi a architektonickými prvky. I v současnosti lze využít tvaru nosné konstrukce stropu jako architektonického prvku, vytvářejícího základní koncept architektury prostoru. Příkladem je použití kazetových železobetonových stropů bez podhledu, konstrukce hřibových stropů nebo dřevěné trámové stropy s viditelnými trámy. V těchto případech je však třeba pečlivě zvážit, jakým způsobem bude viditelný rastr stropu korespondovat s ostatními konstrukcemi (např. s nosnými svislými konstrukcemi, s příčkami aj.). Většinou se tyto typy stropů bez podhledů používají v případech velkých rozlehlých prostor, kde se pravidelný rastr kazet nebo žeber může architektonicky uplatnit.

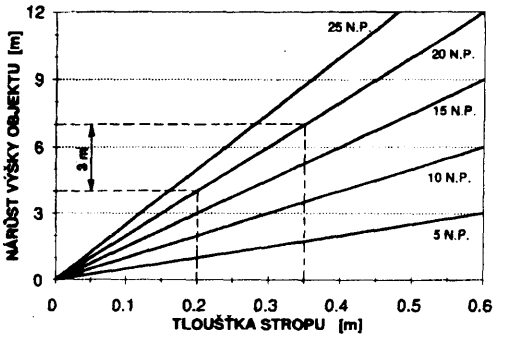


P. L. Nervi: podhled železobetonového žebrového stropu - Gatti Wool Factory - Řím

■■ Konstrukční tloušťka stropu

Konstrukční výška podlaží je dána součtem světlé výšky místnosti (závisí na požadavcích provozu) a konstrukční tloušťky stropu. Je-li tloušťka stropu velká, zvětšuje se i celková výška objektu. To je významné především u mnohopodlažních objektů, kdy v důsledku větší výšky je i větší spotřeba materiálu (na svislé konstrukce, obvodové konstrukce, schodiště aj.), větší namáhání objektu větrem, větší namáhání základové konstrukce od svislého zatížení aj. Zvětšení tloušťky stropu může být vyvoláno i podvěšeným podhledem. V případě omezené výšky výstavby může tloušťka stropu zásadně ovlivnit i celkový počet podlaží a tím efektivnost investorského záměru.





Na grafu je zvýrazněn případ, kdy zvětšení tloušťky stropní konstrukce o 150 mm představuje pro dvaceti podlažní objekt nárůst celkové výšky o 3 m, tj. o celé jedno podlaží. Tloušťka stropu tak zásadním způsobem ovlivňuje efektivnost a ekonomii návrhu stavby.

■ Statická funkce a požadavky

Hlavní funkcí stropu je vytvářet únosnou a spolehlivou konstrukci pro uvažovaný provoz a zajišťovat distribuci sil do svislých konstrukcí. Strop musí být dostatečně tuhý z hlediska průhybu a dynamických účinků tak, aby neznemožňoval nebo neomezoval kvalitní provoz v objektu (např. deformace stropu pod tělocvičnou aj.).

■■ Únosnost stropu

Konstrukce stropu musí přenášet zatížení od uvažovaného provozu (*užitné zatížení*) a zatížení stálé (vlastní tíha stropní konstrukce a ostatního stálého zatížení - příčky aj.). Požadovaná užitná zatížení stropů jsou stanovena normou *ČSN P ENV 1991-2-1- Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, Část 2-1: Zatížení konstrukcí - Objemová tíha, vlastní tíha a užitečná zatížení.* Spolehlivost stropu z hlediska únosnosti se posuzuje podle *mezního stavu únosnosti.*

Užitná zatížení stropů vybraných provozů pozemních staveb podle ČSN P ENV 1991-2-1:1995

q_k ... rovnoměrně rozdělené zatížení po ploše, Q_k ... soustředěné zatížení ENV ... hodnoty stanovené Evropskou komisí pro normalizaci CEN NAD ... doporučené hodnoty pro ČR podle Národního aplikačního dokumentu	q_k (kN/m²)		Q_k (kN)	
	ENV	NAD	ENV	NAD
Plochy pro domácí a obytnou funkci v obytných bydovách, nemocnicích, hotelech a ubytovnách	*2.0*	*1.5*	*2.0*	*1,5*
Kancelářské plochy	*3.0*	*2.0*	*2.0*	*2,0*
Plochy se stoly ve školách, kavárnách, restauracích, jídelnách čítárnách, recepcích	*3.0*	*3.0*	*4.0*	*3,0*
Plochy se zabudovanými sedadly v kostelích, divadlech, kinech, konferenčních místnostech, čekárnách	*4.0*	*4.0*	*4.0*	*4.0*
Plochy pro pohyb a nahromadění lidí v muzeích, koncertních a sportovních halách, tribunách, obchodech	*5.0*	*5.0*	*4.0*	*5.0*
Plochy s možnými pohybovými aktivitami (taneční haly, tělocvičny), plochy v obchodních domech	*5.0*	*5.0*	*7.0*	*5.0*
Plochy pro skladovací účely včetně knihoven a přístupových ploch - *uvedené hodnoty jsou minimální!*	*6.0*	*6.0*	*7.0*	*6.0*

Pozn.: Existují rozdíly v normových hodnotách užitných zatížení v různých státech vyjádřené v Národních aplikačních dokumentech pro konkrétní stát. Rozdíly jsou zřejmé i z porovnání hodnot stanovených v základní ENV normě a v Národním aplikačním dokumentu ČR.

■■ Průhyb stropu

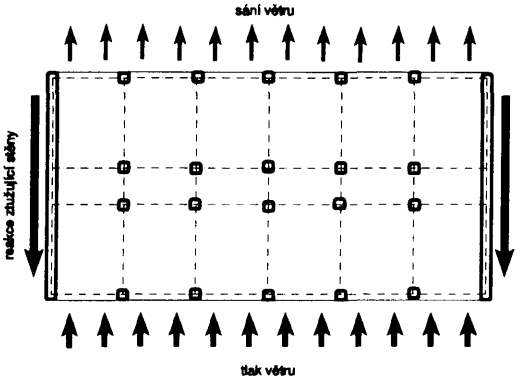
Stropní konstrukce musí vyhovovat z hlediska maximálního průhybu (posuzuje se podle *mezního stavu použitelnosti*). Posouzení průhybu je velmi důležité nejenom z důvodů estetických, ale i v souvislosti s řešením interakce stropu s dalšími konstrukcemi. Nadměrná deformace stropu může např. způsobit poruchy podhledu nebo podlahové konstrukce. Velmi důležité je posoudit průhyb stropu v souvislosti s návrhem příček. Především v případě příček z lehkých betonů nebo lehkých sádrokartonových příček je třeba zajistit dilatační styk příčky se stropem, tak aby nemohlo dojít k přenášení zatížení do příčky v důsledku průhybu stropu. Jsou časté případy, kdy právě v důsledku opomenutí této skutečnosti došlo k porušení příček trhlinami. Mezní průhyby stropů jsou uvedeny v příslušných normách.

Mezní průhyby stropů podle norem ENV (l .... rozpětí nosníku nebo délka konzoly)

Dřevěné stropy *ČSN P ENV 1995-1-1*	nosník	průhyb od nahodilého zatížení výsledný (konečný) průhyb	***l/300*** ***l/200***
	konzola	průhyb od nahodilého zatížení výsledný (konečný) průhyb	***l/150*** ***l/100***
Ocelové stropy *ČSN P ENV 1993-1-1* *a* ***Ocelobetonové stropy*** *ČSN P ENV 1994-1-1*	stropní konstrukce obecně	průhyb od nahodilého zatížení výsledný (konečný) průhyb	***l/300*** ***l/250***
	stropní konstrukce nesoucí dlažby a omítky event. jiné křehké obklady nebo nepoddajné příčky	průhyb od nahodilého zatížení výsledný (konečný) průhyb	***l/350*** ***l/250***
	stropní konstrukce nesoucí sloupy	průhyb od nahodilého zatížení výsledný (konečný) průhyb	***l/500*** ***l/400***
Betonové stropy *ČSN P ENV 1992-1-1*	maximální vypočtený průhyb nosníku, desky nebo konzoly od kvazistálého zatížení		***l/250***
	je-li nebezpečí poškození příček a prvků přiléhajících k vyšetřovanému prvku		***l/500***

■■ Tuhost stropu v horizontální rovině

Tuhost stropní konstrukce v horizontální rovině souvisí se schopností stropu zajistit distribuci vodorovných zatížení mezi svislými nosnými konstrukcemi. Má tak zásadní význam pro zajištění prostorové tuhosti vícepodlažních a především výškových objektů. Horizontální síly od větru působícího na průčelní plochu objektu se přenášejí do stropních konstrukcí a jejich prostřednictvím do ztužujících prvků (ztužujících stěn, ztužujících jader aj.). Stropní konstrukce je při tom namáhána normálovými a smykovými silami působícími v rovině stropu. Z hlediska horizontální tuhosti dělíme stropní konstrukce na *tuhé* a *netuhé*.



Příklady netuhých stropů:
- dřevěné stropy
- nosníkové typy stropů bez tuhé betonové desky
  - strop s keramickými vložkami Hurdis
  - strop s keramickými nosníky a keramickými vložkami aj.

Příklady tuhých stropů:
- železobetonové monolitické stropy
- železobetonové prefabrikované stropy (za předpokladu zajištění tuhé stropní tabule vhodnými styky dílců a zálivkovou výztuží)
- železobetonové prefamonolitické konstrukce (typu filigran)
- železobetonové stropy s keramickými vložkami (horní krycí deska musí být minimálně tl. 50 mm a vyztužená sítí)
- ocelobetonové stropní konstrukce aj.

Netuhé stropní konstrukce lze používat pouze pro nízké objekty a tam, kde je prostorová tuhost zajištěna dalšími konstrukčními prvky (systémem nosných stěn, polohou příček aj.). Pro vyšší objekty je třeba vždy volit tuhé stropní konstrukce. Požadavek tuhého stropu (tzv. *tuhé stropní tabule*) je zcela rozhodující pro zajištění prostorové tuhosti kombinovaných konstrukčních systémů. Horizontální tuhost stropní konstrukce lze za určitých předpokladů zajistit i u první skupiny stropů netuhých železobetonovou vrstvou tl. min. 50 mm vyztuženou ocelovou sítí, spojenou s hlavními nosníky stropu a zakotvenou do obvodové konstrukce.

■■ Požadavek minimální vlastní hmotnosti stropu

Vlastní tíha nosné konstrukce stropu představuje zpravidla podstatně větší zatížení, než zatížení dané účelem, pro který se objekt staví. Vlastní tíha stropu je tak rozhodující složkou zatížení, které ovlivňuje dimenze nejenom stropu samotného, ale i dimenze svislých nosných konstrukcí a základů. Snižování vlastní hmotnosti stropu má tak zásadní význam na ekonomii návrhu ostatních konstrukcí a efektivnost návrhu konstrukce jako celku.

Především při návrhu stropů na velká rozpětí (více než 6 m) je vlastní hmotnost zcela rozhodující. Proto je snaha konstrukce pro velké rozpony vylehčovat. Vylehčení může být provedeno dutinami vytvořenými bedněním (dutinové panely), ztraceným bedněním (bedničkové stropy), vkládáním vložek z lehčích materiálů (keramické dutinové vložky, vložky z lehkých betonů aj.) apod. Požadavek minimalizace hmotnosti stropu je však v protikladu k požadavkům akustickým, kde hmotnost konstrukce je rozhodujícím parametrem při zajišťování dostatečné vzduchové neprůzvučnosti.

■ Protipožární funkce a požadavky

Strop představuje z požárního hlediska jednu z nejdůležitějších částí celé konstrukce objektu. Rozděluje objekt po výšce na úseky, které často korespondují s *požárními úseky*. Strop musí splňovat odpovídající kritéria *požární odolnosti* a *stupně hořlavosti* použitých stavebních hmot podle normy *ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb.*

Hořlavost materiálů použitých ve stropech limituje jejich použití pro vyšší objekty. Stropní konstrukce z hořlavých hmot (např. jednoduchý dřevěný trámový strop, povalový strop aj.) lze použít pouze pro objekty o maximální výšce 4 - 9 m (v závislosti na požárním zatížení). Stropní konstrukce obsahující hořlavé, nesnadno hořlavé i nehořlavé hmoty (tzv. smíšené konstrukce - např. klasický dřevěný trámový s násypem a podhledem) lze použít pro objekty o maximální výšce 22,5 m. Pro vyšší objekty musí být navrženy stropy z nehořlavých materiálů. Požární stropy v podzemních podlažích, stropy odělující požární úseky o stupni požární bezpečnosti VI. a VII. a stropy nad a pod chráněnými únikovými cestami musí být zhotoveny z nehořlavých konstrukčních materiálů (stupeň hořlavosti A).

Požární odolnost je základním kritériem pro stropy oddělující dva požární úseky (*požární stropy*).

Minimální požadovaná požární odolnost požárních stropů v minutách:

Stupeň požární bezpečnosti požárního úseku	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
požární strop v P.P. (podzemním podlaží)	*30*	*45*	*60*	*90*	*120*	*180*	*180*
požární strop v N.P. (nadzemním podlaží)	*15*	*30*	*45*	*60*	*90*	*120*	*180*
požární strop v posledním N.P.	*15*	*15*	*30*	*30*	*45*	*60*	*90*

Orientační parametry vybraných typů stropních konstrukcí z hlediska požární bezpečnosti:

Materiálová varianta stropu	konstrukce	typ stropu	požární odolnost v minutách	max. výška objektu [m]
Dřevěné stropy	hořlavá	povalový strop	*45 - 60* [1]	*9*
		jednoduchý trámový strop	*25 - 50* [1]	*9*
	smíšená	trámový strop s násypem a podhledem s rákosovou rohoží	*40 - 70* [1]	*22.5*
Betonové stropy		deskový strop	*15 - 240* [2]	***neomezená***
		trámové bez podhledu	*45 - 240* [2]	***neomezená***
		žebrové, vložkové	*60 - 180* [2]	***neomezená***
		desky z lehkých betonů	*30 - 90* [2]	***neomezená***
Ocelové stropy	nechráněná	z ocelových nosníků bez protipožárního podhledu	*10 - 15*	***neomezená***
	chráněná	z ocelových nosníků s nástřikem	*45 - 240* [3]	***neomezená***
		z ocelových nosníků s omítkou na pletivu	*60 - 100*	***neomezená***
Ocelobetonové stropy	nechráněná	z vybetonovaných tvarovaných plechů	*20 - 45*	***neomezená***
	chráněná	obetonované ocelové nosníky s železobetonovou deskou tl. min. 100 mm	*60 - 240*	***neomezená***
Vložkové stropy		ocelové nosníky s vložkami z keram. tvárnic nebo lehkých betonů	*45 - 240* [4]	***neomezená***

Pozn.: 1) požární odolnost závisí na rozměrech dřevěného trámu a na konstrukci podhledu
2) požární odolnost závisí na tloušťce konstrukce, krytí tahové výztuže a způsobu vyztužení
3) požární odolnost závisí na druhu a tloušťce protipožárního nástřiku
4) požární odolnost závisí na tloušťce stropu a ochraně spodní pásnice ocelového nosníku

■ Akustická funkce a požadavky

Akustické požadavky představují rozhodující kritéria pro návrh stropní konstrukce, která zásadním způsobem ovlivňují celou její skladbu. Při návrhu konstrukce stropu je třeba vyhovět požadavkům na *vzduchovou neprůzvučnost* (šíření zvuku vzduchem) a na *kročejovou neprůzvučnost* (šíření zvuku hmotou - konstrukcí). Požadavky týkající se vzduchové neprůzvučnosti jsou do určité míry v protikladu s požadavky čistě statickými, usilujícími o maximální vylehčení stropní konstrukce. Optimální návrh stropu tak představuje vyvážený systém z hlediska požadavků statických a akustických.

Problém neprůzvučnosti je spojen nejenom s vlastní skladbou stropu, ale i se způsobem uložení na svislé konstrukce, s kotvením příček a s řešením všech svislých konstrukcí oddělujících dva prostory. Pro výslednou kvalitu akustických vlastností jsou rozhodující i lokální slabá místa (akustické mosty), které mohou znehodnotit jinak teoreticky správně navržené řešení. Prokázání vhodnosti návrhu řešení lze provést exaktně jen na základě experimentálního ověření ve zkušební laboratoři a prověření skutečné kvality řešení stavby z hlediska akustického se provádí technickým - provozním měřením v již hotové konstrukci in situ.

■■ Vzduchová neprůzvučnost

Stavební vzduchová neprůzvučnost má zajistit dostatečný "odpor" konstrukce vůči průniku zvuku ze vzduchu jedné místnosti přes konstrukci do místnosti druhé. Problém lze řešit na základě dvou principů a jejich kombinace:

- ***Princip hmotnostní:*** Vzduchová neprůzvučnost je přímo úměrná plošné hmotnosti stropu tzn., že strop musí mít určitou *minimální plošnou hmotnost* (orientačně se uvádí min. 250 - 350 kg/m^2) tak, aby mohla být zajištěna požadovaná stavební vzduchová neprůzvučnost (R'). Tento požadavek je automaticky splněn u většiny železobetonových stropů, kleneb a dřevěných stropů s násypy. V případě lehkých stropů (lehké dřevěné a ocelové stropy) je třeba hmotu do konstrukce přidat např. ve formě násypu (suchý písek, drobné kamenivo aj.), monolitické betonové vrstvy nebo suchou skladbou betonových desek nebo dlaždic. Hmotnostní princip je v protikladu se snahou o minimalizaci vlastní tíhy konstrukce z hlediska statického.
- ***Princip rozdělených hmot se vzduchovou mezerou:*** Pokud skladba stropu neobsahuje nebo nemůže obsahovat jen jednu hmotnou vrstvu, lze navrhnout systém dvou vrstev oddělených vzduchovou mezerou. Za předpokladu správného návrhu zvyšuje vzduchová mezera vzduchovou neprůzvučnost a celková hmotnost obou oddělených vrstev tak může být menší. Za účelem zlepšení vzduchové neprůzvučnosti se v případě lehkých konstrukcí do mezery vkládá vrstva rohože z minerálních nebo skelných vláken.

■■ Kročejová neprůzvučnost

Zvuk se do konstrukce dostává prostřednictvím mechanických impulzů (chůze, dynamické účinky zařízení aj.). Zvuk se šíří nejlépe a nejrychleji materiály o velké tvrdosti a pevnosti. Nepřerušenou hmotnou konstrukcí se může zvuk šířit i na velkou vzdálenost (desítky i stovky metrů - viz koleje, betonová konstrukce aj.). Problém ochrany proti kročejovému hluku lze řešit dvojím způsobem:

- ***Plovoucí podlaha.*** Tuhá konstrukce podlahy je důsledně dilatačně oddělena od nosné konstrukce stropu i okolních konstrukcí po obvodě podlahy pružnou nebo měkkou vrstvou. Plovoucí podlaha může být buď *těžká* - z klasické monolitické betonové vrstvy tl. 35 - 50 mm nebo *lehká* - z lehčích deskových materiálů (dřevotřískové desky, sádrokartonové desky aj.). Zvukoizolační pružná vrstva musí mít malou dynamickou tuhost a může být např. z desek z minerálních vláken, mikroporézní pryže, plsti aj. Často je mylně za vhodný materiál považován pěnový polystyren a korek, které však jsou relativně dynamicky tuhé.
- ***Zvukoizolační podlahový povlak.*** Nejjednodušším (ale často i méně účinným) způsobem je použití nášlapné vrstvy podlahy, která tlumí účinek dopadajícího mechanického impulzu. Používají se textilní povlaky (koberce) nejlépe se zvukově izolační podložkou z mikroporézní pryže nebo speciální povlaky z měkkých plastů. Běžné PVC bez podložky je téměř neúčinné.

Vybrané požadavky na zvukovou izolaci stropních konstrukcí podle ČSN 73 0532:

Chráněný prostor (přijímací)	*Hlučný prostor (vysílací)*	R'_w [dB]	L'_{nw} [dB]
Obyt. místnost byt. domu (mimo RD)	ostatní místnosti téhož bytu, nejsou-li součástí chráněného prostoru	42	68
Bytové domy - byt	všechny místnosti druhých bytů, schodiště, chodby	52	58
	veřejně nepoužívané prostory domu (např. půdy)	47	63
Řadové rodinné domy a dvojdomy	místnosti v sousedním domě	-	53
Hotely a ubytovací zařízení - ložnice, pokoje hostů	pokoje jiných hostů, veřejně užívané prostory (chodby, schodiště)	52	58
	restaurace, společenské prostory a služby s provozem do 22.00 h.	57	53
	restaurace s provozem i po 22.00 h.	62	48
Školy aj. - výukové prostory	výukové prostory, veřejně užívané prostory, chodby, schodiště	52	63
Kanceláře a pracovny	kanceláře a pracovny		
Nemocnice - pokoje, vyšetřovny	lůžkové pokoje, vyšetřovny		

R'_w ..... stavební index vzduchové neprůzvučnosti L'_{nw} ..... stavební index hladiny normalizovaného kročejového hluku

Pro zajištění kvalitní zvukoizolační funkce stropu musí být splněna obě kritéria. Skutečně kvalitní řešení lze zajistit stropem s dostatečnou plošnou hmotností a "těžkou" plovoucí podlahou.

■ Tepelnětechnická funkce a požadavky

Z hlediska tepelnětechnického musí stropní konstrukce splňovat požadovaný *tepelný odpor* R_N, jehož hodnota je závislá na rozdílu teplot v prostorách, které jsou stropem odděleny. Proto jsou větší požadavky na stropy nad průjezdy, na stropy vykonzolované nad vnějším prostorem, na stropy tvořící konstrukci zastřešení a na stropy nad nevytápěnými vnitřními prostorami. Naopak požadavky na tepelný odpor stropů mezi vytápěnými prostorami jsou malé. Tepelný odpor stropů mezi vnitřními prostorami je zajišťován zpravidla izolační vrstvou ve skladbě podlahové konstrukce (často totožnou s akustickou vložkou oddělující konstrukci plovoucí podlahy), u stropů nad vnějším prostorem nejlépe tepelnou izolací v konstrukci podhledu. V případě střešní konstrukce je tepelná izolace umístěna ve skladbě střešního pláště nebo je součástí podhledové konstrukce.

Tepelný odpor R_N stropní konstrukce u budov obytných a občanských podle ČSN 73 0540:

Strop pod nevytápěným prostorem, strop nad vnějším prostorem	R_N [m² K W⁻¹]						
Požadovaná hodnota	3,0						
Doporučená hodnota	4.35						
Přípustná hodnota pro rekonstrukce	1.9						
Vnitřní strop	R_N [m² K W⁻¹] pro $\Delta t = \lvert t_i - t_e \rvert$ [°C]						
	$\Delta t \leq 5$	$5 < \Delta t \leq 10$	$10 < \Delta t \leq 15$	$15 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 25$	$25 < \Delta t \leq 30$	$\Delta t > 30$
Požadovaná hodnota	0,25	0,55	0,8	1,05	1,3	1,6	2,0
Doporučená hodnota	0,4	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	2,9
Přípustná hodnota pro rekonstrukce	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,25

Kromě tepelného odporu celé stropní konstrukce je třeba zajistit, aby *pokles dotykové teploty podlahy* byl menší než normou stanovený požadavek odpovídající provozu v objektu. Toho se dosahuje vhodnou volbou skladby podlahy a její nášlapné vrstvy (kategorie podlahy: velmi teplé, teplé, méně teplé, studené). Požadavek *tepelné stability místnosti* souvisí s akumulačními vlastnostmi všech konstrukcí včetně stropu. Zpravidla velká plošná hmotnost běžných stropních konstrukcí je z tohoto hlediska dostatečná.

Jedním z hlavních problémů a požadavků je *omezení tepelných mostů*, které nejčastěji vznikají na styku obvodové svislé konstrukce a stropu. V těchto místech je třeba pečlivě vyřešit detail překrytí nebo přerušení tepelného mostu efektivní tepelnou izolací tak, aby pokles vnitřní povrchové teploty byl co nejmenší a aby nemohlo ani v případě extrémních rozdílů vnitřní a vnější teploty dojít ke kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu (způsobující zvlhnutí omítky, vytvářející podmínky pro vznik plísní aj.).

PRINCIPY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

F2

Principles of Structural Solution
Prinzipien der konstruktiven Lösung

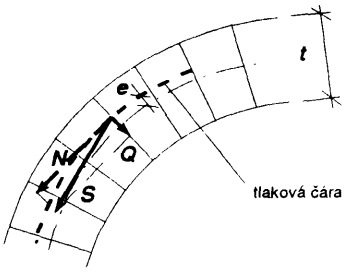
Z hlediska konstrukčního lze stropní konstrukce rozdělit na:

- klenby,
- deskové konstrukce,
- nosníkové konstrukce.

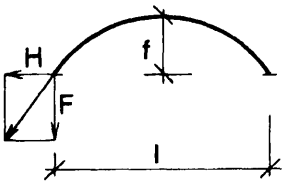
V rámci uvedených konstrukčních variant se uplatňují principy *vyztužení* (železobeton, vyztužené dřevěné profily aj.), *předepnutí* (předepjatý beton, předepnuté ocelové a dřevěné konstrukce aj.) a *spolupůsobení* (spřažení prvků, spolupůsobení prefabrikovaných prvků).

■ Klenbové působení

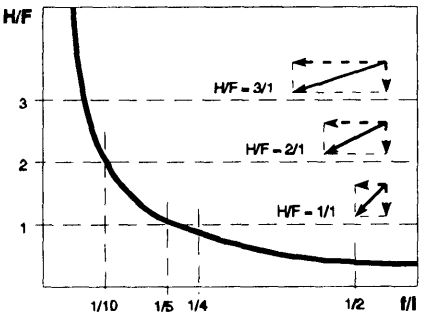
Klenba je oblouková konstrukce zpravidla složená z kusových dílců (cihel, kamenů), která vzhledem k existenci spár mezi dílci není schopná přenášet tahová namáhání. Klenba je charakteristická přenášením vnějšího zatížení *normálovými silami* (obloukovou tlakovou silou). V libovolném průřezu klenby působí výslednice vnitřních sil - *vnitřní oblouková tlaková síla S*, kterou lze rozložit do složky *N* - kolmé k ložné spáře a složky *Q* ve směru ložné spáry. Výslednicová - *tlaková čára* představuje množinu všech působišť výslednic vnitřních sil podél celé klenby. Působiště výslednice sil (a celé tlakové čáry) musí zůstat vždy uvnitř tzv. jádra průřezu tzn. pro případ obdélníkového průřezu ve vnitřní třetině výšky průřezu (musí platit $e \leq t/6$). V důsledku působení síly *N* (vytvoření tlakové rezervy - "předpětí") je klenba schopná přenášet i ohybové momenty za předpokladu, že výslednice sil zůstane uvnitř jádra průřezu tj. pokud nevznikne v průřezu klenby tahové namáhání.



působení vnitřních sil v klenbě



Klenba vyvozuje velké horizontální síly (*H*) v uložení, které jsou tím větší, čím je menší vzepětí (*f*) vzhledem k rozponu klenby (*l*) (viz graf). Působení klenby je závislé na dokonalém nepoddajném podepření pat klenby. V případě uvolnění podpory v horizontálním směru (vybočení zdi aj.) dojde vzhledem k neschopnosti klenby přenášet větší ohybová namáhání ke *kolapsu* konstrukce. Z toho vyplývá význam táhel pro zajištění stability kleneb v případech, kdy svislá konstrukce není dostatečně tuhá a nebo kdy není zajištěno přenesení horizontálních sil sousední klenbou.

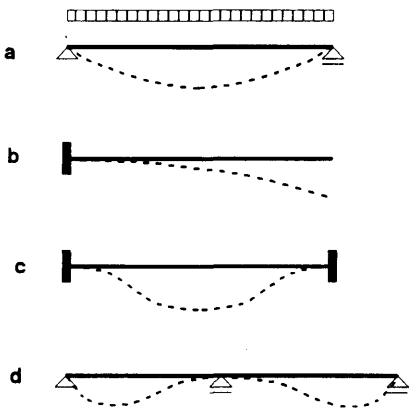


vliv vzepětí klenby na velikost vodorovných sil v uložení

Pro únosnost a stabilitu klenby mají velký význam klenbová nadezdívka a zásyp klenby, které u běžných typů kleneb (o vzepětí cca $f = l/4$) vyvozují na konstrukci klenby ohybové namáhání opačného smyslu než od běžného rovnoměrného zatížení. Po jejich superpozici (odečtení) je výsledné namáhání klenby *tlakové* s minimální výstředností.Tím klenbová nadezdívka a zásyp příznivě redukují nepříznivé ohybové namáhání klenby od vnějšího zatížení a zvyšují tak její únosnost a stabilitu.

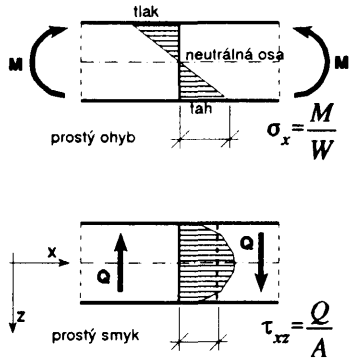
■ Nosníková konstrukce

Nosníková konstrukce může být uložena prostě (*a*), vetknutě (*b*), spojitě (*c*) nebo konzolově (*d*). Nosník je konstrukční prvek přenášející účinky svislého zatížení převážně *ohybem*, tzn. že ohybový moment od vnějších sil je v rovnováze s momentem vnitřních sil (momentem odporu konstrukce). Velikost namáhání průřezu závisí přímo úměrně na velikosti zatížení a nepřímo úměrně na příslušných průřezových charakteristikách. Pro ohybové namáhání je rozhodující průřezový modul W [m^3], pro smykové namáhání plocha průřezu A [m^2]. Průhyb nosníku je nepřímo úměrný tuhosti EI, kde E [MPa] je Youngův modul pružnosti a I [m^4] je moment setrvačnosti. Z uvedeného vyplývá, že nejefektivněji využitý materiál je v případě průřezu nosníku s velkým průřezovým modulem W a momentem setrvačnosti I ve směru působícího zatížení, tzn. s větší výškou a s hmotou soustředěnou co nejdále od neutrální osy.



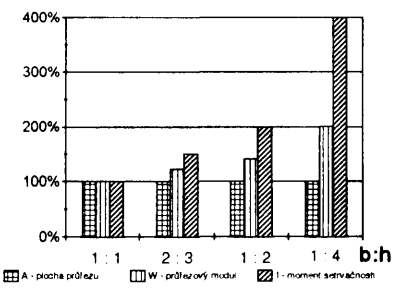
způsoby uložení nosníků a charakter jejich deformace od svislého zatížení

Libovolný průřez nosníku je namáhán normálovým napětím σ_x od *ohybového momentu M* a smykovým napětím τ_{xy} od *posouvající síly Q*. V případě zatížení krouticím momentem T (např. v případě roštů a kazetových konstrukcí) je průřez navíc namáhán smykovým napětím τ_{xy} od kroucení. Z průběhu napětí σ_x v průřezu vyplývá, že ohýbaný nosník je na jedné straně tažený a na druhé straně tlačený. Smykové síly ve střední části zajišťují spolupůsobení tažené a tlačené části. Obdélníkový průřez z jednoho materiálu (např. dřevěný trám) má při extrémním namáhání na mezi únosnosti využita pouze krajní vlákna a směrem k neutrální ose průřezu se velikost normálových napětí ve vláknech zmenšuje. Znamená to, že materiál ve střední části průřezu není zcela staticky využit a představuje pro nosník nejenom neefektivní spotřebu materiálu, ale i větší zatížení vlastní tíhou. Spolupůsobení tažené a tlačené části nosníku lze v oblasti kolem neutrální osy zajistit tenčím průřezem, který může být ze stejného nebo i jiného materiálu.



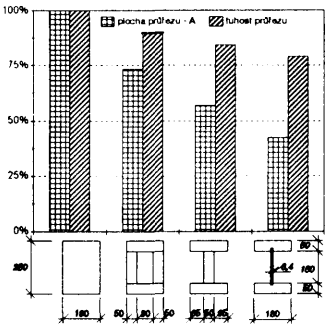
normálové a smykové napětí v obdélníkovém průřezu

Proto se využívá různých typů průřezů tvaru I, dutých komůrkových průřezů, trubek, příhradových nosníků aj. Snaha o optimalizaci využití materiálu vede k vysokým štíhlým nosníkům s odlehčenou střední částí. Jejich skutečnou efektivnost je třeba posoudit z hlediska i) často větších nákladů na jejich zhotovení, ii) potřeby konstrukčního zajištění na klopení a iii) zpravidla větší výšky nosníku a tím i větší tloušťky stropu (viz graf v kapitole F1).



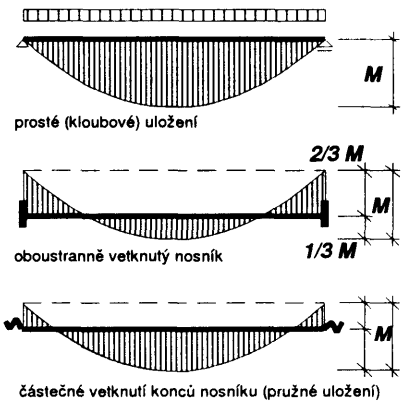
vliv poměru b:h na velikost W a I u obdélníkového průřezu (průřezová plocha A je stejná)

Často se v rámci jednoho průřezu kombinují různé materiály. V tažené oblasti se s výhodou využívají ocelové pruty nebo ocelová lana, která při minimální ploše jsou schopná přenášet větší tahová napětí. V tlačené oblasti lze využít výborných vlastností betonu v tlaku (viz vyztužené a předepnuté betonové konstrukce) nebo dřeva. Střední část zajišťující spolupůsobení svojí smykovou tuhostí může být tvořena plnou stojinou, příhradovinou, nebo příhradovinou se systémem pouze tažených diagonál.



porovnání průřezové plochy a tuhosti plného a ve střední části vylehčeného průřezu

Velikost namáhání je závislá na způsobu podepření nosníku. Prosté (kloubové) podepření nosníku je konstrukčně nejjednodušší, v tomto případě však vzniká v mezipodporové části nosníku největší namáhání ohybovým momentem. Vetknutím konců nosníku do podpor se sníží mezipodporový moment od rovnoměrného zatížení na 1/3 a podporový moment má hodnotu 2/3 mezipodporového momentu na prostém nosníku. Často má podepření nosníku charakter částečného pružného upnutí a průběh ohybových momentů leží mezi uvedenými mezními hodnotami.

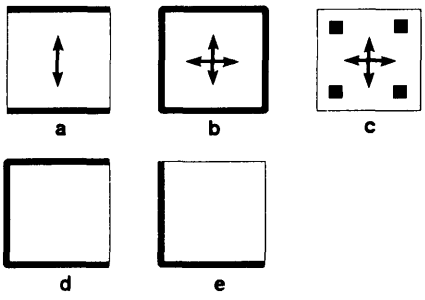


vliv podepření rovnoměrně zatíženého nosníku na jeho namáhání

Stropní nosníky jsou často namáhány také normálovými silami od distribuce vodorovných sil způsobených zatížením větrem, seizmicitou nebo objemovými změnami. Přenos vodorovných zatížení závisí na konstrukčním provedení styku nosníku a svislé nosné konstrukce.

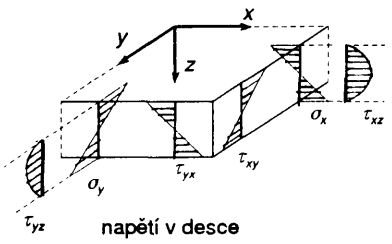
■ Desková konstrukce

Stropní desková konstrukce může být podepřená na dvou protilehých stranách (*a*) (jednosměrně pnutá deska), po celém obvodu (*b*) (dvousměrně pnutá deska) nebo podepřená lokálně sloupy nebo hřibovými hlavicemi (*c*). Kromě těchto základních způsobů uložení mohou být desky podepřeny i po třech stranách (*d*) nebo dvou přilehlých stranách (*e*). Podepření může být obdobně jako u nosníků prosté, vetknuté, spojité nebo konzolové. Charakteristické pro deskové konstrukce je roznášení zatížení ve všech směrech a to i v případě, že jde o konstrukci jednosměrně pnutou. V tomto případě je roznos zatížení zajištěn i) rozdělovací výztuží v železobetonové desce, ii) skobami nebo klínky spojujícími trámy povalového stropu, iii) zalitím, svařením a vyztužením spár mezi prefabrikovanými dílci aj.

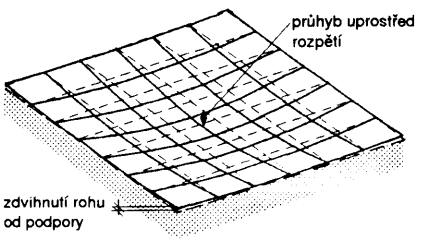


varianty podepření desek

Jednosměrně pnutá deska podepřená na dvou protilehlých stranách staticky působí obdobně jako nosník. Statické působení desek pnutých ve dvou směrech je složitější. Kromě normálových a smykových napětí od ohybu vznikají v desce napětí od kroucení desky. *Desky pnuté ve dvou směrech* tak mají v porovnání se srovnatelnými jednosměrnými deskami větší únosnost a menší průhyb. Dvousměrné desky jsou však výhodné pouze do poměru stran 1:1,5. Při větším rozdílu délek stran se staticky uplatní především kratší rozpon a význam delšího rozponu je velmi malý (viz graf v kap. F5). U desek pnutých ve dvou směrech dochází při zatížení ke *zdvihání rohů od podpory*, kterému je zpravidla bráněno v uložení desky do svislé konstrukce. Z tohoto důvodu je třeba desku vyztužit v rozích při horním povrchu, tak aby byla schopná přenést vzniklá tahová namáhání.



napětí v desce

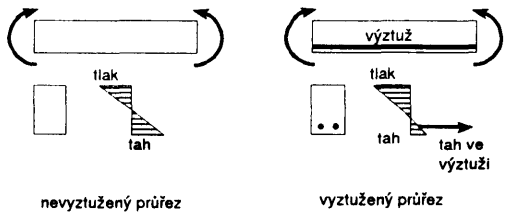


deformace desky po obvodě prostě uložené

Plná desková konstrukce je velmi těžká a má velkou spotřebu konstrukčního materiálu. Proto se často vylehčuje dutinami ve střední části průřezu (dutinové panely) nebo vložkami z jiného lehčího materiálu (keramiky, lehkých betonů, plastové výlisky aj.). Tím v průřezu vznikne systém žeber v jednom nebo více směrech a z desky se stává v principu nosníková (žebrová, kazetová) konstrukce.

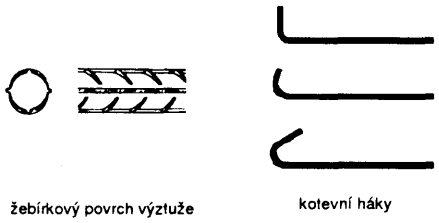
■ Vyztužení ohýbané konstrukce

U vyztužených konstrukcí se využívá materiálu o velké pevnosti v tahu (zpravidla oceli) k přenášení tahových napětí v kombinaci s materiálem vhodným k přenášení tlakových namáhání. Typickými případy jsou železobetonový průřez nebo dřevěný lepený lamelový vyztužený průřez. Zvýšení únosnosti nosníku lze dosáhnout zvětšením tlačené oblasti v horní části průřezu vytvořením tzv. "T" průřezu. Maximální započítatelná spolupůsobící šířka desky u železobetonových průřezů je dána příslušnou normou.

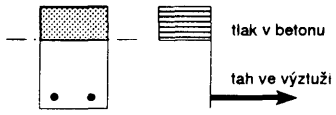


teoretický průběh normálových napětí u ohýbaného průřezu z homogenního materiálu

V *železobetonovém průřezu* tah přenáší ocelová výztuž a tlak je přenášen betonem, eventuálně v kombinaci s ocelovou výztuží v tlačené části průřezu. Podmínkou je zajištění spolupůsobení výztuže s betonovým průřezem. Spolupůsobení výztuže s betonem je zajištěno kotevními háky a žebírkovým povrchem výztuže, který brání vytržení výztuže z betonu. Existence železobetonu je umožněna vzhledem k přibližně shodnému součiniteli teplotní roztažnosti betonu a oceli. Při změně teploty tak nedochází (vzhledem ke stejnému protažení) ke zvětšení napětí mezi výztuží a betonem, které by mohlo způsobit vytržení výztuže z betonu.

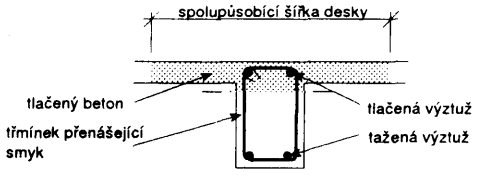


spolupůsobení ocelové výztuže s betonem



teoretický předpoklad rozložení napětí v železobetonovém ohýbaném průřezu

Vzhledem k charakteru betonu se při posuzování průřezů na mezi únosnosti předpokládá v tlačené oblasti rovnoměrné rozložení napětí a v tažené oblasti vznik trhlin v betonu (vzhledem k protažení výztuže). Průřez je třeba posoudit i z hlediska smykového namáhání. Vyztužování železobetonových nosníků na smyk se provádí pomocí *třmínků* z betonářské oceli menšího průměru a pomocí tzv. *ohybů* probíhajících pod úhlem 45° nebo 60° od taženého k tlačenému okraji.

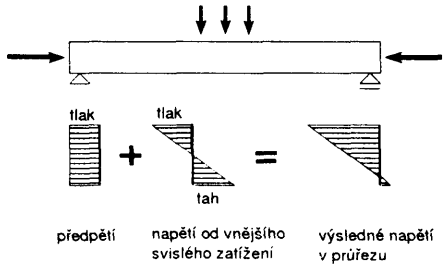


princip vyztužení železobetonového trámu

Dřevěný lepený lamelový nosník může být pro zvýšení únosnosti vyztužen ocelovými pruty vlepenými do průřezu v tažené oblasti a někdy i v tlačené oblasti nosníku (viz F4). Na podobném principu jsou založeny i *spřažené ocelobetonové stropy*, u kterých tahová namáhání přenáší ocelový nosník nebo profilovaný plech a beton přenáší tlak. Spolupůsobení obou částí je zajištěno spřahovacími trny, prolisy v plechu aj. (viz F6).

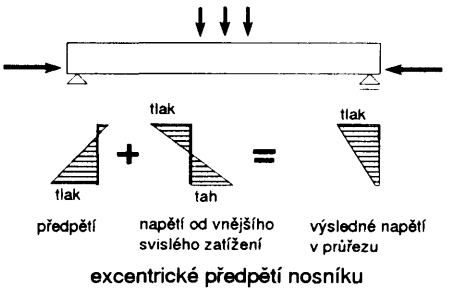
■ Předpětí ohýbané konstrukce

Pro zvětšení únosnosti lze do průřezu vnést předem tlakové napětí (tzv. předpětí), které vytváří v průřezu "tlakovou rezervu" a průřez může být i po zatížení z podstatné části nebo celý tlačený. Tímto způsobem lze zvýšit únosnost průřezů z materiálů, které mají malou pevnost v tahu a velkou pevnost v tlaku (např. beton), ale i průřezů z materiálů o přibližně shodných tahových i tlakových pevnostech (např. dřevo, ocel).



centrické předpětí nosníku

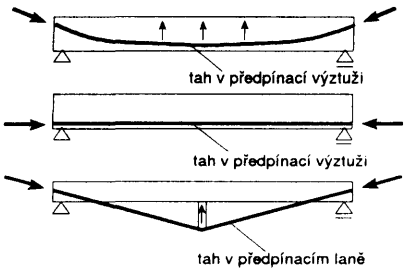
V druhém případě se předepnutím vnáší do konstrukčního prvku napětí opačného smyslu než je napětí vznikající od vnějšího zatížení. Teoreticky tak lze navrhnout pro konkrétní zatížení ohýbaný nosník, jehož průřez nebude vůbec namáhán tahem a bude převážně tlačený obdobně jako klenba. Předpětím konstrukce lze dosáhnout lepšího využití materiálu průřezu a nosník nebo desku lze realizovat na větší rozpony a větší zatížení.



excentrické předpětí nosníku

Předpínání prvků se používá nejčastěji u betonových konstrukcí (beton má malou pevnost v tahu a velkou v tlaku). Předpětí se zpravidla volí tak, aby byl betonový průřez tlačený i v případě celkového zatížení.

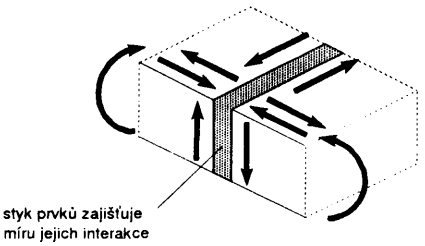
Obdobným způsobem lze předepínat i dřevěné lamelové lepené nosníky nebo různé typy dřevěných nebo ocelových nosníků s volně umístěnou předpínací výztuží na spodní straně.



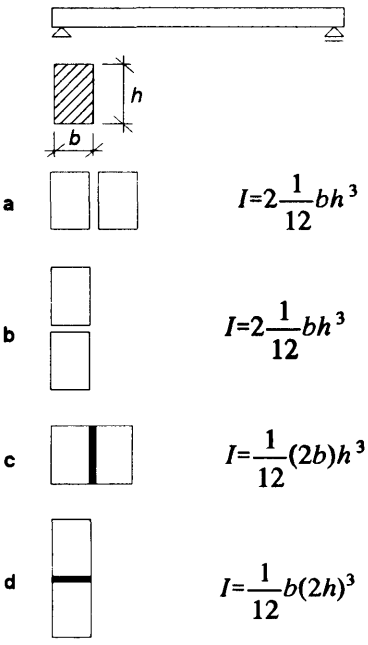
způsoby předpínání prvků

■ Spolupůsobení konstrukčních prvků

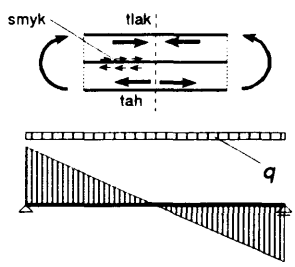
Základním konstrukčním principem je *spolupůsobení konstrukčních prvků*. Konstrukce vzniklá spojením jednotlivých konstrukčních prvků, které při zatížení vzájemně spolupůsobí, může mít kvalitativně lepší vlastnosti než by odpovídalo prostému součtu parametrů jednotlivých prvků.



Názorným příkladem je porovnání tuhosti dřevěného nosníku vytvořeného ze dvou dřevěných trámků, které jsou v jednotlivých variantách různě vzájemně spojeny. Případy (*a*) resp. (*b*) mají trámky volně položeny vedle sebe resp. na sobě bez vzájemného spojení - spřažení (spáru mezi nimi předpokládáme dokonale kluznou, tření se zanedbává). Trámky v případech (*c*) a (*d*) jsou dokonale spojeny např. slepením. Je zřejmé, že případy (*a*), (*b*) a (*c*) mají stejnou tuhost odpovídající dvojnásobku tuhosti jednoho trámku. Ani v případě (*c*) se dokonalé spojení na výsledné tuhosti neuplatní (výsledný průřez má stejný moment setrvačnosti jako průřez (*a*) - spojení má význam pro zajištění shodného průhybu při různém zatížení prvků - viz dále). Pouze v případě (*d*) dojde k výraznému zvýšení tuhosti vzhledem k tomu, že moment setrvačnosti spřaženého průřezu (působícího jako celistvý průřez *b* x *2h*) je 4 x větší než v ostatních případech. Z uvedeného příkladu je zřejmé, že ***vhodným spojením*** lze ze stejných konstrukčních prvků vytvořit nosník nebo jinou konstrukci, která může mít výrazně lepší vlastnosti než samostatně působící výchozí konstrukční prvky.

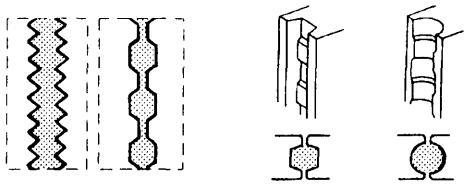


Na uvedeném principu je založena řada konstrukčních systémů stropů - lepené a sbíjené dřevěné nosníky, spřažené nosníky prefa-monolitické, spřažené betonové prefamonolitické desky, spřažené plechobetonové desky aj. Ve všech případech je rozhodující konstrukční řešení spojení prvků přenášející převážně smyková namáhání, která brání vzájemnému posunu a oddělení prvků průřezu.



průběh smykového namáhání po délce styku spřaženého prostého nosníku rovnoměrně zatíženého

Zajištění spolupůsobení prvků jejich vzájemným spojením nemusí být vždy prováděno za účelem zvýšení ohybové tuhosti. Např. v případě prefabrikovaných panelových stropů se jednotlivé panely vzájemně spojují styky (betonem zalitý hmoždíkový styk, svařené stykovací destičky, vyztužené spáry mezi dílci aj.), které zajišťují jejich shodný průhyb a tím roznášení lokálních zatížení do větší plochy. Zároveň je tak zajištěna celistvost podhledu. Stejný princip je použit u tradičních dřevěných povalových stropů, u kterých se jednotlivé trámy spojují skobami nebo klínky. Spojením jednotlivých dílců v rovině stropu lze také zajistit tuhou stropní tabuli schopnou svojí smykovou tuhostí distribuovat horizontální zatížení do ztužujících prvků.



úpravy boků prefabrikovaných dílců zajišťující po vyplnění stykovým betonem smykové spolupůsobení

■ Konstrukční varianty stropních konstrukcí

Stropní konstrukce lze roztřídit podle konstrukčního, materiálového nebo technologického hlediska:

Konstrukční třídění vychází ze základního konstrukčního principu:	
- *klenby*	- klenby kamenné, cihelné, betonové
- *deskové stropy*	- jednosměrné (železobetonová deska, plechobet. deska, povalové stropy aj.)
	- obousměrné (křížem vyztužená železobetonová deska, železobetonový hřibový strop aj.)
- *nosníkové stropy*	- jednosměrné (trámové stropy - dřevěné, železobetonové, ocelové, vložkové stropy aj.)
	- obousměrné (kazetové nebo roštové stropy, vložkové obousměrné stropy aj.)
Materiálové třídění vychází z materiálu hlavního nosného konstrukčního prvku:	
- *dřevěné stropy*	- deskové (povalové stropy)
	- nosníkové (trámové stropy, fošnové stropy aj).
- *kamenné stropy*	- klenby, stropy z kamenných desek (antické Řecko)
- *stropy z keramických materiálů*	- cihelné klenby
- *betonové stropy*	- betonové klenby a skořepiny
	- deskové (železobetonové desky, spřažené železobetonové desky)
	- nosníkové (želbetonové trámové a průvlakové stropy, žebrové nebo kazetové vložkové stropy)
- *kovové stropy*	- deskové (stropy z profilovaných plechů)
	- nosníkové (stropy z ocelových nosníků)
- *materiálově kombinované nosné konstrukce stropů* - spřažený ocelobetonový strop aj.	
Technologické třídění:	
- *zděné stropy*	- klenby
- *monolitické stropy*	- monolitické železobetonové stropy
- *prefabrikované stropy*	- železobetonové prefabrikované stropy, ocelové stropy aj.
- *prefamonolitické stropy*	- spřažená železobet. deska filigran, prefamonolitické hřibové stropy aj.

Konkrétní varianta stropu vychází z některých ze skupin konstrukčního, materiálového a technologického třídění nebo z jejich kombinace. V rámci kapitol F3 až F6 jsou stropy rozděleny na *skupiny podle rozhodujících znaků*, tak jak je to běžným zvykem, i když to neodpovídá přesnému třídění podle některého z výše uvedených hledisek.

KLENBY

F3

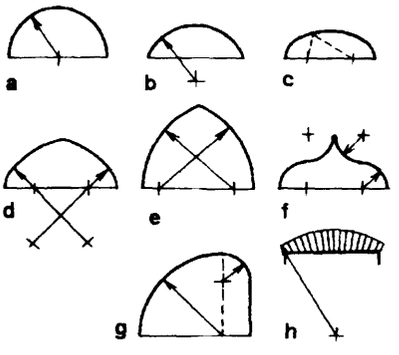
Vaults
Gewölbe

Klenby jsou jeden z nejstarších typů stropních konstrukcí. Jde o obloukové tlačené konstrukce z cihel, kamene, od 20. století i z prostého betonu nebo železobetonu. Tradiční klenby se používaly od dob antických a můžeme se s nimi setkat v různých konstrukčních variantách prakticky ve všech historických obdobích. Poslední hojné používání kleneb pro stropní konstrukce bylo v období výstavby činžovních obytných domů koncem 19. a na začátku 20. století. Betonové a železobetonové klenby se používají výjimečně a to pouze pro konstrukce zastřešení nebo někdy při rekonstrukcích budov jako náhrada za původní klenby.

Nevýhodou kleneb je především velká hmotnost, pracnost, konstrukční rozměry (velká tloušťka stropní konstrukce vyžadující velkou konstrukční výšku podlaží) a z toho vyplývající značná spotřeba materiálu a tím i značné finanční náklady na jejich realizaci. Z uvedených důvodů se v současnosti klasické klenby nepoužívají. Výjimkou jsou rekonstrukce budov, v rámci kterých je často potřeba klenby rekonstruovat, zesilovat nebo realizovat repliky původních kleneb.

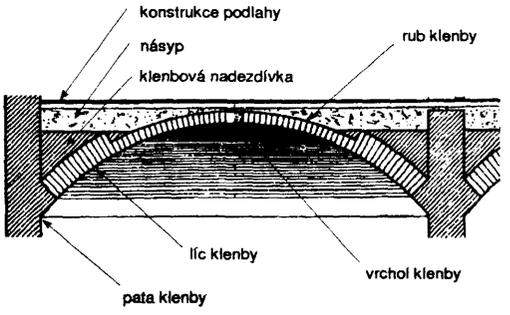
Výhodou kleneb je jejich nehořlavost, požární odolnost a větší trvanlivost ve vlhkém prostředí (v prorovnání s dřevěnými stropy). Proto se klenbové stropní konstrukce používaly u tradičních bytových objektů pro stropy nad podzemím a přízemím a stropy ve středních chodbových traktech. Klenby mají vzhledem k velké vlastní hmotnosti a hmotnosti násypů velmi dobré akustické vlastnosti a vzhledem k použitému materiálu (plné cihly, kámen) příliš nepodléhají degradaci v důsledku zvýšené vlhkosti a stáří.

Konstrukce kleneb



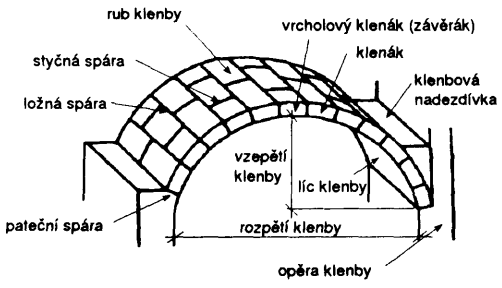
Vlastní klenba je charakteristická tvarem příčného řezu kolmého k hlavní ose klenby tj. *čelního oblouku*. Čelní oblouk může být kruhový *plný* (*a*), kruhový *segmentový* (*b*), *eliptický* (*c*), *tudorský* (*d*), *lomený (gotický)* (*e*), *španělský* (*f*), stoupající - *kobylí hlava* (*g*), *přímý* (*h*) apod. Plný polokruhový oblouk vyvozuje minimální vodorovné síly na podpěrné konstruce a proto se používá pro velká svislá zatížení. Nízké segmentové klenby naopak vyvozují velké vodorovné síly.

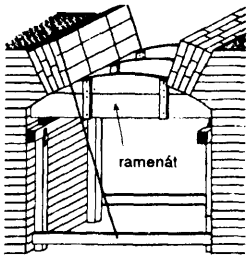
Konstrukce kleneb je velmi hmotná nejenom vzhledem k použitému materiálu, ale především vzhledem ke tvaru, kdy je zakřivený *rub klenby* vyrovnáván mohutným *násypem* tak, aby bylo možné provést rovnou podlahovou konstrukci. Vzniká tak v konstrukci nevyužitelný prostor vyplněný násypem, který výrazně zvyšuje hmotnost budovy.

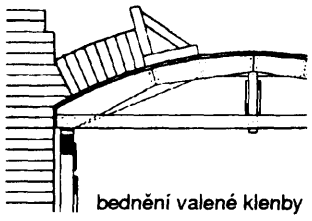


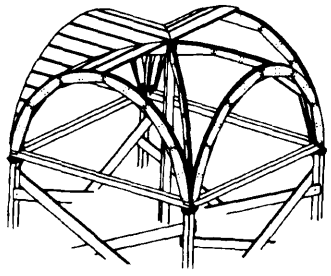
Podhled klenby - *líc klenby* je obloukového tvaru. Výškový rozdíl mezi *patou klenby* a *vrcholem klenby* se nazývá *vzepětí klenby*. V případě, že vzepětí je velmi malé nebo žádné mluvíme o *přímé klenbě*.

Tradiční klenby se vyzdívaly z tzv. *klenáků* na podpůrné celoplošné bednění nebo na ramenáty. Klenba se zdila od patek k závěru klenby na vazbu s ložnými a styčnými spárami obdobně jako u zdiva stěn. Ložné spáry probíhají kolmo na *čelní oblouk klenby* a směřují radiálně do středu křivosti. Ve vrcholu zděné klenby - *závěru klenby* nesmí být spára, ale vždy vrcholový klenák tzv. *závěrák*. Závěr klenby je třeba řádně vyklínovat. Po vyklenutí klenby se její rub zalije řídkou maltou a provede klenbová nadezdívka a zásyp.

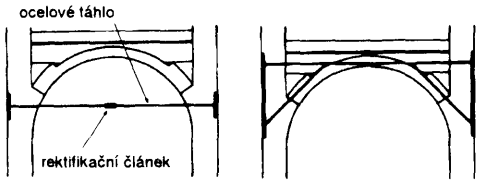





bednění valené klenby

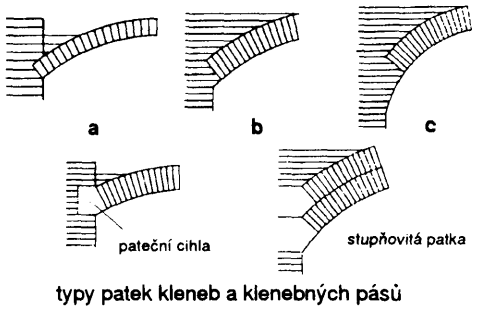

bednění křížové klenby

Klenby vyvozují velké šikmé tlaky, které je třeba zachycovat masívními opěrami nebo ocelovými táhly. Problém zachycení šikmých tlaků je především u kleneb v krajních traktech objektu u obvodových zdí. V případě vnitřní zdi, nad kterou se stýkají dvě sousední klenby shodného rozpětí a vzepětí se vodorovné složky šikmých tlaků vzájemně ruší a nosná stěna je namáhána pouze svislým tlakem. Stabilitu klenby zvyšuje *klenbová nadezdívka* a násyp vyrovnávající rub klenby do roviny.



klenbové kleště

Klenba je opřena do podpory prostřednictvím patky klenby, která může být konstrukčně různého typu - zapuštěná (*a*), polozapuštěná (*b*), vyložená (*c*). Zapuštěné patky jsou sice konstrukčně jednodušší, ale zeslabují zdivo stěny. Proto se používaly především pro tenké klenby malým vzepětím. Vyložené patky musí být navrženy tak, aby svislá reakce v uložení klenby nezpůsobila jejich porušení smykem.



typy patek kleneb a klenebných pásů

Rozdělení kleneb:

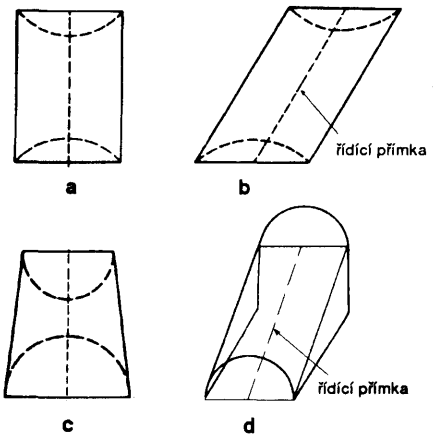
• ***klenby tradiční zděné***	- *valené klenby*	
	- *klášterní klenby*	- klasická klášterní klenba
		- neckovitá klenba
		- zrcadlová klenba
		- kopule
		- česká klenba
		- pruská klenba
	- *křížové klenby*	- klasická křížová klenba
		- hvězdicová klenba
	- *lunetové klenby*	
• ***klenby novodobé***	- *klenby z prostého betonu*	
	- *klenby železobetonové*	- železobetonové klenby a skořepiny
		- žebrové a kazetové železobetonové klenby

■ Klenby tradiční zděné

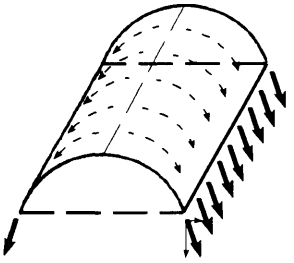
■■ Valené klenby

Nejčastěji používaný tvar klenby je klenba *valená*, ze které jsou odvozeny ostatní typy kleneb.

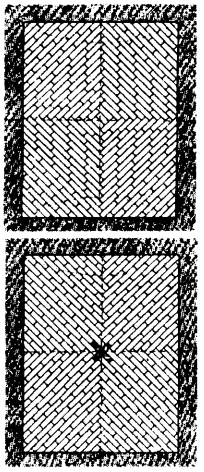
Tvar valené klenby je dán pohybem *tvořící křivky* čelního oblouku po řídících přímkách. ***Rovná valená klenba*** (*a*) vzniká v případě, že řídící přímky jsou kolmé na čelní oblouk, ***šikmá valená klenba*** (*b*) v případě, kdy řídící přímky svírají s rovinou čelního oblouku ostrý úhel. Pokud se řídící přímky sbíhají (tj. nejsou rovnoběžné v půdorysné rovině) vzniká ***kuželová valená klenba*** (*c*). V případě, že řídící přímky leží v šikmé rovině vzniká pohybem tvořící křivky ***stoupající valená klenba*** (*d*).



Valená klenba je uložená na dvou zpravidla rovnoběžných podporách - nosných stěnách, *klenebních pasech* nebo ocelových nosnících. Nejčastěji se valené klenby vyzdívají s ložnými spárami ve směru osy klenby. Normálové síly (tlaky) působí ve směru kolmém k povrchovým přímkám a přenášejí se do podpor. V případě úhlopříčného vyzdívání valené klenby se část zatížení od klenby přenáší i do čelních zdí.



statické působení valené klenby v případě ložných spár rovnoběžných s osou klenby



varianty úhlopříčného vyzdívání valených kleneb

V případě požadavku zastropení větších rozponů při malé tloušťce stropu se používalo stropní konstrukce z válcovaných ocelových nosníků (uložených v osové vzdálenosti zpravidla do 2 m), do kterých byla vyzděna valená klenba o malém vzepětí (viz také oddíl F6).

Orientační tloušťky cihelných valených kleneb:

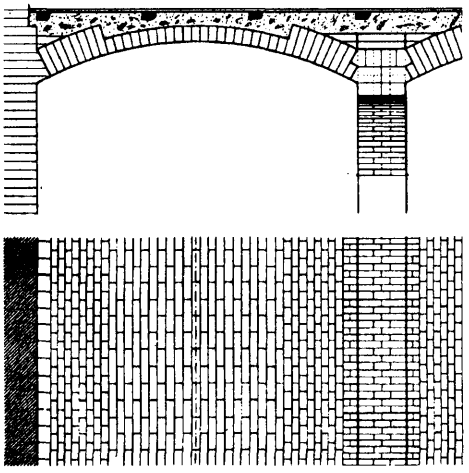
- pro vzepětí 1/4 rozponu:

rozpětí valené klenby	*tloušťka ve vrcholu*	*tloušťka v patce*
do 5,5 m	150 mm	300 mm
5,5 - 6 m	180 mm	450 mm
6 - 6.5 m	240 mm	450 mm
6.5 - 7.5 m	300 mm	600 mm
10 - 14 m	450 mm	600 mm

- pro vzepětí 1/6 rozponu:

rozpětí valené klenby	*tloušťka ve vrcholu*	*tloušťka v patce*
do 4,5 m	150 mm	300 mm
4,5 - 5.2 m	180 mm	300 mm
5.2 - 6 m	240 mm	450 mm
6 - 7 m	300 mm	450 - 600 mm

Klenby do rozponu 1,2 m bylo možné realizovat i v tloušťce 75 mm.

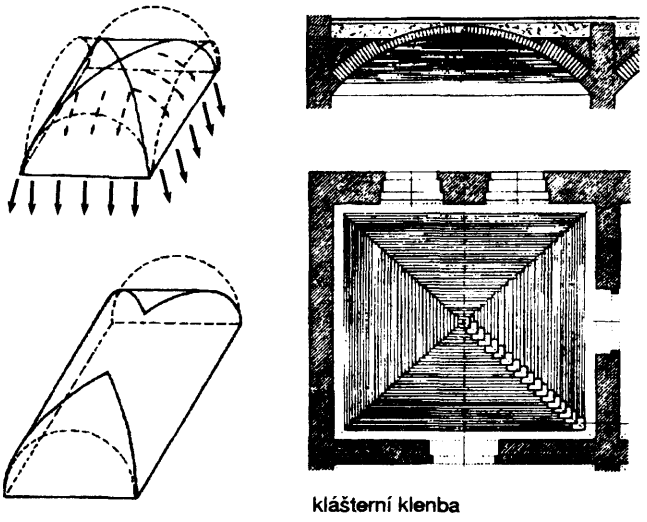


valená klenba s ložnými spárami rovnoběžnými s osou klenby

■■ Klášterní klenby

Charakteristické rysy všech typů klášterních kleneb:
- klenba klášterní vzniká průnikem dvou nebo i více valených kleneb, jejichž povrchové přímky jsou rovnoběžné s přilehlými podporami; ve styku dvou valených kleneb vzniká *tupé žebro*,
- konstrukce klenby vyžaduje podpory (stěny, klenební pasy, ocelové nosníky) po celém obvodu zaklenutého půdorysu, klenba je uzavřená bez čelních oblouků,
- ložné spáry jsou ve směru povrchových přímek, spáry styčné jsou kolmo a jsou prostřídány na vazbu,
- normálové síly (klenbové tlaky) působí ve směru kolmém k povrchovým přímkám a přenášejí se do obvodových podpor,
- vrstvy cihel se v žebrech převazují nebo se používá speciálních žeberních kamenů, tak aby v žebru neprobíhala průběžná spára.

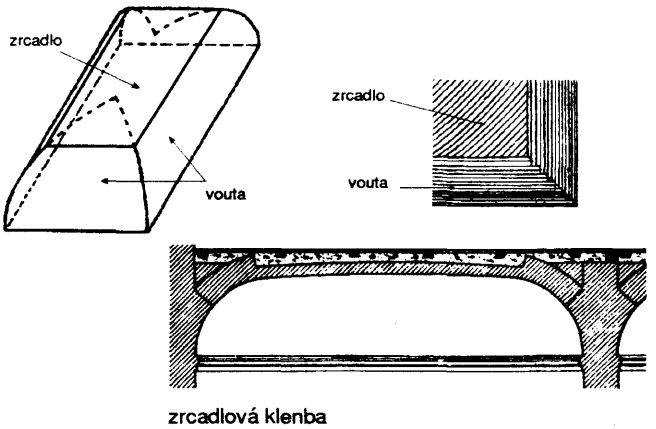
Klasická klášterní klenba se používala nad čtvercovým, obdélníkovým nebo víceúhelníkovým půdorysem o tvaru blízkém čtverci. Tupá žebra se sbíhají ve vrcholu klenby umístěném zpravidla nad těžištěm plochy půdorysu.



klášterní klenba

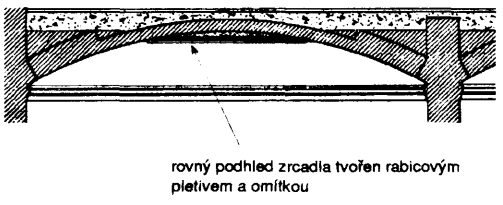
Neckovitá klenba se používala nad podlouhlými obdélníkovými půdorysy. V podstatě jde o valenou klenbu v čelech uzavřenou částmi kolmo orientované valené klenby. Tupá žebra vzniklá průnikem kleneb se sbíhají ve dvou bodech, mezi kterými je střední část tvořená valenou klenbou. Konstrukce klenby je podepřená po celém obvodu půdorysu.

Zrcadlová klenba má tvar, který vznikne z tvaru klenby klášterní nebo neckovité tak, že se odstraní střední vrcholová část a nahradí se rovinou (*zrcadlem*) rovnoběžnou s patkami kleneb. Zrcadlo je tvořené přímou klenbou (cihelnou nebo betonovou) o minimálním vzepětí 1/30 až 1/36 úhlopříčky. Orientační tloušťka cihelného zrcadla do rozponu 3.5 m je 150 mm. Pro větší rozpony se používalo rozdělení zrcadla pomocí ocelových nosníků na menší pole. Pravé zrcadlové klenby jsou výhodné vzhledem k menší tloušťce a menší hmotnosti i pro zastropení větších rozponů.



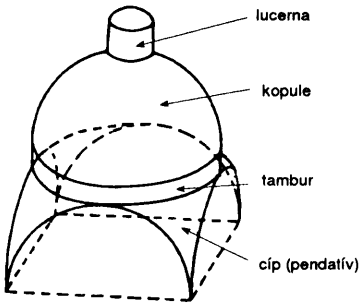
zrcadlová klenba

Často se prováděla tzv. ***nepravá zrcadlová klenba***, kdy se do klášterní nebo neckovité klenby vytvořilo rovné zrcadlo buď větší vrstvou omítky ve vrcholu klenby (v případě kleneb s malým vzepětím) nebo zavěšením rovného podhledu z rabicového pletiva a omítky (nad podhledem tak vznikl prázdný uzavřený prostor).



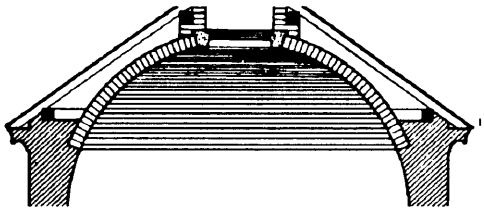
nepravá zrcadlová klenba

***Kopule** (báň)* je typ klášterní klenby vytvořené nad kruhovým, eliptickým nebo oválným půdorysem. Líc kopule tvoří sférická plocha - zpravidla část rotační plochy s osou rotace vodorovnou nebo svislou. V případě čtvercového, obdélníkového nebo obecného víceúhelníkového půdorysu se vytvoří přechod mezi obvodovými stěnami a kopulí pomocí *cípů* (*pendativů*), které tvarově představují části české klenby. Kopule velkých rozponů se konstruují tak, že ve směrech poledníků se vyklenou silnější žebra zesílená příčnými pasy a mezi nimi je slabší výplň.



Orientační tloušťka klenby kopule:

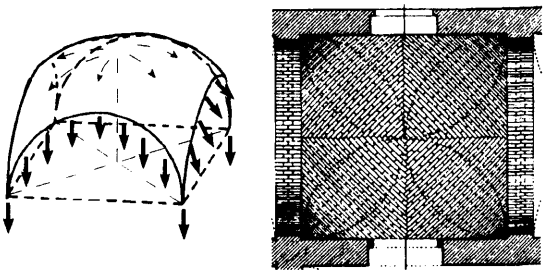
rozpětí kopule	*tloušťka ve vrcholu*	*tloušťka v patce*
do 4 m	150 mm	150 mm
4 - 6 m	300 mm	300 mm
6 - 8 m	300 mm	450 mm
8 - 10 m	300 mm	600 mm
10 - 14 m	450 mm	600 mm



kopule

Kopule se používaly i pro zaklenutí velkých rozponů (až několika desítek metrů - Pantheon v Římě - rozpon 43 m).

Česká klenba vznikne nad půdorysem čtvercovým, obdélníkovým nebo obecným víceúhelníkovým tak, že tvar kopule vytvořený nad pateční křivkou opsanou půdorysu prostoru má odřezané části svislými rovinami procházejícími obvodovými podporami. Obvodové stěny jsou tak ukončeny čelními oblouky přenášejícími svislé zatížení z klenby do obvodových stěn. Vzepětí české klenby je 1/2 až 1/10 rozpětí. Tloušťka vlastní cihelné klenby je při rozponu do 5 m 150 mm a při větších rozponech je tloušťka při patkách 300 mm.



česká klenba

Pruská klenba se liší od české klenby tím, že vznikne pohybem tvořící křivky po řídící křivce. Líc klenby je plocha translační.

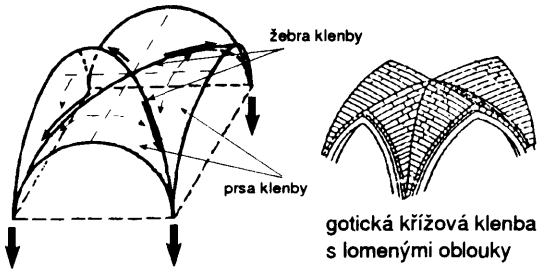
pruská klenba

■■ Křížové klenby

Charakteristické rysy křížových kleneb:

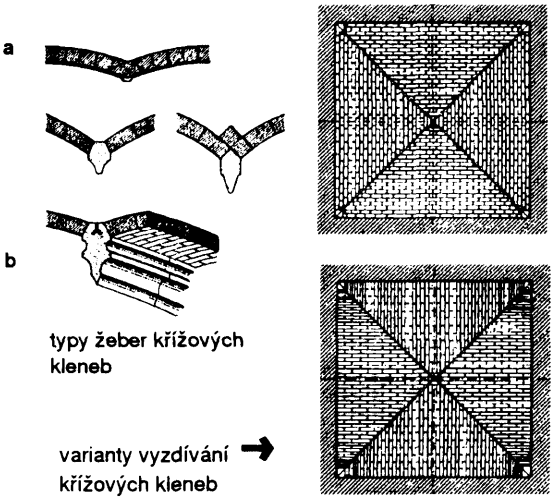
- klenba vzniká průnikem dvou nebo i více valených kleneb o stejné výšce, jejichž povrchové přímky jsou kolmé ke ztužujícím klenebním pasům nebo stěnám, ve styku dvou valených kleneb vzniká *ostré žebro*, žebra se sbíhají ve vrcholu klenby; části klenby mezi žebry se nazývají *prsa klenby*,
- konstrukce klenby je otevřená s čelními oblouky tvořenými ztužujícími klenebními pasy nebo obvodovými stěnami,
- ložné spáry jsou ve směru povrchových přímek, spáry styčné jsou kolmo a jsou prostřídány na vazbu,
- normálové síly (klenbové tlaky) působí ve směru kolmém k povrchovým přímkám a přenášejí se do žeber a žebry do rohů zaklenutých prostor; křížovou klenbu lze podporovat v rozích pilíři nebo sloupy, mezi nimi jsou vyklenuty ztužující klenební pasy.

Klasická křížová klenba se používala nad čtvercovým nebo obdélníkovým půdorysem. V případě *křížové klenby obyčejné* jsou žebra vytvořena vazbou cihel sousedních prs klenby (*a*). V případě *klenby žebrové* vystupují žebra přes líc klenby (*b*). Žebra mohou být buď cihelná, kamenná, u novějších kleneb betonová. Kamenná žebra se ve vrcholu spojují kamenným svorníkem. Do žeber jsou klenuta prsa klenby z částí valených kleneb.



Orientační tloušťky cihelných křížových kleneb:

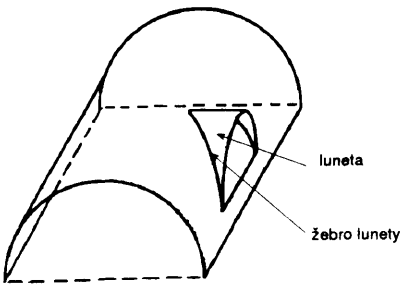
rozpětí a zatížení	*tl. žebra*	*ve vrcholu*	*v patce*
běžné do 6 m	300 mm	150 mm	150 mm
běžné do 9 m	300-450	150 mm	300 mm
silně zatížené	300-600	300 mm	300 mm
nezatížené do 9 m	150 mm	150 mm	150 mm
nezatížené přes 9 m	300 mm	150 mm	150 mm

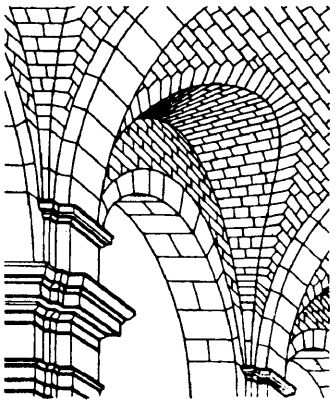


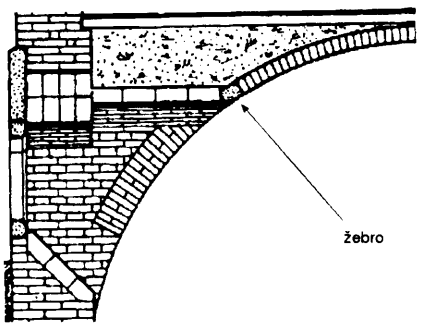
Hvězdicová klenba je křížová klenba, která vzniká průnikem různých typů kleneb valených, rovných nebo stoupajících. Při průnicích jednotlivých kleneb vznikají vedle ostrých žeber i žebra tupá. Hvězdicové klenby se používaly především v období vrcholné a pozdní gotiky.

■■ Lunetové klenby

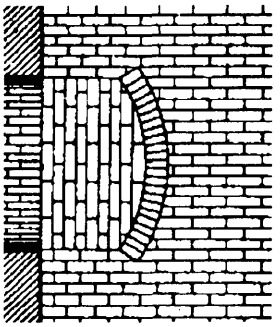
Lunetová klenba vzniká průnikem valených kleneb s nestejnou výškou. Vyšší (základní) klenba je ve formě klenby valené, klášterní, neckovité nebo zrcadlové a je doplněna o valené klenby nižší - *lunety*. Lunety se používaly především pro vytvoření okenních nebo dveřních otvorů u kleneb, kdy vrchol lunety byl položen výše než rovina patky klenby vyšší. Pomocí lunet je možné uzavřenou klenbu (tj. klenbu vyžadující podpory kolem celého obvodu) změnit na klenbu otevřenou podepřenou pilíři nebo sloupy. Lunetové klenby se používaly i na konstrukce lunetových říms.







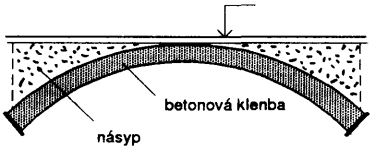
lunetová klenba nad oknem


půdorys lunetové klenby

■ Klenby novodobé

■■ Klenby z prostého betonu

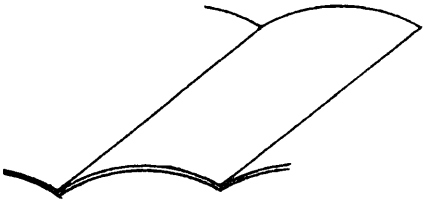
V počátcích rozvoje betonových konstrukcí se používaly betonové klenby vycházející z obdobných konstrukčních principů jako klenby zděné. Při návrhu klenby z prostého betonu se předpokládá přenášení zatížení pouze klenbovým tlakem. Tloušťka *klenby z prostého betonu* se pohybuje v rozmezí 70 - 160 mm.



klenba z prostého betonu

■■ Klenby železobetonové, skořepiny

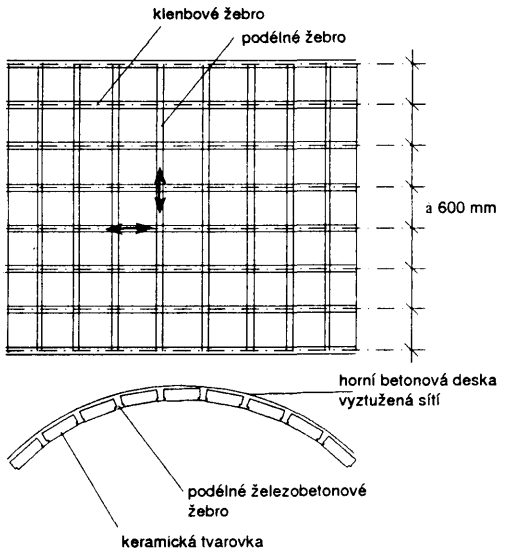
S rozvojem železobetonu docházelo k vylehčování kleneb a kromě tlakového působení se uvažovalo i přenášení tahů a ohybových momentů železobetonovým deskovým průřezem. Tím byla z konstrukce kleneb odvozena ***konstrukce železobetonových skořepin***, pro jejichž konstrukčně statické chování je charakteristické prostorové působení. Skořepiny se používají především pro zastřešení velkých rozponů. Vzhledem k nerovnému podhledu i vrchnímu líci a tím velké celkové konstrukční tloušťce, se pro stropní konstrukce uplatní pouze ve zcela výjimečných případech.



železobetonová válcová skořepina

velkorozponové zastřešení železobetonovou skořepinou vyztuženou žebry - P. L. Nervi: Palác sportu Řím 1958-60

Nová klenba může být vytvořena i z ***žebrové nebo kazetové železobetonové konstrukce vylehčené keramickými tvarovkami***. Keramické tvarovky se vyskládají na bednění klenby tak, že tvoří tzv. *ztracené bednění* žeber a desky železobetonové klenbové konstrukce. Do žeber se vloží výztuž, horní betonová deska tloušťky min. 50 mm se vyztuží ocelovou sítí. Mírně polyedrální keramický podhled klenby se dotvaruje omítkou do požadovaného tvaru klenby. Vzhledem k vyztužení žeber je klenba schopná přenášet i větší ohybové momenty a zároveň nevyžaduje těžké zásypy a klenbové nadezdívky pro zajištění stability. Vyplnění prostoru nad klenbou lze provést např. z lehkého betonu nebo zásypem lehkým materiálem (např. keramzit, perlit aj.). Při použití *konstrukce kazetové tj. s žebry v obou směrech* je klenba schopná roznášet zatížení i do podpor v místě čelních oblouků a je výhodnější pro přenášení lokálních zatížení. Podélné žebro může být provedeno monoliticky do keramických tvarovek nebo lze použít prefabrikovaných nosníků typu "filigran, FERT" (viz kazetové stropy vložkové kap. F5). Uvedeného konstrukčního řešení lze použít při rekonstrukcích a modernizacích objektů pro konstrukci nových kleneb jako náhrad za původní staticky nevyhovující klenby.



kazetová železobetonová klenba vylehčená keramickými tvarovkami

DŘEVĚNÉ STROPY

F4

Timber Floor Structures
Holzdecken

Dřevěné stropy patří mezi tradiční konstrukce, používané stejně jako klenby již od počátků stavitelství. Až do 30-tých let 20. století byly klasické dřevěné trámové stropy převažujícím typem stropů pro bytové i občanské stavby; nyní se s nimi setkáváme především při rekonstrukcích budov. Novější typy dřevěných stropů, které mají menší spotřebu dřeva a hlavně nevyžadují trámy velkých průřezů, se v současnosti používají především u menších novostaveb (rodinné domy, rekreační objekty apod.).

Výhodou dřevěných stropů je malá plošná hmotnost (2.0-4.0 kN/m^2), možnost zajištění dobré tepelné izolace, nenáročná technologie výstavby (snadná doprava stavebních dílců, snadná montáž aj.) apod.

Nevýhodou dřevěných stropů je především malá protipožární bezpečnost (omezující použití pro vyšší objekty než 22,5 m) a náchylnost k napadení dřevokaznými škůdci (*dřevokazný hmyz*, *dřevokazné houby*, *plísně* aj.). Většina dřevokazných škůdců se aktivuje ve vlhkém prostředí. Z uvedeného důvodu se nedoporučuje používat dřevěné stropy ve vlhkých prostorách (nad sklepy, v místě koupelen apod.).

Dřevěné stropy jsou netuhé v horizontální rovině a poddajné z hlediska svislého zatížení (vykazují značné průhyby). Dřevěné stropy o malé plošné hmotnosti mají špatné akustické vlastnosti - nevyhovují z hlediska vzduchové neprůzvučnosti.

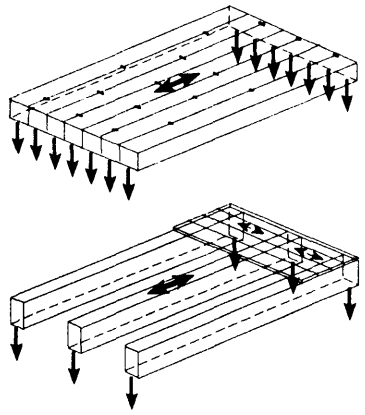
Celkově je fyzická životnost dřevěných stropů podstatně menší (vzhledem k dřevokazným škůdcům), i když je zachována řada historických konstrukcí s původními dřevěnými stropy.

Konstrukce dřevěných stropů

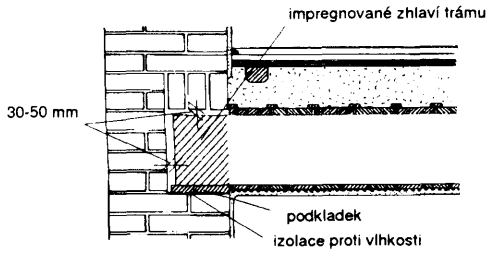
Konstrukčně lze dřevěné stropy rozdělit na:

- ***deskové konstrukce:*** nosná konstrukce je tvořena dřevěnými trámy uloženými vedle sebe na sraz a vzájemně spojenými pro zajištění spolupůsobení (povalové stropy); konstrukce zatěžuje podpírající stěny spojitě po celé délce uložení,

- ***nosníkové konstrukce:*** hlavními nosnými prvky jsou dřevěné nosníky (trám, lepený nosník, příhradový nosník), na které je uložena podpůrná konstrukce podlahy a podhled; nosníky zatěžují stěny lokálně v místech uložení zhlaví.

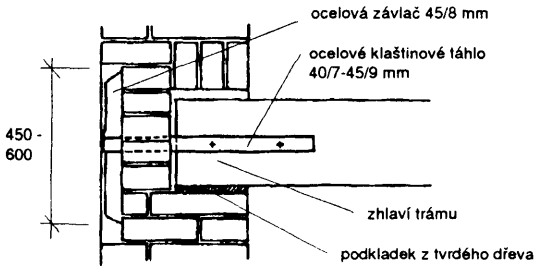


Zhlaví trámů se z důvodů zabránění *vzlínání vlhkosti ze zdiva do dřeva*, ukládají na podkladky (např. z tvrdého impregnovaného dřeva tl. 25-50 mm) podložené kusem hydroizolačního pásu a mezi zdivem a zhlavím trámu se ponechá se vzduchová mezera šířky 30-50 mm.



Styk trámu se zdí je ze statického hlediska kloubový s umožněným vodorovným posuvem. Vlastní konstrukce dřevěného stropu je *netuhá ve vodorovné rovině* pro zajištění distribuce horizontálních sil od větru. Proto u tradičních vícepodlažních zděných domů s dřevěnými stropy má zásadní význam pro zajištění prostorové tuhosti *existence zděných příček* orientovaných v příčném směru, které zajišťují distribuci vodorovných sil z návětrné obvodové konstrukce do ostatních svislých konstrukcí.

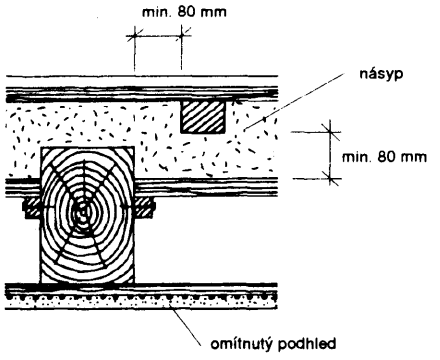
Pro *zvýšení stability nosných zdí* se některé dřevěné stropnice (zpravidla po 3-4 m) kotví ke zdi ocelovými kotvami připevněnými na zhlaví trámu a zakotvenými do zdi. V dřívějších dobách se pro tuto funkci používaly tzv. *trámové kleště* zakotvené prostřednictvím *závlače* do vnějšího líce obvodové zdi. Trámové kleště byly zpravidla z plochého železa a zasahovaly až 500 mm na stropnici, na kterou byly připevněny hřeby nebo vruty. Trámové kleště se osazovaly obvykle u krajních stropnic, v místech meziokenních pilířů a ve vzdálenostech max. 3 - 4 m.



zakotvení trámu pomocí trámových kleští

U starších objektů se často setkáváme s nejvíce porušenými zhlavími trámů právě v místech, kde jsou osazeny trámové kleště. Důvodem je skutečnost, že ocelové trámové kleště zakotvené u vnějšího líce obvodové zdi se v zimním období ochlazují a v místech, kde jsou připevněny k trámu kondenzuje na chladném povrchu oceli vodní pára (ocelové kleště tvoří *tepelný most*) a dochází tak ke korozi oceli. Zkondenzovaná vodní pára zároveň způsobuje zvýšení vlhkosti ve zhlaví trámu a tím aktivuje nebo urychluje hnilobu, výskyt dřevokazných hub nebo dřevokazného hmyzu.

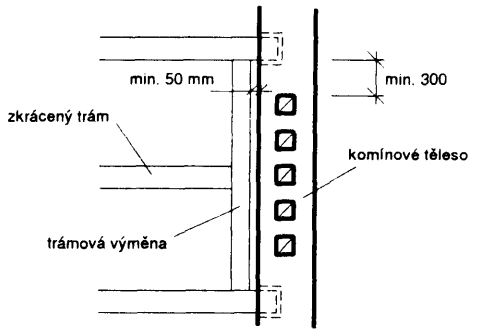
V případě vícepodlažních objektů (do výšky 22.5 m) je třeba zajistit dostatečnou *protipožární bezpečnost* ochranou dřevěné konstrukce nehořlavými vrstvami tzn. z hlediska kritéria *hořlavosti* použít konstrukci stropu *smíšenou*, dříve označovanou jako *polospalnou*. Toto kritérium bylo dříve zajišťováno provedením násypu na záklop (škvára, stavební rum, hrubozrnný písek) a omítaného podhledu. Minimální tloušťka násypu mezi dvěma dřevěnými konstrukcemi byla 80 mm. Další zvětšování tloušťky násypu se na zvýšení *požární odolnosti* dřevěných stropů z hlediska normy neprojeví.



U jednoduchých staveb se někdy místo násypu používala hliněná mazanina v tloušťce cca 80 mm.V současné době lze použít desek ze sádrokartonu, které při podstatně menší tloušťce (15 - 25 mm) zajistí požadovanou protipožární ochranu. Použití mokrého procesu (vrstvy z lehkého nebo hutného betonu) je třeba vždy posoudit z hlediska nebezpečí aktivace dřevokazných škůdců v důsledku zvýšení vlhkosti.

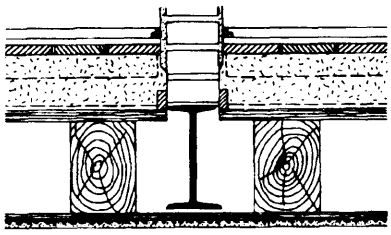
Spodní líc dřevěných stropů se z důvodů protipožárních opatřoval omítkou prováděnou na jednoduchou nebo dvojitou, křížem kladenou rákosovou rohož (tzv. *rákosová omítka*). Rohož se připevňovala buď přímo na konstrukci stropu (u stropu povalového) nebo na prkenné podbití trámového stropu. V pozdějších dobách a v současnosti jsou rákosové rohože nahrazovány keramidovým nebo drátěným (rabicovým) pletivem napnutým na podbití z prken nebo později z dřevocementových desek. U současných dřevěných konstrukcí a rekonstrukcí se podhled často navrhuje ze sádrokartonových desek, které splňují kriterium pro smíšenou konstrukci z hlediska hořlavosti a zároveň umožňují jednoduchou realizaci definitivního povrchu vysoké kvality bez použití mokrého procesu.

Dřevěné trámy se nesmí z důvodů požární bezpečnosti ukládat do zdiva komínů. V těchto místech se provede trámová *výměna* (dřevěná nebo ocelová), přenášející zatížení do trámů sousedních nebo se trám uloží na ocelovou konzolu. Vzdálenost dřevěné konstrukce od omítnutého vnějšího líce komínového zdiva je min. 50 mm. Zároveň musí být dodržena podmínka, že zhlaví uložené do zdi musí být vzdáleno minimálně 300 mm od vnitřního líce komínového průduchu.



trámová výměna v místě komínového tělesa

Lehké příčky z dutinových příčkovek do tl. 100 mm lze vyzdívat přímo na podkladní prkno uložené na záklop. Těžké cihelné příčky (tl. 150 mm) je třeba vyzdívat na ocelový profil I, železobetonový nosník nebo samostatný dřevěný trám. Někdy se zdily příčky i přes více podlaží bez přerušení v místě stropu. V současnosti se při rekonstrukcích často používají lehké příčky sádrokartonové, které lze osadit přímo na podlahovou konstrukci.


detail uložení zděné příčky na ocelový nosník

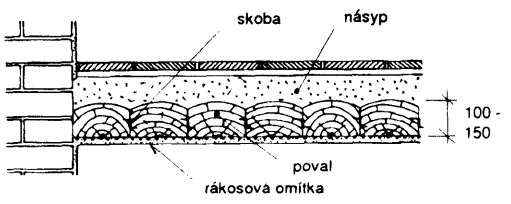
Rozdělení dřevěných stropů:

- ***povalové stropy***
- ***trámové stropy*** - strop trámový s viditelnými trámy (hořlavá - spalná konstrukce)
  - lepenicový strop
  - jednoduchý trámový strop
  - kazetový strop
  - novodobé konstrukce
- strop trámový s rovným podhledem a násypem (smíšená - polospalná kce)
  - trámový strop s omítnutým podhledem
  - trámový strop s rákosníky
  - novodobé konstrukce
- ***fošnové stropy***
- ***stropy z lepených, sbíjených a příhradových nosníků***

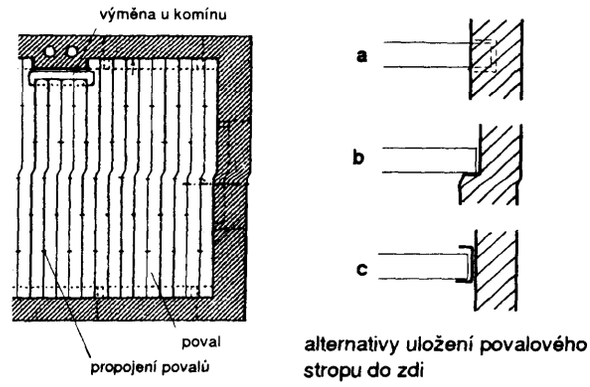
Trámové stropy se mohou dále lišit polohou záklopu:
- trámové stropy se záklopem
- trámové stropy se zapuštěným záklopem

■ Povalové stropy

Nosnou část stropu tvoří dřevěné trámy - *povaly* kladené těsně vedle sebe na sraz. Vzniká tak *desková konstrukce*, která tvoří současně rovný podhled. Povaly jsou zpravidla ze tří stran hraněné trámy, u některých nenáročných objektů jsou povaly z kulatiny. Na horní líc povalů může být provedena vrstva hliněné mazaniny nebo násyp s podlahou na polštářích. Spodní líc povalů je bez omítky nebo opatřen rákosovou omítkou. Povalové stropy mají velkou spotřebu dřeva a proto se používaly dříve tam, kde byl dostatek levného dřeva.



Vzájemné spolupůsobení povalů je zajištěno střídavým propojením ve styčných spárách dřevěnými klínky, hmoždinkami nebo železnými skobami ve vzdálenostech 1,0-1,5 m. Uložení povalů do drážky (a) nebo na uskočení zdi (b) je v závislosti na rozponu 80-150 mm; uložení je souvislé a zeslabuje tak značně nosné zdivo. V místech, kde nelze nosné zdivo zeslabit se povaly ukládají na ocelové profily "U" (c) nebo na cihelné krakorce. Povalové stropy se používaly do rozponu 4,5 m, výjimečně až do 6 m. Při větších rozponech se podepíraly uprostřed trámem (podvlakem) nebo se ukládaly na spodní příruby ocelových nosníků "I".



alternativy uložení povalového stropu do zdi

Orientační dimenze povalového stropu:

Maximální doporučený rozpon l:

běžně: ***4,5 m***

vyjímečně: ***až 6 m***

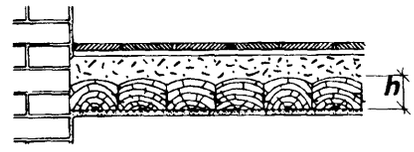
Empirický vztah pro návrh výšky povalu:

$$h = 0{,}02.l + 60 \text{ až } 0{,}02.l + 80$$

Doporučená délka uložení trámů: ***80-150 mm***

l [mm] ..... teoretické rozpětí místnosti.

Pozn.: Skutečné dimenze je třeba posoudit podle příslušné normy

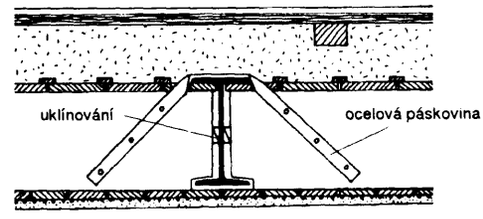


■ Dřevěné trámové stropy

Charakteristika a konstrukce dřevěných trámových stropů:

- nosná konstrukce je tvořena dřevěnými trámy (stropnicemi), volně uloženými do kapes zdiva, eventuálně na jinou svislou konstrukci (dřevěný nebo ocelový průvlak aj.),
- vzdálenost dřevěných trámů se obvykle pohybuje v rozmezí 0.8-1.2 m, u novějších konstrukcí jsou vzhledem k používání menších profilů často vzdálenosti menší,
- líc trámů musí být minimálně 50 mm od líce omítnutého komínového zdiva,
- za účelem zvýšení stability objektu se trámy zakotvují do obvodových zdí (každý 3-4 trám) kotvami přenášejícími tahová namáhání - např. trámové kleště,
- záklop je uložen buď na dřevěné trámy nebo mezi trámy (zapuštěný záklop); dřevěný záklop je při osové vzdálenosti trámů 0.9-1.05 m z prken tl. 26 mm, při vzdálenosti větší tl. 33 mm; zapuštěný záklop (z fošen, prken, keramických prvků aj.) se ukládá na latě připevněné k bokům trámů,
- na záklop se z akustických a protipožárních důvodů provede násyp, eventuálně jiná těžká nespalná vrstva (např. vrstva betonu → pozor při rekonstrukcích na nebezpečí aktivace dřevokazných hub!),
- konstrukce podhledu se připevňuje buď přímo na trámy nebo na tzv. *rákosníky* tj. samostatné dřevěné trámy nesoucí podhled nezávisle na nosné konstrukci stropu.

Pro větší rozpony a větší zatížení se používaly ***dřevěné trámové stropy do ocelových válcovaných profilů***. Hlavním nosným prvkem jsou ocelové válcované nosníky průřezu I osazené ve vzdálenostech 2.5 -5.0 m. Zpravidla na dolní příruby se osazují dřevěné trámy běžného trámového stropu. Protože uložení trámů na příruby je malé, spojují se zhlaví trámů mezi sebou železnou páskovinou nebo ocelovými skobami.



osazení dřevěných stropních trámů na ocelový válcovaný nosník

Orientační dimenze dřevěných trámových stropů:

Maximální doporučený rozpon l:

běžně: ***5 - 6,5 m***

vyjímečně: ***až 9 m***

Empirické vztahy pro návrh výšky trámu pro osovu vzdálenost:

0,65-0,75 m ***h = 0,02.l + 130***

0,9-1,0m ***h = 0,02.l + 160 až 0,02.l + 200***

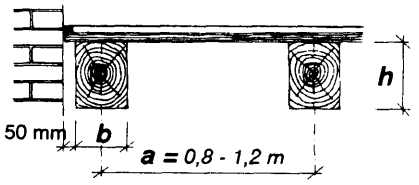
0,85 m; velké zatížení ***h = 0,03.l + 110***

Doporučená šířka trámu: ***b = 2/3 .h až 3/4 .h***

Doporučená délka uložení trámů: ***0,02.l + 100***

kde *l* [m] ..... teoretické rozpětí místnosti

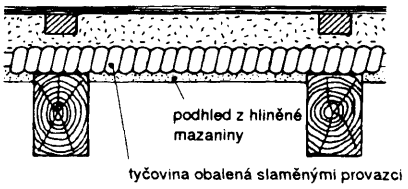
Pozn.: Skutečné dimenze je třeba posoudit podle příslušné normy



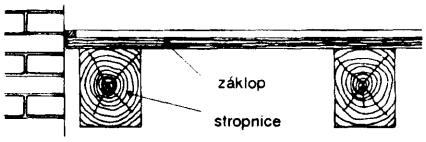
■■ Dřevěné trámové stropy s viditelnými trámy (hořlavá konstrukce)

Dřevěné trámové stropy s viditelnými trámy jsou z hlediska protipožární bezpečnosti konstrukce *hořlavé* (dříve označované jako *spalné*). V současné době je lze používat pouze u objektů do max. výšky 9 m. Setkáváme se s nimi především u starších lidových staveb a v interiérech historických objektů (hrady, zámky aj.). Často se podhled stropu zdobil malbami nebo řezbou a tvořil tak součást interiérové výzdoby. V současné době se používají v případech, kdy architekt chce využít jejich vzhledu v rámci interiéru.

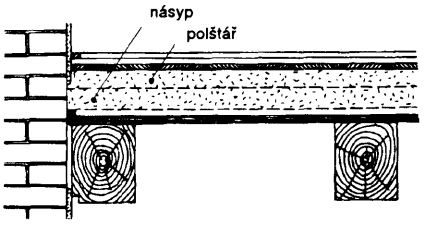
Lepenicový strop. Jde o historický typ dřevěného stropu používaný u jednoduchých lidových staveb. Na trámy nebo kulatinu se uloží záklop z tenké tyčoviny (někdy obalené slaměnými provazci) kladené vedle sebe na sraz. Na záklop se provede hliněná mazanina tl. 40-50 mm. Stejně tak podhled je z hliněné mazaniny. Strop mohl být opatřen násypem s dřevěnou podlahou na polštářích.



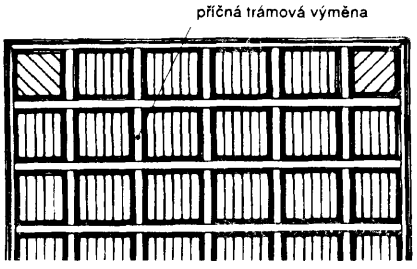
Jednoduchý trámový strop. Na trámy je přibit záklop z prken nebo fošen na sraz nebo polodrážku. Záklop tvoří zároveň podlahu i podhled. Strop se používal ve skladištích, sýpkách aj. V současnosti lze použít pouze v rámci jednoho prostoru, kde nejsou žádné požadavky z hlediska akustiky, tepelné techniky a protipožární ochrany.



Z důvodů zvýšení protipožárních a akustických vlastností se pro nižší obytné budovy používal ***jednoduchý trámový strop s násypem*** a dřevěnou podlahou na polštářích.

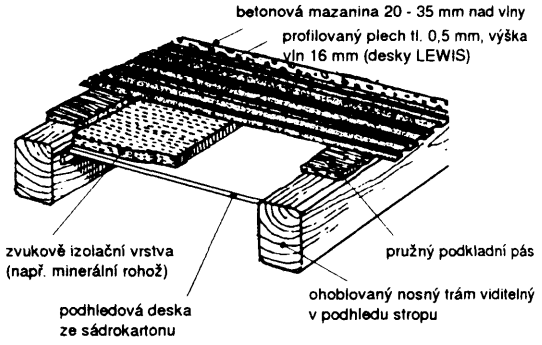


Kazetový strop. Trámové stropy s viditelnými trámy se používaly v historických objektech, kde trámy byly často profilovány nebo obkládány a tvořily tak součást výzdoby interiéru. Alternativou jednoduchého trámového stropu je *kazetový strop*, u kterého jsou stropnice v podhledu doplněny o příčné výměny, které vytvářejí nejčastěji čtvercové *kazety*. Výměny nemají nosnou funkci a často jsou zhotoveny pouze z tenkých prken.

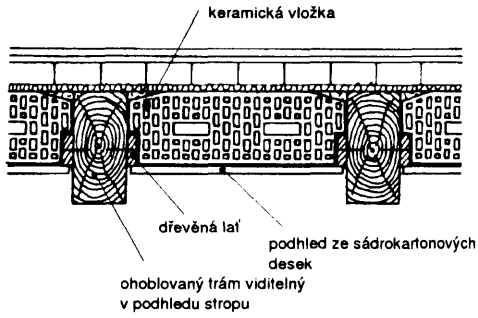


Novodobé konstrukce dřevěných trámových stropů s viditelnými trámy. Viditelné trámy v podhledu stropní konstrukce mohou být z estetických důvodů vyžadovány architekty i v současné době. Konstrukčně lze tento požadavek řešit buď nepravými trámy v podhledu stropní konstrukce jiného typu nebo i novodobými konstrukcemi trámových stropů, zohledňujícími současné technologické, konstrukční, stavebněfyzikální a další požadavky. Novodobé konstrukce stropů, kde dřevěné trámy mají nosnou funkci a zároveň jsou ponechány viditelné v podhledu, lze však používat pouze u nízkých staveb, kde není na závadu malá protipožární odolnost (rodinné domy, jednopodlažní stavby aj.) nebo je třeba opatřit trámy protipožárním obkladem.

Nosná konstrukce může být obdobná klasickému řešení tj. na dřevěné trámy se přitluče *záklop z prken nebo fošen*, nebo se na trámy připevní *profilované ocelové plechy* plnící funkci záklopu. Vzdálenost trámů závisí na jejich únosnosti a na únosnosti záklopu. Na záklop se provede zatěžovací vrstva pro zvýšení vzduchové neprůzvučnosti a konstrukce *plovoucí podlahy* pro zajištění kročejové neprůzvučnosti. Při návrhu skladby se doporučuje omezit použití mokrých procesů (betonové vrstvy aj.) vzhledem k nebezpečí aktivace dřevokazných škůdců. Ze stejných důvodů je vhodnější použití vrstev s menším difuzním odporem.



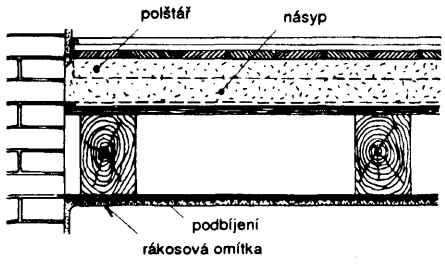
Konstrukci záklopu lze alternativně nahradit keramickými tvarovkami osazenými na lišty připevněné k bokům trámů. Osová vzdálenost trámů je v tomto případě vzhledem k velikostem tvarovek zpravidla menší (0,5-0,75 m). Spodní líc keramických tvarovek se omítne nebo se připevní podhledová deska ze sádrokartonu. Na konstrukci se provede plovoucí podlaha. Výhodou tohoto řešení je snížení staveništní pracnosti vzhledem k vyloučení násypu, jehož akustická funkce je nahrazena hmotnějšími keramickými tvarovkami.



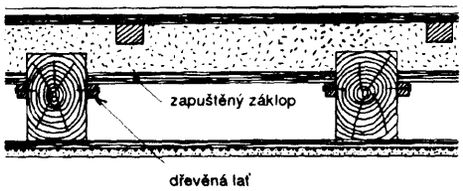
■■ Dřevěné trámové stropy s rovným podhledem smíšené (polospalné) konstrukce

Z důvodů protipožárních se dřevěné stropy opatřovaly (někdy i dodatečně) omítaným podhledem a násypem, které do určité míry zajišťovaly protipožární ochranu. Při splnění určitých kritérií lze uvedené stropy zařadit z hlediska protipožárního do skupiny konstrukcí *smíšených* (dříve označovaných jako *polospalných*).

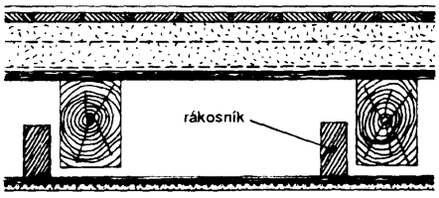
Trámový strop s omítnutým podhledem a násypem je tradiční konstrukce stropu, často používaná při výstavbě bytových domů v 19. a začátkem 20. století. Na dřevěné trámy je přibit záklop z prken nebo fošen. Na záklopu je násyp, do kterého se kolmo na směr trámů ve vzdálenosti 0.6-0.8 m kladly *polštáře* (trámky průřezu 50x100 až 80x120 mm). Na ploštáře se přibíjela dřevěná podlaha. Spodní líc trámů se opatřil podbíjením z prken tl. 13 mm a rákosovými rohožemi nebo keramidovým pletivem s omítkou.

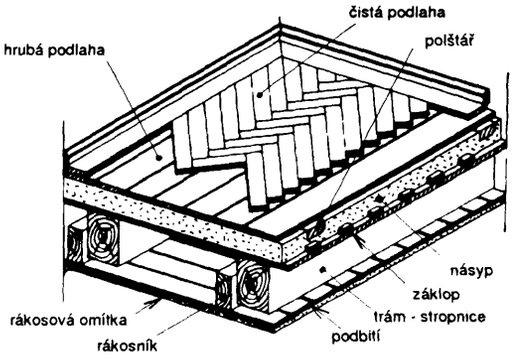


Nevýhodou dřevěných stropů je jejich velká konstrukční tloušťka. Alternativou předchozího typu stropu je ***trámový strop se zapuštěným záklopem***, u kterého bylo možné snížit tloušťku stropu o výšku polštáře tj. o 80-100 mm. Záklop byl zapuštěn mezi stropní trámy a byl osazen na latích (30x50 mm). Aby bylo možné snížit celkovou tloušťku stropu a zároveň dodržet podmínku minimální tloušťky násypu mezi dřevěnými konstrukcemi, kladly se polštáře rovnoběžně s trámy ve vzdálenosti minimálně 80 mm od trámu.

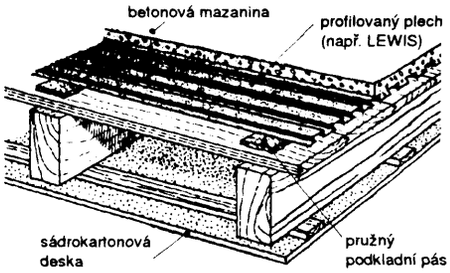


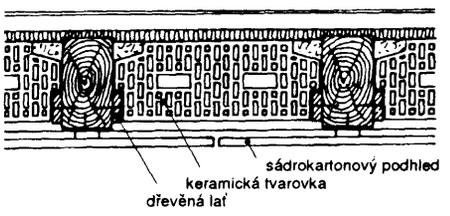
Trámový strop s rákosníky. Dřevěné stropní konstrukce jsou značně deformabilní a vykazují značné změny průhybů při měnícím se zatížení stropu. Pro případy, kdy by mohlo docházet k nežádoucímu porušení celistvosti podhledu (např. u podhledů zdobených štukovou dekorací) se prováděly *trámové stropy s rákosníky*. Nosná konstrukce podhledu byla provedena na samostatných trámech - tzv. *rákosnících* a byla oddělena mezerou od vlastní nosné konstrukce podlahy. Mezera mezi podhledem a trámem musí být větší než předpokládaný průhyb stropu (zpravidla min. 50 mm) tak, aby se průhyb od stropnic nepřenášel do podhledu. Oddělením podhledu od vlastní nosné konstrukce se zlepší také akustické vlastnosti stropu. Nevýhodou tohoto stropu je jeho větší tloušťka, větší spotřeba dřeva a dvojité kapsy v uložení, oslabující únosnost nosných stěn.





Novodobé konstrukce dřevěného trámového stropu s rovným podhledem. Pro návrh *novodobé konstrukce s rovným podhledem* platí stejné zásady jako pro návrh nových stropů s viditelnými trámy. Konstrukce je doplněna o podhled, který kromě architektonické a estetické funkce plní funkci protipožární a akustickou. Dřevěné stropy s protipožárním podhledem tak lze používat i pro vícepodlažní objekty (do výšky 22,5 m). Podhled může být proveden z dřevocementových desek (heraklit aj.) opatřených rabicovým pletivem a omítkou nebo ze sádrokartonových desek připevněných na dřevěný nebo kovový rošt (viz F5). Výhodou sádrokartonového podhledu je, že lze provést velmi snadno konečnou povrchovou úpravu vysoké kvality bez mokrého procesu.





Obdobné zásady a řešení konstrukce záklopu a podhledu platí i pro kompletní rekonstrukce a modernizace stávajících trámových stropů, kde se podlahové vrstvy, násyp, případně i záklop odstraní a po sanaci narušených trámů se provede nová skladba. V těchto případech je ještě důležitější požadavek vyloučení mokrých technologií, protože staré dřevo zpravidla obsahuje zárodky dřevokazných hub a zvýšení vlhkosti dřeva je může aktivovat. Použití mokrého procesu je v těchto případech důsledně podmíněno podrobným mikrobiologickým průzkumem s příslušnými doporučeními pro sanaci, ochranu konstrukce a technologický postup rekonstrukce.

■ Fošnové stropy

Ve srovnání s trámovými stropy má fošnový strop o 30-40 % menší spotřebu dřeva. Stropnice tvoří *fošny* v osových vzdálenostech 400-600 mm, na které se přitluče záklop z prken a vlastní podlaha. Fošny je třeba pro zajištění stability rozepřít ve vzdálenostech 1,2-1,5 m šikmými rozpěrami z latí nebo prken. Podhled může být omítaný s podbitím z prken nebo z dřevocementových desek (heraklit aj.) nebo ze sádrokartonových desek. Fošnový strop má vzhledem k malé plošné hmotnosti špatné akustické vlastnosti. Jejich zlepšení lze dosáhnout zatěžovací vrstvou a plovoucí podlahou stejně jako u stropů trámových. Fošnový strop se používá pro výstavbu nízkých staveb tj. tam, kde není na závadu jeho menší požární odolnost a malá tuhost v horizontální rovině (převážně pro jedno a dvoupodlažní rodinné domky, rekreační domky aj.).

Orientační dimenze fošnových stropů:

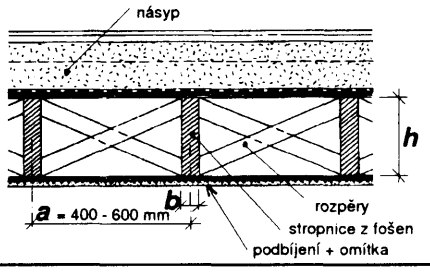
Maximální doporučený rozpon l:

běžně:	***5 m***
vyjímečně:	***až 6 m***

Běžné rozměry stropnice:

výška průřezu:	***h = 200-280 mm***
šířka průřezu:	***b = 50-60 mm***
Doporučená délka uložení:	***150-200 mm***

Pozn.: Skutečné dimenze je třeba posoudit podle příslušné normy



■ Stropy z lepených, sbíjených a příhradových nosníků

Z důvodů snížení spotřeby řeziva velkých profilů a snížení celkové spotřeby materiálu se v současnosti používají různé typy dřevěných stropů s lepenými, sbíjenými nebo příhradovými nosníky. Nevýhodou těchto stropů je zpravidla velká konstrukční výška a v případě lepených lamelových nosníků i relativně vysoká cena. Výhodou je

- *využití dřeva menších rozměrů* (průřezů i délek) vzhledem ke způsobu jeho zpracování: možnost vytváření lepených nosníků z tenkých nastavovaných lamel, použití kratších a tenčích prken u příhradových a sbíjených nosníků aj.
- *využití levnějšího materiálu* v méně namáhaných částech: použití prvků z aglomerovaného dřeva, použití řeziva nižší jakostní třídy aj.
- *efektivní využití materiálu z hlediska statického:* Průřez nosníku je navržen tak, aby hmota byla soustředěna v místech největšího namáhání (průřez tvaru I aj.). Nosníky tak lze navrhnout i pro velká rozpětí.

Skladba konstrukce stropu se liší pouze použitými nosníky, podlahové a podhledové konstrukce jsou v běžných případech konstrukčně analogické s ostatními typy dřevěných stropů. Vzhledem k možnosti navržení velmi únosných nosníků lze osazovat nosníky i do větších vzdáleností (1,5-2,5 m). V tomto případě je možné záklop provést z tvarovaných plechů a podhled zavěsit na dřevěný nebo kovový rošt.

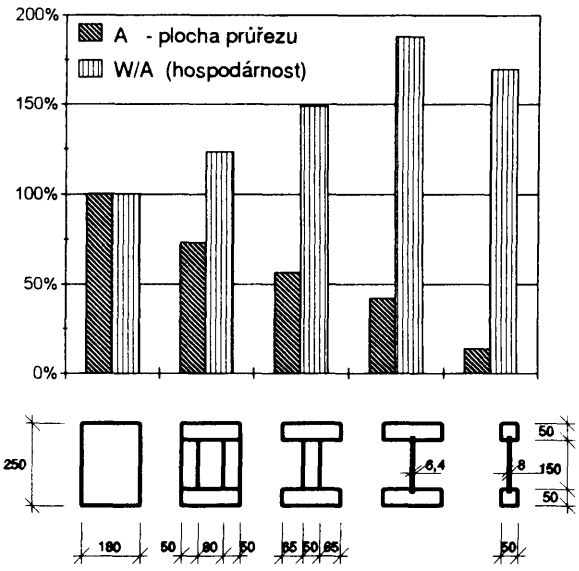
Orientační dimenze:

Maximální doporučený rozpon l:

běžně:	***6 - 8 m***
vyjímečně:	***12 m i více***

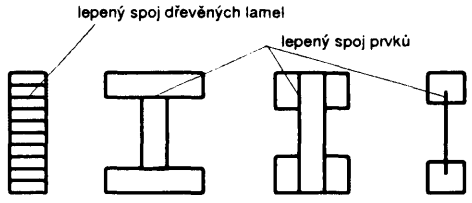
Dimenze průřezu jsou závislé na tvaru průřezu a způsobu spojení jednotlivých částí. Dimenze se navrhnou a posoudí podle příslušné normy.

Z grafu je zřejmá *efektivnost využití dřeva* z hlediska únosnosti nosníku (poměr průřezového modulu k ploše průřezu *W/A*) pro různé typy průřezů o shodné výšce 250 mm. Čím větší je poměr (*W/A*) tím je nosník z hlediska spotřeby materiálu hospodárnější. V případě štíhlých nosníků je však třeba oproti uvedenému grafu uvažovat mírně větší spotřebu materiálu vzhledem k nutnosti zajištění nosníků proti klopení.

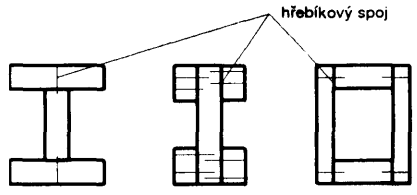


Pokud bychom naopak porovnávali výšku nosníků uvedených typů, jejichž únosnost je shodná, měly by "hospodárnější" nosníky (tj. s větším poměrem *W/A)* větší výšku, což má za následek zvětšení konstrukční výšky stropu a tím i konstrukční výšky podlaží. Tuto skutečnost je třeba při obdobných optimalizačních úvahách brát vždy v úvahu.

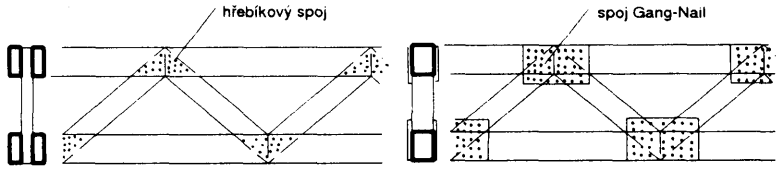
Lepené nosníky se vyrábějí *lamelové* (z lamel vodorovně nebo svisle uložených), *slepené z prken nebo fošen* (průřezu tvaru I) nebo *kombinované nosníky* se stojinou z aglomerovaného dřeva vlepenou do pásnic z kvalitního řeziva nebo lepených pásnic.



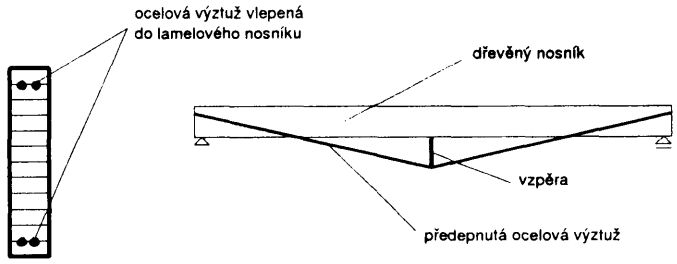
Sbíjené nosníky jsou složeny z prken, fošen nebo hranolů. Průřez je zpravidla tvaru I nebo komůrkového uzavřeného průřezu. Jednoduché sbíjené nosníky se vzhledem k menší únosnosti sbíjených spojů používají do rozponu 6 m.



Příhradové nosníky se vzhledem k velké konstrukční výšce využívají především pro konstrukce zastřešení větších rozponů. Pro stropní konstrukce se používají pouze výjimečně.



Vyztužené a předepnuté dřevěné nosníky. Dřevěné nosníky lze vyztužovat ocelovou výztuží ve spodní části, umožňující *předepnutí nosníku* (nevýhodou je značná konstrukční tloušťka stropu) nebo výztuží zabudovanou přímo v průřezu lamelového lepeného nosníku, zvyšující únosnost v nejvíce namáhaných oblastech průřezu. Vyztužené a předepnuté dřevěné nosníky tak lze používat i na velké rozpony (více než 10 m) a velká zatížení.



ŽELEZOBETONOVÉ STROPY

F5

Reinforced Concrete Floor Structures
Stahlbetondecken

Nejčastěji používaným typem stropů jsou v současné době *stropy ze železobetonu.* Z původní monolitické železobetonové trámové konstrukce se ve snaze o zjednodušení a zefektivnění postupně vyvinuly deskové typy stropů: stropy prefabrikované, předepnuté a stropy spřažené prefa-monolitické.

Monolitické železobetonové stropy byly v první polovině 20. století značně rozšířeným typem stropu ve všech druzích výstavby. Nevýhodou byla velká pracnost na stavbě, značná spotřeba dřeva na bednění, pracné vyztužování, sezonnost - omezení betonáže v zimním období a tím i delší doba výstavby. Proto byla v období po 2. světové válce v našich podmínkách monolitická technologie postupně nahrazována *prefabrikovanými* a poloprefabrikovanými technologiemi. Od druhé poloviny 80-tých let se i u nás znovu začala více používat monolitická technologie a v současnosti se u nás i v zahraničí můžeme setkat s používáním obou technologií. Poměr frekvence používání obou technologií je závislý na výhodnosti vzhledem ke specifickým podmínkám a v různých oblastech se liší (např. v severských státech - Skandinávie je větší tendence k používání prefabrikované technologie vzhledem k delšímu zimnímu období znesnadňujícímu betonáž na stavbě).

V posledních 10-ti letech se značně rozšířily *prefa-monolitické technologie*, které využívají výhody a eliminují některé nevýhody prefabrikovaných i monolitických konstrukcí. Části konstrukce se vyrobí ve výrobně a dopraví na stavbu ve formě lehčích prefabrikátů (omezení dopravních nákladů) a tyto prefabrikáty se pak dobetonují o monolitickou část přímo v konstrukci. Prefabrikát slouží jako bednění monolitické části, a tím je zmenšena staveništní pracnost a omezí se náklady za drahé systémové bednění.

Výhodou železobetonových stropů je jejich velká *únosnost, odolnost, tuhost v horizontální rovině*, možnost téměř *libovolného tvarování* konstrukce, *nehořlavost* a velká *protipožární odolnost.* V případě prefabrikovaných železobetonových stropů je výhodná *rychlost výstavby* a *předepínání* stropních dílců za účelem dosažení větších rozponů a větších únosností.

Nevýhodou monolitických železobetonových stropů je především *velká staveništní pracnost, omezení výstavby v zimním období, nutnost technologických přestávek.* U prefabrikovaných železobetonových stropů jsou zpravidla *velké dopravní náklady* (v závislosti na vzdálenosti výrobny od staveniště) a *potřeba těžké mechanizace* pro montáž. Velká objemová hmotnost železobetonu je na jedné straně nevýhodná vzhledem ke značnému zatížení svislých konstrukcí, základů i vlastní konstrukce stropu, na straně druhé je výhodná z hlediska akustických vlastností (vzduchové neprůzvučnosti). Reologické vlastnosti betonu (smršťování a dotvarování) mají podstatný vliv na celkové svislé deformace stropu (viz omezení kritériem mezního přetvoření - průhybu). Nevýhodou železobetonových stropů je i malý tepelný odpor, náročná demontáž, demolice a nákladná recyklace materiálu.

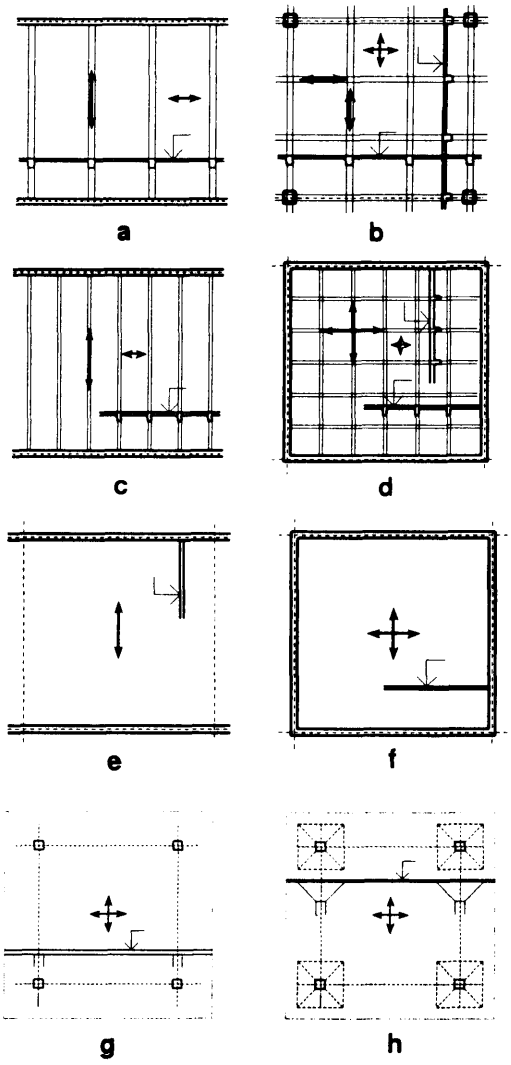
Celkově je fyzická životnost a trvanlivost železobetonových stropů velká, i když i železobeton podléhá degradaci povrchových vrstev v důsledku kabronatace a koroze výztuže. V případě stropů v chráněném vnitřním prostředí jsou však účinky okolního prostředí minimální (pokud nejde o strop v objektu s agresivním prostředím - např. chemická výroba, laboratoře apod.).

Konstrukce železobetonových stropů

Konstrukčně lze železobetonové stropy rozdělit na *trámové* a *deskové* konstrukce.

- ***trámové konstrukce:*** nosná konstrukce je tvořena železobetonovými trámy, mezi kterými je pnuta železobetonová deska; trámy mohou být orientovány v jednom směru nebo ve dvou event. více směrech (kazetové a roštové konstrukce); bednění trámů je pracné, proto se často používá tzv. *ztraceného bednění* z dřevěných bedniček nebo keramických (event. jiných) vložek; *jednosměrné trámové stropy* (*a*) a *žebrové stropy* (*c*) jsou podepřeny průvlaky nebo stěnami na dvou protilehlých stranách, *kazetové stropy* (*d*) vyžadují podepření průvlaky nebo stěnami po celém obvodě, *roštové konstrukce* (*b*) lze podepírat lokálně sloupy v místech křížení trámů,

- ***deskové konstrukce:*** nosnou konstrukci tvoří železobetonová deska pnutá v jednom směru nebo pnutá ve dvou (event. více) směrech → hlavní nosná výztuž je orientovaná ve směru pnutí desky; *jednosměrná deska* (*e*) je podepřena na dvou protilehlých stranách, *obousměrná deska* (*f*) je nepoddajně podepřena po celém obvodě (tuhými průvlaky nebo stěnami) nebo lokálně podepřena (sloupy, pilíři, krátkými stěnami) (*g*); sloupy podporují desku přímo (*g*) nebo mohou být opatřeny viditelnými hlavicemi (*h*); lokálně podepřené deskové stropy s viditelnými hlavicemi se z důvodu jejich tvaru často označují jako *hřibové konstrukce.*



Z technologického hlediska rozlišujeme tři hlavní skupiny železobetonových stropů:

- *monolitické železobetonové stropní konstrukce*: konstrukce je vybetonována do bednění přímo na místě svého budoucího působení (in situ) tj. v konstrukci na stavbě,

- *prefabrikované železobetonové stropní konstrukce:* stropní konstrukce se na stavbě skládá (montuje) z předem vyrobených dílců - prefabrikovaných železobetonových panelů, nosníků případně vložek; prvky se vzájemně stykují a dochází tak zpravidla k tzv. *zmonolitnění* konstrukce,

- *prefa-monolitické železobetonové stropní konstrukce:* stropní konstrukce je tvořena prefabrikovanými deskami nebo nosníky s vložkami, na které nebo mezi kterými se vybetonuje monolitická železobetonová deska → po zatvrdnutí dojde ke spřažení prefabrikované a monolitické části, které ve výsledné konstrukci staticky spolupůsobí.

Monolitické železobetonové stropní konstrukce jsou *tuhé ve vodorovné rovině* z hlediska zajištění distribuce vodorovných sil. Monolitické stropy jsou tak vhodné pro vysoké kombinované a výškové stavby, u kterých je podmínka horizontálně tuhé stropní konstrukce zcela zásadní z hlediska zajištění prostorové tuhosti. V případě prefabrikovaných stropů je třeba zajistit spolupůsobení jednotlivých

ŽEI '

ešením styků, vkládáním zálivkové výztuže do spár mezi prvky a zalitím spár
:fa-monolitické stropy jsou po svém zmonolitnění horizontálně tuhé a působí
itickými železobetonovými konstrukcemi.

konstrukcí ze železobetonu je třeba uvažovat *reologické vlastnosti betonu* hratace a historií zatížení konstrukce. V důsledku *smršťování* a *dotvarování* kce, která může ovlivnit rovinnost podhledu i podlahy. Účinky dotvarování *...kovaných stropů* zpravidla menší než u stropů monolitických, protože podstatná část hydratace betonu proběhne ve výrobně a na skládce v nezatíženém stavu a na staticky určité konstrukci (před zmonolitněním). Zatížení vlastní tíhou a další zatížení je tak přenášeno konstrukcí z vyzrálého betonu po jejím smontování a zmonolitnění. U *monolitických stropů* je pro výslednou hodnotu deformace od dotvarování rozhodující doba, kdy dojde k odbednění konstrukce a tím k jejímu zatížení vlastní tíhou. Čím později dojde k odbednění a k působení dalšího zatížení (podlahy, příčky aj.) tím menší budou deformace od dotvarování.

Rozdělení železobetonových stropů:

- ***monolitické železobetonové stropy***
  - monolitické železobetonové stropy deskové
    - monolitické desky pnuté v jednom směru
    - monolitické desky pnuté ve dvou nebo více směrech
      - desky po obvodě nepoddajně podepřené
      - desky lokálně podepřené
        - desky lokálně podepřené s rovným podhledem
        - desky s viditelnými hlavicemi - hřibové stropy
  - monolitické železobetonové stropy trámové a žebrové
    - monolitické železobetonové stropy s trámy v jednom směru
      - trámové stropy s viditelnými trámy v jednom směru
      - trámové a žebrové stropy s dodatečně provedeným podhledem
      - bedničkové stropy
      - žebrové stropy vložkové
    - monolitické železobetonové stropy s trámy ve dvou nebo více směrech
      - kazetové a roštové stropy s viditelnými trámy
      - kazetové stropy vložkové s rovným podhledem
  - skloželezobetonové stropy
    - deskové skloželezobetonové stropy
    - žebírkové skloželezobetonové stropy
    - skloželezobetonové klenby a báně
- ***prefabrikované železobetonové stropy***
  - prefabrikované stropy z železobetonových nosníků
    - prefabrikované stropy z železobetonových povalů
    - prefabrikované stropy z železobetonových nosníků a vložek
  - prefabrikované železobetonové stropy panelové
    - prefabrikované stropy z plných železobetonových panelů
    - prefabrikované stropy z železobetonových vylehčených panelů
    - prefabrikované stropy z panelů z předpjatého betonu
  - prefabrikované železobetonové stropy hřibové
- ***prefa-monolitické železobetonové stropy***
  - prefa-monolitické železobetonové stropy z nosníků a vložek
  - prefa-monolitické železobetonové stropy deskové
    - prefa-monolitické železobetonové stropy deskové spřažené
    - prefa-monolitické železobetonové stropy lokálně podepřené

■ Monolitické železobetonové stropy

Konkurenční tlak prefabrikované technologie vedl k zefektivňování *monolitické technologie*, čímž byly značně zredukovány původní nevýhody. Toho bylo dosaženo především:

- používáním systémových bednění,
- transportem betonu z centrálních betonáren,
- urychlováním tuhnutí a tvrdnutí betonu na stavbě,
- technologickými postupy umožňujícími betonáž i v zimním období,
- používáním přísad do betonu zlepšujících zpracovatelnost betonové směsi během betonáže,
- používáním předem vyrobených výztužných sítí, rohoží a prostorových výztužných koster.

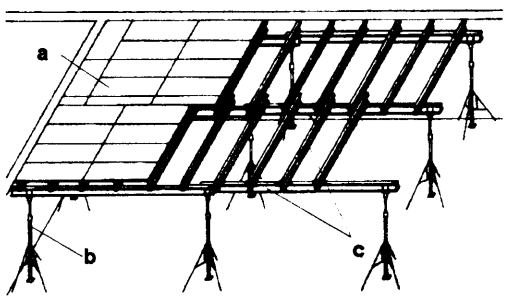
V posledním období se začínají uplatňovat nové technologie:

- předpínání monolitických konstrukcí na stavbě,
- využívání vysokopevnostních a vysokohodnotných betonů,
- vývoj a používání samozhutnitelného betonu.

Beton: Používání *vysokopevnostních* a *samozhutnitelných* betonů vytváří nové možnosti pro konstruování monolitických konstrukcí.
Vysokopevnostní beton: beton s pevnostmi v tlaku až do 60 MPa.
Vysokohodnotný beton: beton s pevnostmi v tlaku až do 110 MPa.
Samozhutnitelný beton: betonová směs nevyžaduje hutnění během betonáže a dokonale vyplňuje všechny dutiny v bednění, zároveň jsou dosahovány velmi vysoké pevnosti v tlaku.

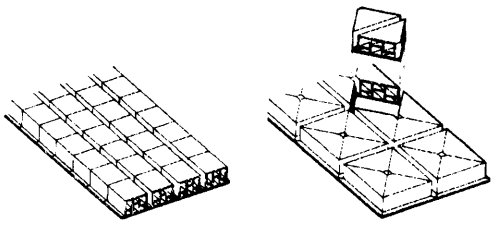
Bednění: *Klasické bednění z prken* je velmi pracné a nákladné vzhledem ke značné spotřebě řeziva. Výhodou je, že umožňuje vytvoření v podstatě libovolného tvaru prvku. Proto se používá v některých případech i v současnosti, zpravidla jako doplněk systémového bednění.

Základní prvky moderního *systémového bednění* jsou plošné bednicí dílce (*a*) z vodovzdorných překližek nebo ocelového plechu upevněných v kovovém rámu a systém podpěrných teleskopických stojek (*b*) a nosníků (*c*). Některé bednicí systémy jsou určeny pouze pro bednění rovných deskových konstrukcí, některé umožňují i vytvoření bednění pro trámy a průvlaky. Vzhledem k tomu, že bednění desek je jednodušší a rychlejší (a tím i levnější) používají se v současnosti monolitické stropy s viditelnými trámy a průvlaky v podhledu pouze v odůvodněných případech, vyplývajících ze statických podmínek nebo z architektonického záměru.

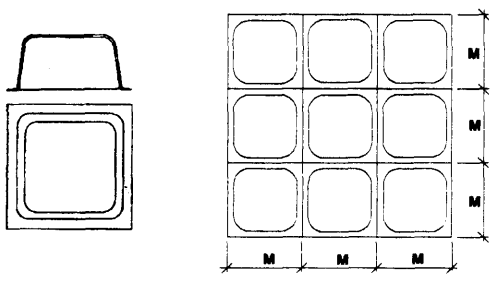


Systémové bednění deskového stropu

Požadavek rovného podhledu při zachování statických výhod žebrových a kazetových stropů lze splnit využitím tzv. *ztraceného bednění* (dřevěné bedničky, keramické tvarovky, tvarovky z lehkého betonu, vložky ze štěpkocementových desek aj.). V těchto případech lze využít výhodnějšího plošného podbednění, přičemž vlastní železobetonová konstrukce je žebrová nebo kazetová s lehkou výplní mezi žebry.

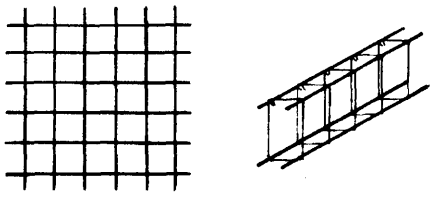

Keramická výplň žebrového a kazetového stropu

Pro vytvoření bednění kazetových nebo trámových stropů lze využít i plastových nebo kovových vaničkových výlisků nebo dílců z lehkých materiálů, které se uloží na rovné bednění a po zatuhnutí stropu se z konstrukce vyjmou pro další použití. Vznikne tak kazetová nebo trámová konstrukce s viditelnými žebry v podhledu. Tohoto systému se používá především pro stropní konstrukce o velkých rozponech a zatíženích, u kterých jsou potřebné velké výšky žeber.



Bednění kazetových stropů z plastových výlisků

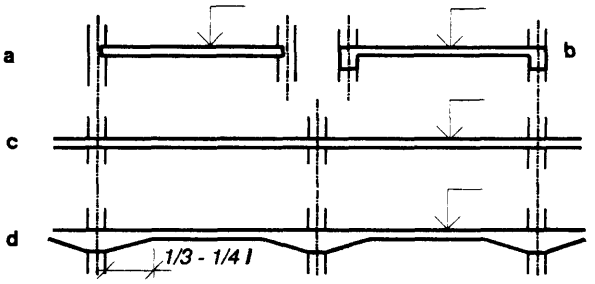
Vyztužování deskových konstrukcí se v současnosti provádí nejčastěji svařovanými výztužnými sítěmi (*a*), které výrazně zjednodušují a zrychlují práci na staveništi. Do trámů a průvlaků se vkládají předem vyrobené výztužné prostorové kostry (*b*) a výztužné mřížoviny ("žebříčky").


a - výztužná síť **b** - výztužná kostra

■■ Monolitické železobetonové stropy deskové

Výhodou deskových železobetonových stropů je jednoduchost bednění a vyztužování, ale i rovný podhled umožňující snadnou povrchovou úpravu tenkovrstvou stěrkovou omítkou. Desky jsou buď jednosměrně pnuté nebo jsou pnuté ve dvou event. více směrech. Při větších rozponech neúměrně roste spotřeba betonu a výztuže v porovnání s trámovými a žebrovými stropy. Důvodem je značná plošná hmotnost plné železobetonové desky. Proto se používá vylehčování železobetonových desek (např. polystyrenovými válci, papírovými trubkami, keramickými vložkami, vložkami z lehkého betonu - viz vložkové stropy aj.). Pro bednění lze využít i štěpkocementových desek umožňujících provedení klasické omítky podhledu a zvyšujících tepelný odpor stropu.

Uložení desek na podporách (stěnách a průvlacích) může být buď *kloubové* (*a*) nebo mohou být desky do podpor *vetknuté* (*b*). Desky souvisle probíhající přes více podpor jsou *desky spojité* (*c*). Délka uložení desky na zdivu má být minimálně rovná tloušťce desky, nejméně však 100 mm. U desek vetknutých a spojitých je ze statického hlediska výhodné zvětšit u podpor tloušťku *náběhy* (d). Tohoto řešení se používalo především dříve, v současnosti se vzhledem k využívání systémových bednění tento způsob příliš neuplatní.

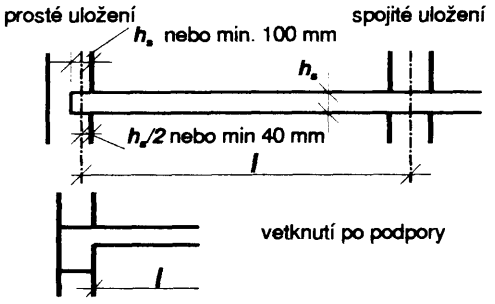


Monolitické železobetonové desky pnuté v jednom směru

Desky jsou podepřené na dvou protilehlých stranách. Prostě (kloubově) podepřené plné desky se navrhují do rozpětí cca 3,0 m, vetknuté a spojité desky do 4,5 - 6 m. Minimální tloušťka železobetonové desky je 50 mm (podle ČSN P ENV 1992-1-1). V současnosti je tendence nedělat příliš subtilní železobetonové prvky z důvodu zajištění větší trvanlivosti a proto se desky často navrhují tlustší než odpovídající minimum.

Orientační dimenze plných jednosměrných železobetonových desek:

Maximální doporučený rozpon l:	
prosté (kloubové) uložení	***3 m***
vetknutá a spojitá deska	***4,5 - 6 m***
Doporučená tloušťka desky:	
prosté (kloubové) uložení	$h_s = 1/20\ l$ až $1/25\ l$
vetknutá a spojitá deska	$h_s = 1/30\ l$ až $1/35\ l$
Minimální tloušťky desek:	
pro rozpětí: $l \leq 1$ m	***50 mm***
$1 < l \leq 1.5$ m	***60 mm***
$l > 1.5$ m	***70 mm***

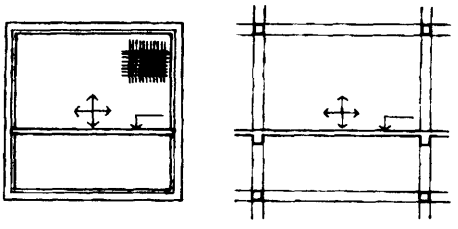


l [m] ..... teoretické rozpětí desky

Pozn.: Rozměry jsou pouze orientační a týkají se desek s běžným zatížením. Skutečné dimenze je třeba posoudit podle příslušné normy.

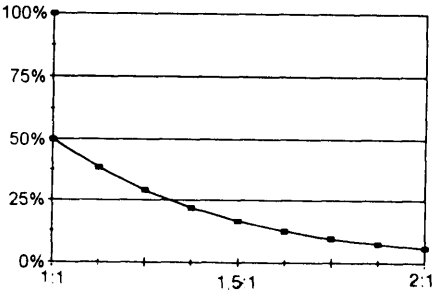
Monolitické železobetonové desky pnuté ve dvou nebo více směrech

Monolitické železobetonové desky pnuté ve dvou směrech po obvodě podepřené stěnami nebo průvlaky. Výztuž v desce je uložená ve dvou zpravidla na sebe kolmých směrech. Obousměrné *křížem armované desky* jsou hospodárnější z hlediska spotřeby betonu i výztuže. Křížem armované desky lze použít i pro větší rozpony. V závislosti na způsobu podepření je lze použít pro rozpony 6x6 m, 7.2x7.2 m i více.



deska prostě podepřená deska vetknutá

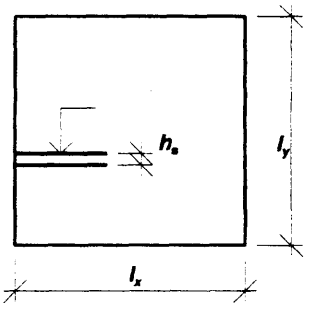
Nejvýhodnější je zastropení čtvercového půdorysu. Křížem vyztužené desky lze použít i pro obdélníkové půdorysy s poměrem stran do cca $l_x : l_y = 1{,}5 : 1$. Při větším rozdílu délek stran se staticky uplatní především kratší rozpon a delší rozpon přenáší malou část zatížení. Přibližné procentuální rozdělení zatížení do dvou směrů je znázorněno v grafu. Je zřejmé, že pro čtvercový půdorys a stejné podepření okrajů přenáší každý směr shodně 50%. Pro obdélníkový půdorys o poměrech stran 1,5:1 přenáší delší směr 16.5% a pro poměr 2:1 pouze 6%.



PODÍL ZATÍŽENÍ PŘENÁŠENÉHO DELŠÍM SMĚREM

Orientační dimenze dvousměrných železobet. desek:

Maximální doporučený rozpon l:	
prosté (kloubové) uložení	***4,5 x 4,5 m až 5 x 5 m***
vetknutá a spojitá deska	***6 x 6 m až 9 x 9 m***
Orientační tloušťky desek:	
prosté uložení - minimálně	$h_s = 1/75\ (l_x + l_y)$
běžně	$h_s = 1/25 - 1/35\ .l_{min}$
vetknutá, spojitá deska - min.	$h_s = 1/105(l_x + l_y)$ až $1/90\ (l_x + l_y)$
běžně	$h_s = 1/40 - 1/45\ .l_{min}$



l_x [m] ..... teoretické rozpětí desky ve směru x

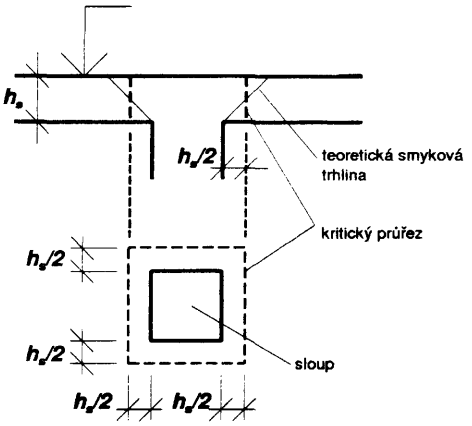
l_y [m] ..... teoretické rozpětí desky ve směru y

l_{min} [m] ..... kratší rozpětí desky

Pozn.: Rozměry jsou pouze orientační a týkají se desek s běžným zatížením. Skutečné dimenze je třeba posoudit podle příslušné normy

Monolitické železobetonové desky lokálně podepřené:
Konstrukčně se jedná o železobetonové křížem vyztužené deskové konstrukce, lokálně podepřené sloupy s viditelnými nebo skrytými hlavicemi. Hlavice mají funkci přenosu svislého zatížení od stropu do subtilní svislé konstrukce - sloupu. Vzhledem k tomu, že jde o obousměrnou křížem vyztuženou konstrukci je nejvhodnější *čtvercová osnova podpor* (sloupů) nebo obdélníková do maximálního poměru stran cca 1:1,3. Stropní konstrukce by měla být spojitá v obou směrech minimálně přes 3 pole. Pole by měla mít přibližně shodné rozpony (maximální rozdíl v rozponech sousedních polí by neměl být větší než 20 %). Tvar průřezu sloupů je výhodný kruhový, čtvercový nebo mnohoúhelníkový.

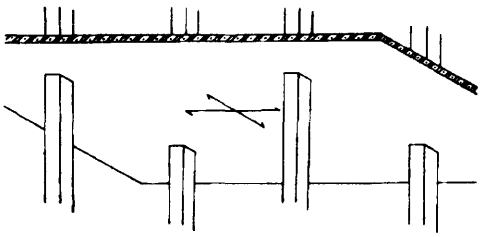
Rozhodující pro navrhování konstrukcí s lokálně podepřenými deskovými stropy je posouzení na *protlačení* (porušení desky v oblasti lokální podpory - sloupu). V případě potřeby se do styku sloupu s deskou vkládají ocelové hlavice zvětšující plochu kritické spáry nebo se navrhují viditelné hlavice (*hřibové stropy*).



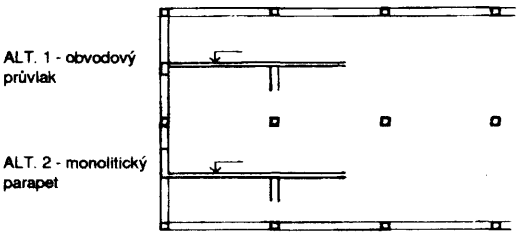
Porušení desky protlačením

Deskové a hřibové stropy mají velkou plošnou hmotnost. Pro snížení plošné hmotnosti je výhodné železobetonovou desku ve střední části pole vylehčit viditelnými kazetami nebo vložkami (viz stropy vložkové).

- desky lokálně podepřené s rovným podhledem:
Z hlediska variabilnosti dispozice i z hlediska minimalizace konstrukční výšky podlaží je výhodné navrhovat stropní konstrukce i ve sloupových systémech s rovným podhledem bez viditelných průvlaků nebo hlavic. Důvodem je i možnost snadnějšího vedení instalací a jednodušší bednění. U lokálně podepřených desek sloupy podepírají přímo železobetonovou desku konstantní tloušťky. Někdy se tyto konstrukce označují jako *bezhlavicové* nebo *bezprůvlakové*. Ve skutečnosti však jde o *konstrukce se skrytými hlavicemi* a *skrytými průvlaky* (podporové pruhy) v tloušťce desky.

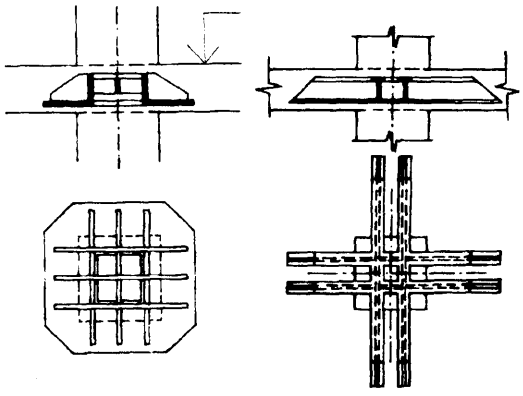

Deska lokálně podepřená s rovným podhledem

Lokálně podepřené deskové stropy jsou technologicky jednodušší než stropy s viditelnými průvlaky a viditelnými hlavicemi. Vzhledem k menší tuhosti a omezení z hlediska posouzení na protlačení desky se používají pro menší užitná zatížení < 5 kN/m^2 a rozpony do 7 m. Lokálně podepřené desky mají zpravidla větší průhyby a větší spotřebu výztužné oceli. V případě sloupových systémů s lokálně podepřenými deskami je třeba prostorovou tuhost zajišťovat výztužnými stěnami, jádry aj. Výhodná je kombinace lokálně podepřené desky uprostřed půdorysu s obvodovými průvlaky(alt. 1) nebo monolitickými parapety (alt. 2) zajišťujícími prostorovou tuhost a zároveň tvořícími nosnou část obvodového pláště.



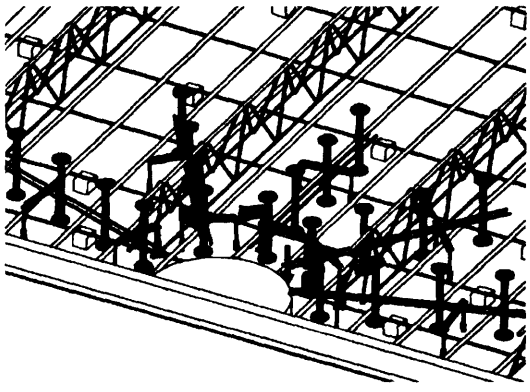
Kombinace lokálně podepřené desky a obvodového průvlaku (ALT. 1) nebo monolitického parapetu (ATL. 2)

Minimální tloušťka deskového stropu lokálně podepřeného je 160 mm, zpravidla je však větší. Problém zajištění desky proti protlačení sloupem je v případě stropů se skrytými hlavicemi řešen pomocí ocelových roštových (*a*) nebo manžetových (*b*) hlavic, přidáním smykové výztuže do monolitické desky na protlačení nebo prefabrikovanou předepjatou hlavicí (viz prefa-monolitické stropy lokálně podepřené).



Typy ocelových hlavic

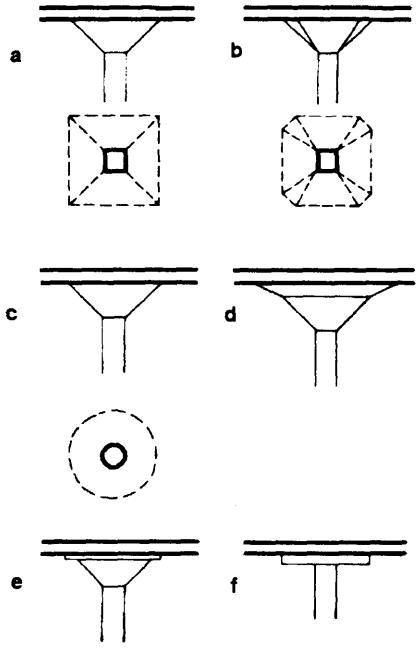
V posledním období se uplatňuje vyztužení na protlačení pomocí *smykových trnů* nebo lišt s osazenými smykovými trny (typ Schöck BOLE). Vyztužování na stavbě se tak značně zjednodušuje.



Vyztužení na protlačení pomocí lišt se smykovými trny typu Schöck BOLE

Monolitický železobetonový strop se skrytými hlavicemi se používá i v technologické variantě sloupového systému nazývané: - ***technologie zdvihaných stropů.*** Výhodou tohoto konstrukčního systému je úspora bednění a zkrácení celkové doby výstavby. Systém však vyžaduje speciální technologické vybavení a značnou přesnost při zdvihání desek. Železobetonové stropní desky se postupně na sobě betonují (oddělené separační fólií) v úrovni 1. N.P. a po získání potřebné pevnosti se zdvihají do definitivní polohy. Desky mají kolem sloupů ocelové hlavice (objímky), které slouží k posunu po sloupech. Objímky se ve finální poloze přivaří ke sloupu (viz kapitola C2).

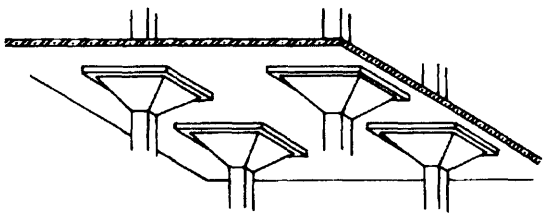
- desky s viditelnými hlavicemi - hřibové stropy:
Hřibové stropy s viditelnými hlavicemi jsou výhodné pro velká zatížení (užitná zatížení > 10 kN/m^2) a větší rozpony stropů. Nevýhodou je nerovný podhled, který komplikuje bednění stropu i řešení interiéru. Hřibové stropy s viditelnými hlavicemi se používají především pro průmyslové objekty, skladiště, obchodní domy aj.



Problém protlačení stropní konstrukce je v případě viditelných hlavic řešen větší tloušťkou konstrukce v místě sloupu. Se zvětšující se vzdáleností od sloupu se zvětšuje délka *kritického průřezu*, a tím i účinná plocha z hlediska únosnosti v protlačení. Proto se může tloušťka hlavice kónicky zmenšovat až do vzdálenosti, kde obvod hlavice je schopen v tloušťce desky přenést požadované smykové namáhání.

Z hlediska efektivnosti využití materiálu pro přenos zatížení z desky do sloupu by byl nejvýhodnější plynulý přechod sloupu přes hlavici do desky. Tento tvar je komplikovaný z hlediska bednění. Proto se nejčastěji používají hlavice ve tvaru komolého jehlanu (*a, b*),

komolého kužele *(c)*, hlavice lomené *(d)*, hlavice s deskou *(e)*, případně pouze deskové zesílení *(f)*. Z hlediska posouzení se uvažuje tzv. *účinná hlavice,* vymezená komolým kuželem nebo jehlanem s úhlem sklonu 45^0 a proto je nejvýhodnější tvar hlavice takový, který se k uvedenému tvaru nejvíce blíží. Tloušťka desky mezi hlavicemi má být min. *1/35 l* a zároveň min. 100 mm, v případě stropů s deskovým zesílením min. 120 mm.



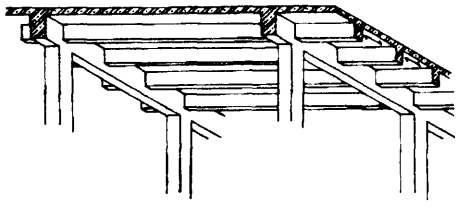
Hřibový strop

■■ Monolitické železobetonové stropy trámové a žebrové

Monolitické trámové a žebrové stropy jsou staticky efektivnější než deskové konstrukce. Nosníky jsou monoliticky spojeny s deskou a vytvářejí tak staticky výhodný "T" průřez, ve kterém tahová namáhání v mezipodporovém průřezu přenáší výztuž ve spodní části nosníku a tlak je přenášen betonem horní části nosníku se spolupůsobící částí desky. Průřez trámu je zpravidla vyšší než desková konstrukce a má tak větší rameno vnitřních sil, v důsledku čehož je materiál lépe staticky využit. Zároveň má trámová nebo žebrová konstrukce v porovnání s deskovou konstrukcí menší plošnou hmotnost, což se odráží na její větší užitné únosnosti i menším průhybu od vlastní tíhy. Nevýhodou je pracnost bednění, pracnější vyztužování a nerovný podhled. Proto byly vyvinuty různé typy trámových a žebrových stropů se *ztraceným bedněním* trámů a žeber. Pokud lze stropní konstrukci podepřít po celém obvodu půdorysu s výhodou se využívá *kazetové konstrukce* s trámy orientovanými ve dvou event. více směrech.

Monolitické železobetonové stropy s viditelnými trámy v jednom směru. Jde o klasickou železobetonovou konstrukci vycházející ze stropní konstrukce typu Hennebique (F. Hennebique 1842-1921). Vzhledem k pracnosti se v současnosti používá pouze ojediněle a to zpravidla pro větší zatížení, kde se výrazněji uplatní její statické výhody.

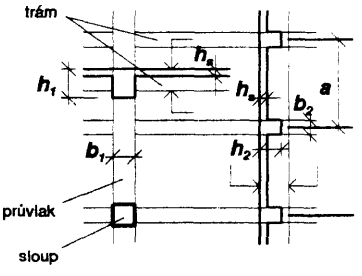
Konstrukce stropu je tvořena trámy v osových vzdálenostech 1,2 až 3,0 m spojenými železobetonovou deskou. Je-li trámový strop uložen na průvlacích, rozmísťují se trámy tak, aby v ose rozponu nebyl trám vyvozující na průvlaku momentovou špičku od osamělého břemene. Výška trámu závisí na rozponu, způsobu uložení a na zatížení.



Trámový strop typu Hennebique

Orientační dimenze železobetonových trámových stropů

Maximální doporučený rozpon l:	
běžný trámový strop	***6 - 7 m***
speciální případy	***9 m i více***
Osová vzdálenost trámů:	
běžné trámové stropy	***a = 1,2 - 3,0 m***
Orientační výšky trámů:	
prosté uložení	***h = 1/17 - 1/10 .l***
vetknutý, spojitý trám	***h = 1/20 - 1/15 .l***
průvlak; značně zatížený trám	***h = 1/10 - 1/12 .l***
Orientační šířka trámů:	***b = 1/2. h - 1/3. h***

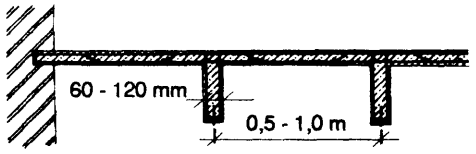


l [m] ..... teoretické rozpětí

a [m] ..... osová vzdálenost trámů

Pozn.: Rozměry jsou pouze orientační a týkají se trámů s běžným zatížením. Skutečné dimenze je třeba posoudit podle příslušné normy

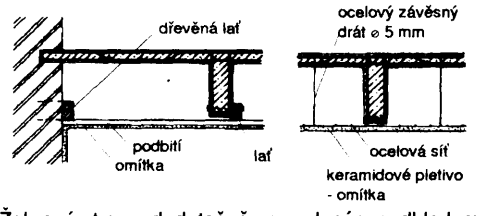
Žebrové stropy jsou variantou trámového stropu, u kterých jsou trámy (žebra) v menší osové vzdálenosti 0,5 až 1,0 m a žebra jsou zpravidla úzká (60 - 120 mm). Železobetonová deska je vzhledem k menší vzdálenosti žeber tenčí (50 - 70 mm). Žebrové stropy se zpravidla opatřovaly zavěšeným rovným podhledem.



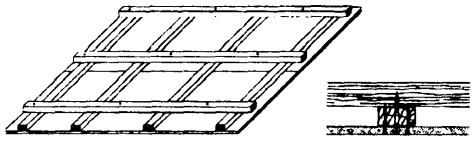
Žebrový strop

Monolitické železobetonové trámové a žebrové stropy s dodatečně provedeným podhledem. Ve většině případů dispozic je architekty požadován rovný podhled. Pouze u velkých prostor, kde se může uplatnit rytmus žeber trámového nebo kazetového stropu, se viditelná žebra mohou stát žádoucím architektonickým prvkem při řešení interiéru.

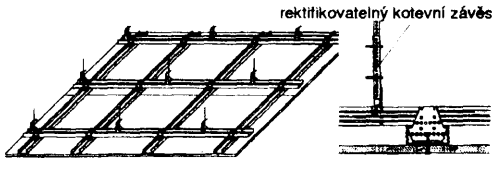
Pokud se podhledová konstrukce navrhuje současně s vlastní stropní konstrukcí, volí se zpravidla strop s žebry v menších osových vzdálenostech (cca do 1,0 m - žebrový strop). Nosná část podhledu může být tvořena podbíjením přibitým na latích připevněných na žebrech. Omítka se v dřívějších dobách prováděla na rákos, později na keramidové nebo rabicové pletivo. Jinou variantou je síť zavěšená na ocelových kotvách vyčnívajících z podhledu v rastru cca 500 x 500 mm, na kterou se připevní keramidové pletivo a omítne.



Žebrový strop s dodatečně provedeným podhledem

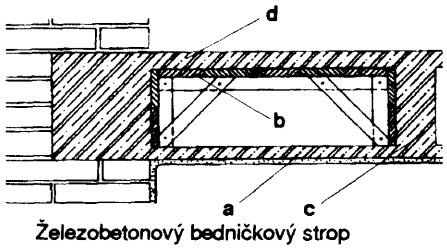

Sádrokartonový podhled na dřevěném roštu

V současné době lze dodatečný podhled provést z některého ze systémů kostrových sádrokartonových podhledů. Do železobetonové (nebo jiné) stropní konstrukce se nastřelí, připevní hmoždinkami (nebo přišroubuje, přivaří) závěsné rektifikovatelné kotevní prvky, na které se přimontuje dřevěný nebo kovový nosný rošt sádrokartonového podhledu. Systém sádrokartonových podhledů umožňuje i vedení instalačních rozvodů v prostoru podhledu a umístění svítidel a dalších zařízení.



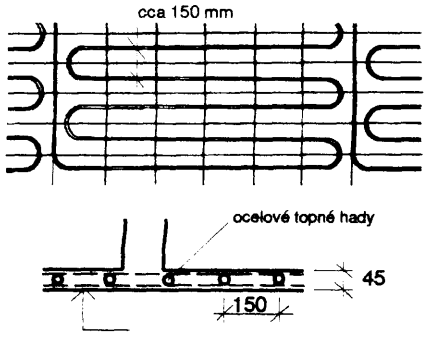
Sádrokartonový podhled na roštu z kovových profilů

Monolitické železobetonové stropy bedničkové (někdy nazývané: *stropy s tvrdým podhledem*) jsou žebrové stropy s podhledovou vyztuženou betonovou deskou monoliticky spojenou s vlastní konstrukcí stropu. Podhledová deska (*a*) tl. 30 až 35 mm se vybetonuje na rovném bednění a na ní se umístí dřevěné bedničky (*b*), které vytvoří bednění žeber (*c*) a horní desky (*d*) tloušťky 50 - 70 mm. Po zabetonování bedničky zůstávají v konstrukci (odtud pojem *ztracené bednění*). Konstrukce je pracná a velmi nákladná vzhledem ke značné spotřebě dřeva, a proto se již nepoužívá.



Železobetonový bedničkový strop

Do spodní podhledové desky bylo možné umístit topné ocelové hady sálavého ústředního vytápění (systém CRITTAL). V tomto případě byla tloušťka podhledové desky 45 mm. Tohoto typu stropu se používalo v prostorách, kde z důvodů estetických nebo hygienických nebylo vhodné umísťovat klasické radiátory (nemocnice, obytné budovy vyššího standardu aj.).



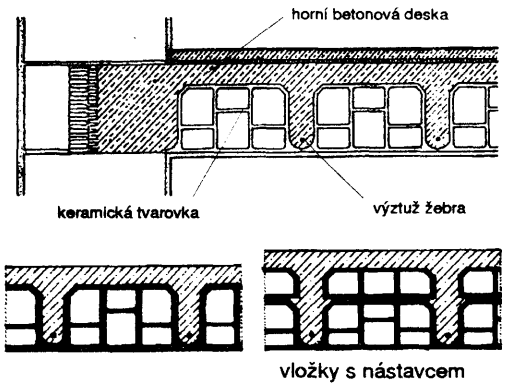
ocelové topné hady vytápění CRITTAL

Monolitické železobetonové žebrové stropy vložkové. Nevýhodou trámových a žebrových stropů je pracné bednění a nerovný podhled. Proto se postupně vyvinula řada typů stropů, ve kterých se pro vytvoření *ztraceného bednění* žeber a desky monolitického žebrového nebo kazetového stropu využívá *lehkých výplňových prvků* (keramických dutinových tvarovek, výplňových prvků z pórobetonu, dutinových prvků z lehkého betonu z pórovitého kameniva, dutinových prvků z cementotřískových desek, výplňových prvků z plastu apod.) Výplňové prvky - vložky se umístí na rovné bednění, do míst budoucích žeber se vloží výztuž a konstrukce se zabetonuje. Spodní líc vložek zároveň tvoří rovný podhled stropu.

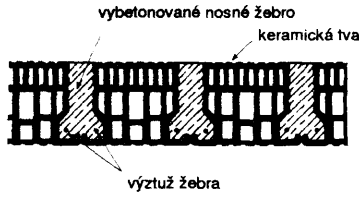
Výhody vložkových stropů:
- jednodušší bednění (rovné bednění - nemusí být souvislé, stačí pouze podporové pruhy pod žebry),
- rovný podhled,
- relativně malá plošná hmotnost ,
- vysoká únosnost, nižší spotřeba oceli a betonu,
- snadné řešení vertikálních prostupů,
- dobré tepelné (R=0,2-0,4 m^2KW^{-1}) vlastnosti,
- vysoká protipožární odolnost,
- velká architektonická a konstrukční variabilita (vhodné pro nepravidelné půdorysy).

Nevýhodou je především větší pracnost v porovnání prefabrikovanými a prefa-monolitickými systémy stropů spojená s potřebou realizace bednění a pracnějším způsobem vyztužování.

Žebra jsou zpravidla v osových vzdálenostech 300-750mm a jejich šířka se pohybuje od 60 do 120 mm. Výška žeber je dána součtem výšky vložky a tloušťky horní betonové desky. Vložky se vyrábějí ve výškách od 140 do 250 mm. Někteří výrobci dodávají celou řadu různě vysokých vložek doplněných o *nástavce* tak, že je možné vybrat optimální tloušťku stropu pro dané zatížení a rozpon. V závislosti na výšce vložek tak lze navrhovat vložkové stropy i na velké rozpony a pro velká zatížení. Tloušťka horní betonové desky je 30 - 70 mm. Pro zajištění tuhé stropní desky ve vodorovné rovině je třeba, aby horní deska byla minimálně 50 mm tlustá a vyztužená sítí.

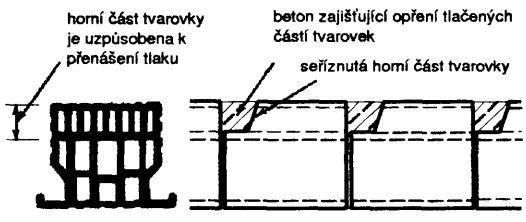


V případě menších zatížení se používají tvarovky na celou konstrukční tloušťku stropu, které zjednodušují realizaci stropu. Mezi tvarovky se vloží výztuž a žebra se zabetonují do roviny horního líce keramických vložek. Betonáž je tak snadná a rychlá. Tento druh stropu lze použít pouze pro nízké objekty, kde nevadí menší tuhost stropu v horizontální rovině.



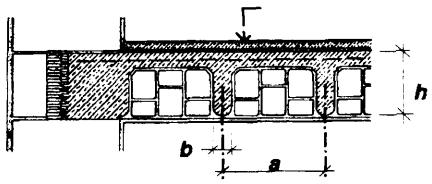
Monolitický keramický strop s žebry v rovině horního líce keramických tvarovek

Keramická výplň může za určitých podmínek spolupůsobit s železobetonovým průřezem v přenášení tlaku v horní části průřezu. Některé typy tvarovek mají z tohoto důvodu horní část s menším počtem dutin a seříznutou tak, aby bylo po zalití betonem zajištěno dokonalé tlakové spolupůsobení tvarovek.



Orientační dimenze železobetonových žebrových stropů vložkových

Maximální doporučený rozpon l:	
běžně	***6 - 7 m***
speciální případy	***9 m i více***
Osová vzdálenost žeber:	***a = 0,3 - 0,75 m***
Orientační výška žeber:	
malé zatížení	***h = 1/30 - 1/25 .l***
velké zatížení	***h = 1/25 - 1/20 .l***
Orientační šířka žeber:	***b = 60 - 120 mm***



l_n [m] ..... světlý rozpon trámu

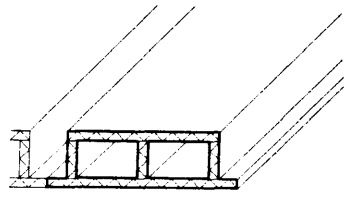
$l = 1,05 .l_n$ [m] ..... teoretické rozpětí

Pozn.: Rozměry jsou pouze orientační a týkají se stropů s běžným zatížením. Skutečné dimenze je třeba posoudit podle příslušné normy.

Na principu vložkových stropů existuje řada systémů stropů prefabrikovaných a prefa-monolitických, které využívají tvarovek vložených do prefabrikátů (viz *prefabrikované keramické panely*) nebo prefabrikovaných nosníků, na které se na stavbě uloží tvarovky a žebra s deskou se zabetonují (viz *prefa-monolitické stropy z nosníků a vložek*).

Monolitické železobetonové žebrové stropy se ztraceným bedněním ze štěpkocementových desek

Tvar žebrové konstrukce je vytvořen ztraceným bedněním z prefabrikovaných stropních prvků lepených z přířezů štěpkocementových desek tl. 25 mm (např. systém VELOX WS) ve tvaru dutých krabicových tvarovek. Běžná osová vzdálenost žeber je 500 nebo 300 mm, šířka žebra je min. 100 mm, výška tvarovky je 155 až 575 mm. Podhled ze štěpkocementových desek umožňuje snadné omítání a zvyšuje tepelný odpor stropu. Na stejném principu lze vyrábět i bednění z jiných vhodných deskových materiálů.

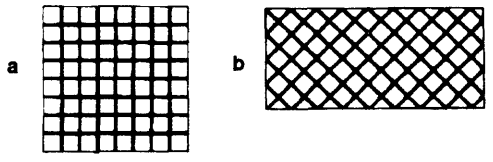


Bednicí tvarovka ze štěpkocementových desek VELOX

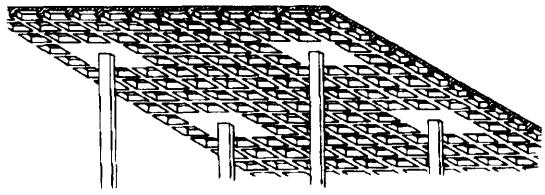
Monolitické železobetonové stropy s trámy ve dvou nebo více směrech (kazetové a roštové)

Stropy jsou podepřeny po celém obvodu nebo lokálně sloupy. Obdobně jako u dvousměrně pnutých železobet. desek by měl být zastropovaný půdorys čtvercový (a) nebo mírně obdélníkový (b) (poměr stran do 1:1,5). Vzhledem k obousměrnému (event. vícesměrnému) vyztužení má konstrukce v porovnání s jednosměrnými trámovými a žebrovými stropy výhodnější statické parametry (větší únosnost, menší průhyb) . Stropy jsou velmi únosné a lze je používat pro velká zatížení i velké rozpony (až 12 x 12 m).

V případě obdélníkových půdorysů s větším rozdílem délek stran než 1:1,5 lze efektivně využít kazetové konstrukce s orientací žeber otočenou o 45° (*b*). Natočená orientace žeber je výhodná i v případě čtvercového půdorysu, kde lze tímto způsobem podstatně redukovat kroutící momenty v žebrech v rozích půdorysu. Křížící se trámy vytvářejí *kazety* zakryté tenkou železobetonovou deskou. Vzdálenost žeber *kazetového stropu* se pohybuje od 500 do 1200 mm. Stropy s žebry ve větších vzdálenostech, mezi kterými je pnutá křížem vyztužená deska se označují jako *roštové stropy*.



Orientace žeber kazetového stropu

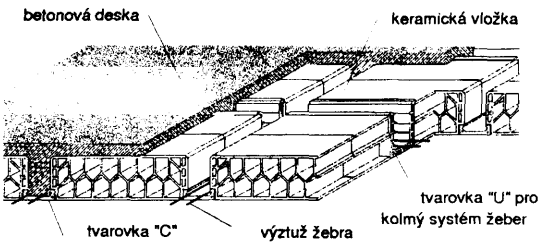


Kazetový strop lokálně podepřený

Kazetové a roštové stropy s viditelnými trámy v podhledu se používají pro zastropení reprezentativních prostor (přednáškové síně, vstupní haly aj.), kde se může významně uplatnit kazetový rastr podhledu z hlediska architektonického. Pro usnadnění bednění kazet lze použít plastových výlisků, nebo kovových forem.

Kazetové stropy vložkové s rovným podhledem. Často se z architektonických i technologických důvodů požaduje rovný podhled. V těchto případech lze použít *keramických tvarovek* pro vytvoření ztraceného bednění žeber a desky kazetového stropu. Tvarovky se ukládají na bednění (jednoduché rovné bednění), do žeber se v obou směrech vloží výztuž a konstrukce se zabetonuje. Spodní keramický líc tvarovek vytváří rovný podhled stropu vhodný pro omítání. Žebra jsou orientována ve dvou na sebe kolmých směrech ve vzdálenostech např. 600 x 600 mm nebo 700 x 700 mm. Betonovou krycí desku tloušťky 30 - 70 mm je třeba vyztužit sítí.

Jednosměrný žebrový a obousměrný kazetový vložkový strop vycházející ze stejného typu vložek lze výhodně a bezkolizně kombinovat v rámci jednoho půdorysu tak, aby bylo dosaženo optimální skladby konstrukce stropu z hlediska minimalizace nákladů.



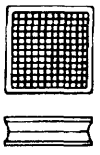
Kazetový strop s keramickými vložkami ORTHO 2

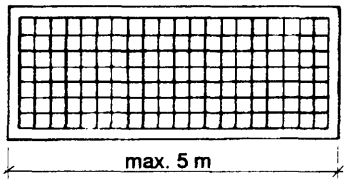
■■ Sklobetonové stropy

Sklobetonové stropy jsou transparentní železobetonové monolitické konstrukce se skleněnými výplněmi kazet mezi žebírky železobetonového roštu. Vzhledem k průsvitnosti skleněných tvarovek se sklobetonové stropy používají pro horní osvětlení rozptýleným světlem z roviny střech (např. průchodů a pasáží, výrobních prostor aj.) nebo pro osvětlení podzemních prostor osvětlovacími šachtami zastropenými v rovině chodníků sklobetonovou konstrukcí. Použití sklobetonových stropů mezi jednotlivými podlažími objektu je vyjímečné a to pouze v případech speciálního architektonického záměru.

Konstrukce sklobetonových stropů

Konstrukčně jde o železobetonové monolitické žebírkové konstrukce se skleněnými výplněmi kazet mezi žebry. Kombinace železobetonu a skla je umožněna vzhledem k malému rozdílu teplotních součinitelů délkové roztažnosti obou materiálů.


Skleněná tvarovka



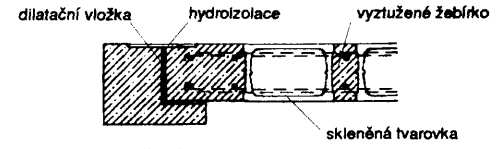
Půdorys sklobetonového stropu

Nosnou část sklobetonových stropů tvoří železobetonová žebírka mezi skleněnými tvarovkami, orientovaná ve dvou na sebe kolmých směrech. Vzniká tak obousměrně vyztužená stropní konstrukce. Pokud se uvažuje obousměrné statické působení měl by být poměr stran max. 1:1,5. Žebírka jsou subtilní - šířky 40 - 50 mm. Výška žebírek je u *deskových sklobetonových stropů* shodná s výškou tvarovek tj. cca 60 - 100 mm. U *žebírkové konstrukce* je výška žeber větší než tloušťka tvarovek. Vzdálenost žebírek odpovídá typu použitých skleněných tvarovek a je nejčastěji 150x150 až 250x250 mm. Kromě čtvercových tvarovek se vyrábějí i skleněné tvarovky kruhového tvaru. Strop musí být v uložení oddilatován od svislé konstrukce. V podélném směru je třeba strop po max. 5 m rozdělit dilatacemi.

Skleněné tvarovky jsou buď plné nebo duté, svařované. Duté tvarovky mají lepší tepelnětechnické vlastnosti. Přesto jsou sklobetonové stropy nevyhovující z hlediska tepelně technického pro konstrukce oddělující prostory s velkým teplotním rozdílem. Železobetonová žebírka představují tepelné mosty, které se v případě teplých a vlhkých provozů rosí v důsledku kondenzace vodních par.

Při použití sklobetonového stropu na vnějšku objektu je třeba zajistit vodotěsnost konstrukce. Žebra je třeba opatřit hydroizolací buď nátěrovou asfaltovou izolační hmotou nebo izolační hmotou na bázi plastů. Žebírka je vhodné provést z betonu s vodotěsnícími přísadami, eventuálně z polymerového betonu. Pro větší rozpětí stropů se složelezobetonová konstrukce ukládá na hlavní nosné železobetonové trámy nebo průvlaky. Vzniká tak *kazetový (roštový) strop* se sklobetonovými výplňovými deskami.

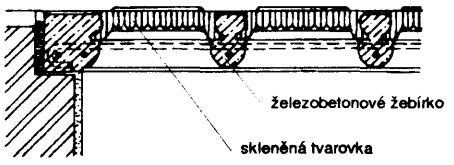
Deskové sklobetonové stropy. Výhodou deskových konstrukcí je jednodušší rovné bednění stropu, na které se položí skleněné tvarovky, mezi tvarovky se uloží nosná výztuž a konstrukce se zabetonuje. Výztuž žeber se zakotví do obvodového žebra nebo věnce. *Jednosměrně pnuté sklobetonové deskové stropy* se navrhují do rozpětí 1,5 m. Žebra ve druhém směru jsou konstrukčně vyztužena pro roznášení zatížení (analogicky k rozdělovací výztuži v železobetonové desce). *Obousměrně pnuté sklobetonové deskové stropy* jsou křížem vyztužené a navrhují se na rozpětí 2,0 x 2,0 m až 2,5 x 2,5 m.



Uložení desky do konstrukce

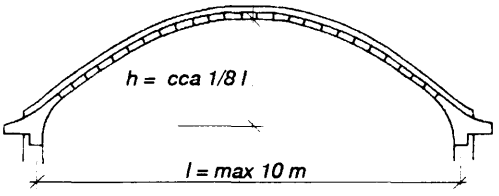
Ukončení desky Dilatační uložení nad podporou

Žebírkové sklobetonové stropy. Konstrukce žebírková je obdobou deskové konstrukce s rozdílem, že má vyšší žebra než je tloušťka skleněné tvarovky a umožňuje tak realizaci sklobetonového stropu na větší rozpětí v závislosti na dimenzi žebírek. Pro vytvoření žebírek se používá plechové formy (korýtkové nebo krabicové), která se ukládá na rovné bednění.



Sklobetonový strop žebírkový

Sklobetonové klenby a báně jsou ze statického hlediska tlačené konstrukce přenášející vnější zatížení převážně osovou tuhostí žebírek. Při nerovnoměrném zatížení se uplatní ohybová tuhost žebírek. Používají se nejčastěji pro zastřešení průchodů a pasáží. Sklobetonové klenby a báně se navrhují zpravidla parabolického tvaru o vzepětí min. *1/8 l*. Rozpětí klenby může být v závislosti na dimenzi a vyztužení žebírek až 10 m.



Sklobetonová klenba

■ Prefabrikované železobetonové stropy

Hlavní nevýhody monolitických stropů (pracné a drahé bednění, pracné vyztužování na stavbě, delší doba výstavby) jsou odstraněny u prefabrikované technologie. *Výhodou* prefabrikovaných stropů je:

- rychlá a snadná montáž, kratší doba výstavby, menší pracnost na stavbě,
- montáž na stavbě je méně ovlivněna počasím a zimním obdobím než v případě monolitu,
- předepínání prvků → z toho vyplývá možnost realizace stropů o větších rozponech a únosnostech,
- vylehčování panelů dutinami → menší plošná hmotnost stropu → z toho vyplývá úspora materiálu nejenom vlastního stropu, ale celé konstrukce,
- stropní konstrukce je ihned po montáži únosná → kratší doba výstavby.

Pozn: Některé z výhod dříve specifických pro konstrukce prefabrikované se v současnosti začínají uplatňovat i u monolitických konstrukcí: např. předepínání monolitických konstrukcí volnými kabely, vylehčování monolitu dutinami aj.

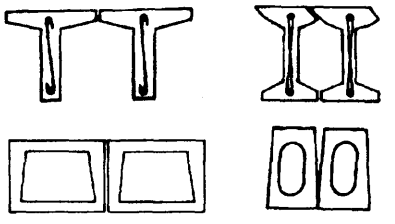
Nevýhodou jsou značné dopravní náklady vzhledem k velké hmotnosti prvků, nákladná manipulace na stavbě vyžadující těžké zdvihací prostředky a omezení variability návrhu vzhledem ke zpravidla limitované druhovosti prefabrikátů.

Vzhledem ke změně přístupu k prefabrikaci v našich podmínkách (od konzervativního chápání typizace k typizaci styků a rozhodujících rozměrových parametrů prvků v jemné modulové řadě) lze navrhovat i stropní konstrukce s individuálně navrženými prefabrikáty.

■■ Prefabrikované stropy ze železobetonových nosníků

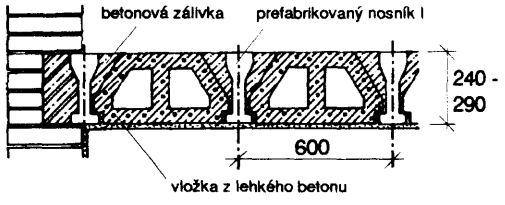
Hlavními nosnými prvky jsou železobetonové nosníky, které se ukládají na sraz vedle sebe (*povalový strop*) nebo jsou osazovány v pravidelných vzdálenostech a na jejich ozuby se ukládají keramické tvarovky nebo vložky z lehkého betonu (*strop z nosníků a vložek*). Nosníky mohou být ze železobetonu nebo předpjatého betonu. Aby bylo možné strop považovat za dostatečně tuhý pro přenášení vodorovných zatížení u vícepodlažních objektů, musí být strop nahoře opatřen železobetonovou deskou tl. min 50 mm vyztuženou sítí.

Prefabrikované stropy z železobetonových povalů různých průřezů (výšky 150-250 mm a šířky 150-300 mm) se používaly především dříve. Montáž byla poměrně pracná a proto byly postupně nahrazovány stropy z panelů větších rozměrů.



Typy železobetonových povalů

Prefabrikované stropy z železobetonových nosníků a vložek se používaly především pro individuální bytovou výstavbu. Nosníky průřezu I nebo obráceného průřezu T se umísťovaly v osových vzdálenostech 600 mm nebo 300 mm na rozpony do 5,4 m. Na spodní příruby nosníků se osazovaly vložky ze škvárobetonu nebo keramiky. Na stejném principu jsou založeny i stropy prefa-monolitické z nosníků a vložek (viz dále). Rozdíl je pouze v nosníku, který je v prefa-monolitické variantě dobetonováván až na stavbě.



Strop z železobetonových nosníků a vložek z lehkého betonu

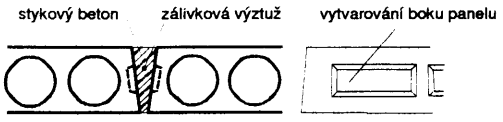
■■ Prefabrikované železobetonové stropy panelové

Nosná konstrukce stropu je tvořena prefabrikovanými železobetonovými panely. Panely jsou nejčastěji vyztužené v jednom směru a ukládají se na dvě protilehlé podpory (stěny nebo průvlaky). V případě menších modulových rozměrů lze vyrobit i čtvercové panely obousměrně pnuté ukládané po celém obvodu nebo podepírané lokálně v rozích.

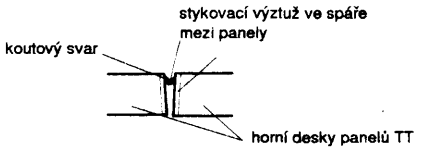
Průmyslová výroba panelů na speciálních linkách umožňuje jejich snadné *vylehčování a předepínání*. Tím lze dosáhnout velkých rozponů panelů (12 i více metrů). Omezení velikosti panelů (maximální šířka panelu < 2,4 někdy až 3,6 m), je dáno *transportními a manipulačními* možnostmi. *Hmotnost* dílce by měla odpovídat montážní technologii: 3 tunová, 5-ti tunová aj. Volba montážní technologie (návrh zdvihacího prostředku, doprava dílců aj.) vychází z hmotnosti nejtěžšího dílce. Z tohoto důvodu je snaha, aby hmotnost dílců v rámci zvolené technologie byla podobná a žádný z dílců nebyl výrazně těžší než ostatní.

[illegible] konstrukce by měla být vyskládána ze stropních panelů přibližně stejného stáří, tak aby [illegible] rozdílným průhybům v důsledku dotvarování.

Po vyskládání stropní konstrukce z panelů je třeba zajistit spolupůsobení dílců při přenášení svislých a vodorovných zatížení. Za tím účelem jsou boky panelů tvarované tak, aby po zalití stykovou maltou bylo zajištěno jejich vzájemné spolupůsobení. Do spár mezi panely se vkládá zálivková výztuž, která zajišťuje přenášení tahových a smykových namáhání ve stropní konstrukci a zajišťuje tak vytvoření tuhé stropní tabule. V případě žebrových panelů (TT) se horní desky vzájemně spojují svary prostřednictvím kotevních destiček při horním povrchu desky.

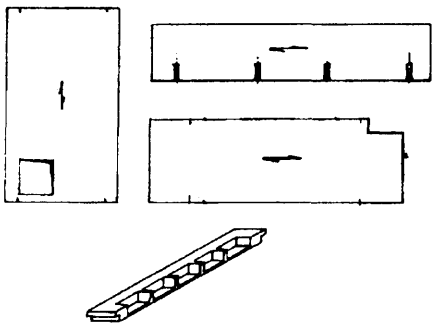


Podélný styk dutinových panelů



Styk TT panelů

Při použití prefabrikovaných dílců je třeba řešit otázku *vertikálních prostupů* stropem pro instalace. Na rozdíl od monolitických stropů, kde prostupy lze v konstrukci vynechat při betonáži, je třeba u prefabrikovaných stropů použít vhodných instalačních panelů nebo předem objednat atypickou úpravu prefabrikátů. Často se problém prostupů řeší i dobetonováním monolitickou částí stropu s vynecháním příslušných otvorů nebo ocelovými výměnami. Malé prostupy (průměru max. 100 - 180 mm) lze v případě dutinových panelů provést vysekáním mezi žebry.

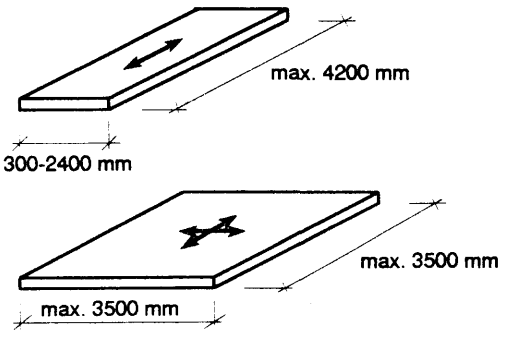

Typy instalačních panelů

Základní typy stropních panelů a jejich orientační dimenze	*max. rozpon (m)*	*tloušťky panelů (mm)*
plné železobetonové panely	4,2	65 - 160
železobetonové panely vylehčené		
- železobetonové panely dutinové	6,6	140 - 250
- železobetonové panely vylehčené keramickými vložkami	6,0	140 - 250
panely z předpjatého betonu		
- dutinové předpjaté panely	12,0 (20)	250-300 (400)
- předpjaté panely vylehčené keramickými vložkami	7,2	140 - 250
- žebrové předpjaté panely	24,0	300 - 750

Prefabrikované stropy z plných železobetonových panelů se používají zpravidla pro menší rozpony (do 4,2 m) a menší zatížení. Tloušťka plných panelů se pohybuje v závislosti na rozponu od 65 mm do 160 mm.

Jednosměrně pnuté panely se běžně vyrábějí se ve skladebných šířkách 300, 600, 1200, 1800 a 2400 mm. V případech prefabrikovaných stěnových soustav se vyrábějí i panely šířky 3000 mm (např. pro soustavu P1.11).

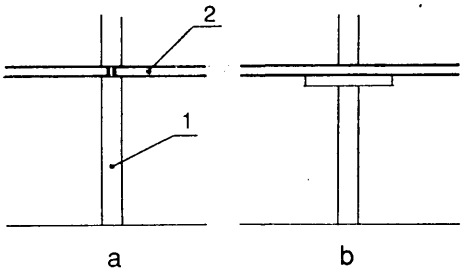
Obousměrně pnuté panely jsou zpravidla čtvercového nebo mírně obdélníkového tvaru s kratší stranou, která by z transportních důvodů neměla překročit 3,5 m. Toto omezení limituje základní modulaci systémů s obousměrně pnutými panely. Podepření obousměrně



Plné železobetonové panely jednosměrně a obousměrně pnuté

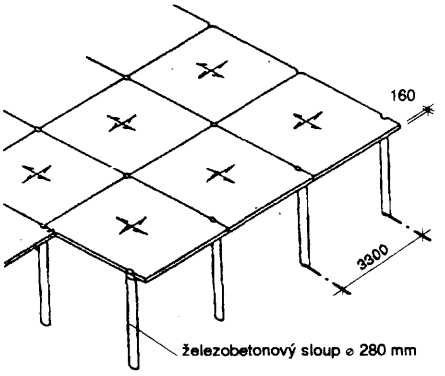
pnutých panelů po všech stranách vyžaduje vysoké nároky na rovinnost podpor i vlastních prefabrikátů tak, aby byl během montáže zajištěn dokonalý kontakt v uložení.

Deskové prefabrikované lokálně podepřené stropy mohou být řešeny buď (a) přímým podepřením rohů stropních panelů sloupy nebo (b) použitím prefabrikovaných deskových hlavic podporujících mezi vložené stropní panely (viz prefabrikované železobetonové stropy hřibové). Stejným způsobem lze realizovat deskové prefa-monolitické lokálně podepřené stropy (viz dále).

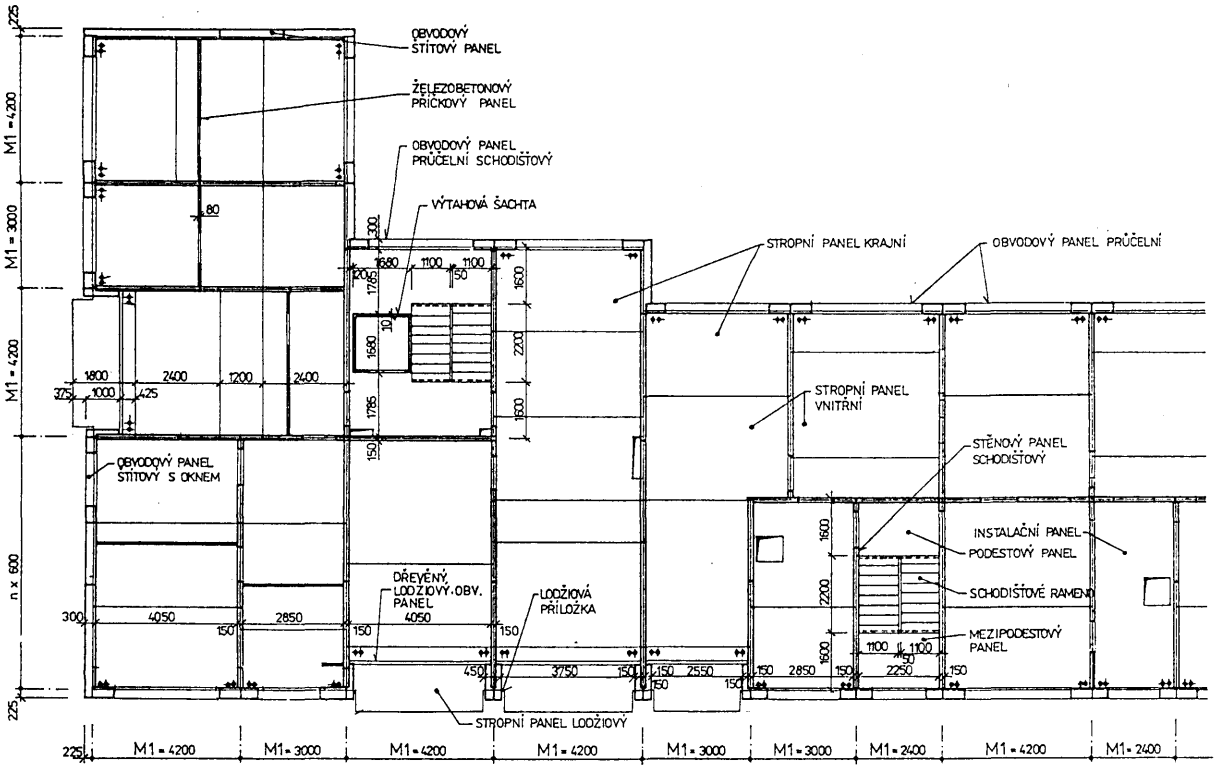


Lokálně podepřené prefabrikované stropní desky
1 - sloup, 2 - stropní panel

Obousměrně pnuté čtvercové panely rozměrů3x3 m až 3,38x3,38 m podepírané stěnami nebo v rozích byly u nás použity v různých alternativách prefabrikovaných soustav bytových domů realizovaných v 50-60-tých letech (vývojové soustavy G 58, G59 a PL60). Dalším příkladem je sloupový prefabrikovaný systém s obousměrně pnutými čtvercovými panely, které jsou lokálně podporované v rozích kruhovými sloupy průměru 280 mm. Stropní panely jsou rozměrů 3,3 m x 3,3 m x 0,16 m, krajní panely jsou obdélníkové, s jednou stranou delší o převislý konec. Systém se v současnosti používá pro bytovou výstavbu v Dánsku.



Prefabrikovaný systém s lokálně podepřenými obousměrně pnutými panely (Dánsko)

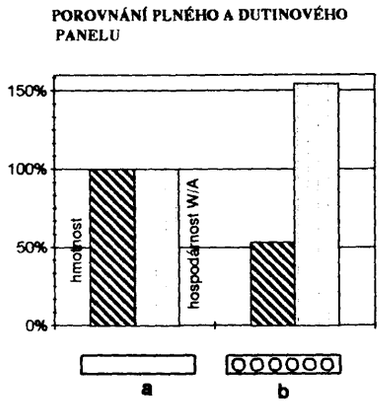


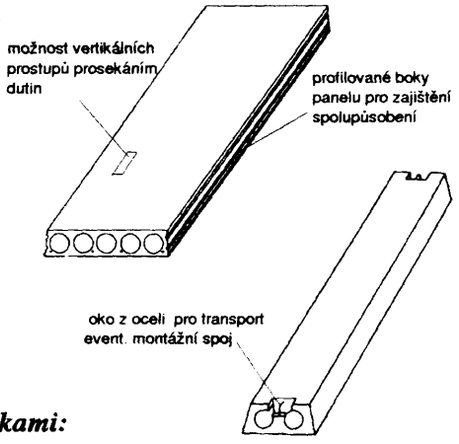
Skladba stropní konstrukce z plných železobetonových panelů tl. 150 mm (stavební soustava panelová malorozponová P1.11)
Stropní panely jsou šířky 1,2 až 5,4 m a délky odpovídající modulové vzdálenosti nosných stěn. Při návrhu skladby je snaha, aby v místnostech bylo minimum spár mezi panely. Panely jsou vzájemně propojeny svařením vyčnívající výztuže a vyplněním styku (boky panelů jsou profilované) zálivkovým betonem. Systém obsahuje instalační panely s prostupy o rozměrech 750x750 až 900x1200 mm. Některé panely jsou opatřeny elektroinstalačními dutinami. Stropní panely se ukládají na stěnové panely do maltového lože tl. 10 mm.

Prefabrikované stropy z železobetonových vylehčených panelů

- stropy z železobetonových dutinových panelů:

Za účelem snížení vlastní hmotnosti se pro větší rozpony panely vylehčují podélnými dutinami kruhového nebo oválného tvaru. Vzniká tak komůrkový průřez, který má hmotu výhodně rozloženou při okrajích a uprostřed v blízkosti neutrálné osy je průřez vylehčen. Vylehčením dojde nejenom ke snížení spotřeby materiálu a snížení namáhání panelu od vlastní tíhy, ale především má průřez výhodnější statické parametry. Na grafu je porovnání dutinového panelu (*b*) a plného panelu (*a*) o stejných vnějších rozměrech z hlediska vlastní tíhy a hospodárnosti využití materiálu vzhledem k tuhosti průřezu (poměr *W/A*). Z porovnání vyplývá, že dutinový panel je o cca 47 % lehčí (a tím i méně zatěžuje sebe i podporující konstrukce) a zároveň efektivnost využití betonu z hlediska tuhosti je o 54 % větší.



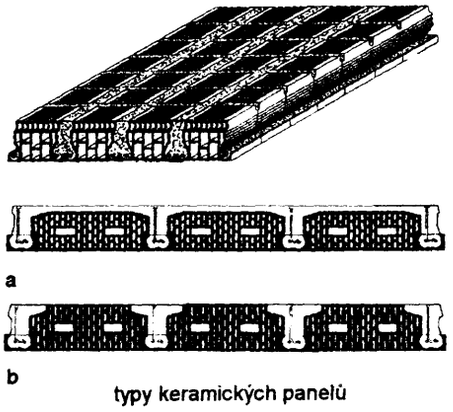


Dutiny v panelech lze využít pro vedení elektroinstalací a v případě potřeby lze provádět snadno menší vertikální prostupy stropem vysekáním dutiny mezi žebry.

Stropy z železobetonových dutinových panelů se používají až do rozponů 6,6 m. Tloušťky panelů se pohybují od 140 do 250 mm. Panely se vyrábějí jednosměrně vyztužené v šířkách 500, 600, 1000, 1200 a 2400 mm.

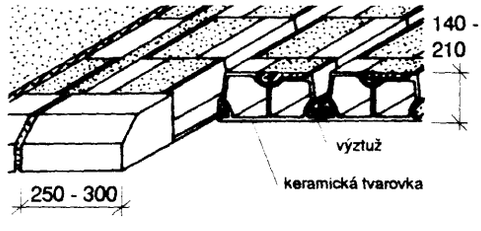
- stropy z železobetonových panelů vylehčenýchkeramickými vložkami:

Na stejném principu jsou založeny i panely pro jejichž vylehčení se používá keramických tvarovek. Vzniká tak železobetonová žebrová konstrukce s keramickou výplní mezi žebry (viz monolitické vložkové stropy). Takto vzniklé panely (v praxi označované jako *keramické panely*) mají spodní líc tvořený keramickými tvarovkami nebo je provedena definitivní úprava podhledu betonovou nebo omítkovou vrstvou. Na horním líci tvarovek je buď vybetonována železobetonová deska tl. 30-50 mm (*a*) nebo jsou keramické tvarovky na celou výšku panelu a železobetonová žebra jsou pouze mezi tvarovkami (*b*). Vzhledem k výplni z keramických dutinových tvarovek mají panely lepší tepelně technické vlastnosti ($R = 0{,}2$ až $0{,}35$ m^2KW^{-1}).



typy keramických panelů

Stropy z železobetonových panelů vylehčených keramickými vložkami se používají do rozponů 6,0 m v případě předepnutí výztuže mohou být použity i na větší rozpony (běžně do 7,2m). Tloušťky panelů se pohybují od 140 do 250 mm. Jednosměrně pnuté panely se vyrábějí v šířkách 250 do 3000 mm. Panely šířek 250 a 300 mm se v praxi nazývají *keramické povaly* a jejich skladba je shodná jako u železobetonových povalů.



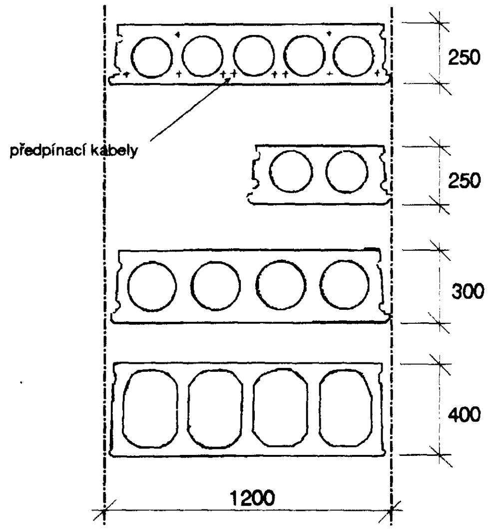
Strop z keramických povalů

Při použití keramických vložek pro kazetové obousměrné konstrukce (viz monolitické stropy vložkové) lze vyrábět i panely obousměrně pnuté. Stejně jako u obousměrných plných panelů je jejich maximální velikost limitována dopravními a manipulačními možnostmi.

Prefabrikované stropy z panelů z předpjatého betonu

- stropy z předpjatých dutinových panelů:

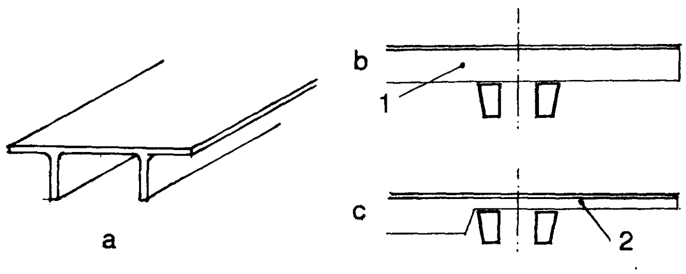
Průřez panelů je analogický s panely dutinovými nepředpjatými. Hlavní nosná výztuž panelů ve spodní a někdy i horní části průřezu je *předepnutá*. Vzhledem k předpětí lze prvky navrhovat na velké rozpony. U nás používané panely SPIROLL se vyrábějí v tloušťkách 250 a 300 mm do rozponů 12 m a připravuje se výroba panelů tl. 400 mm (panely PARTEK) s rozpony do 20 m. V rámci stěnových prefabrikovaných systémů T08B a VVÚ ETA se používaly elektroohřevem předpjaté železobetonové dutinové panely tl. 190 mm a šířky 600, 1200 a 2400 mm na rozpon 6,0 m. Panely jsou vzhledem k předpětí v nezatíženém stavu mírně prohnuté směrem nahoru. Po osazení panelu a jeho zatížení by se měl panel vzhledem k pružnému průhybu srovnat do roviny. Vliv na skutečnou výslednou deformaci má i stáří prvků vzhledem k dotvarování. Proto by měly být do konstrukce osazovány prvky přibližně stejného stáří.



Typické průřezy předpjatých dutinových panelů

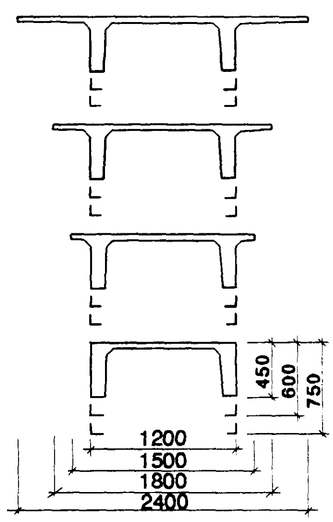
- stropy z žebrových předpjatých panelů:

Jsou vhodné pro velké rozpony (až do 30 m) a velká zatížení. Používají se na průmyslové objekty, zastřešení hal, obchodní domy apod. Panely mají nejčastěji tvar TT nebo obráceného tvaru U. Výška žeber je 300, 450, 600 nebo 750 mm. Šířka panelů se pohybuje od 1000 - 2400 mm. Tuhá stropní tabule se zajišťuje svařením stykových destiček na okrajích horní betonové desky.



Předpjatý žebrový stropní panel typuTT

a - axonometrie, b - uložení panelu na průvlak s možností vykonzolování u systému INTEGRO, c - uložení na snížené zhlaví, 1 - TT panel, 2 - snížené zhlaví

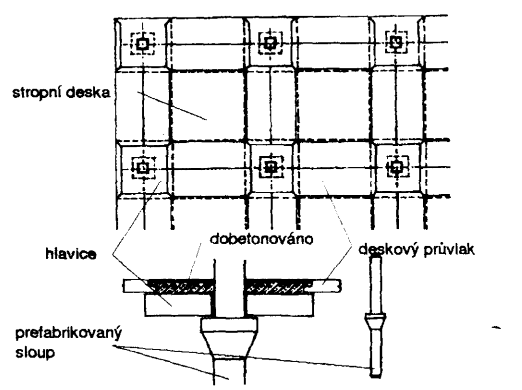


Typické průřezy předpjatých žebrových panelů typu TT a U

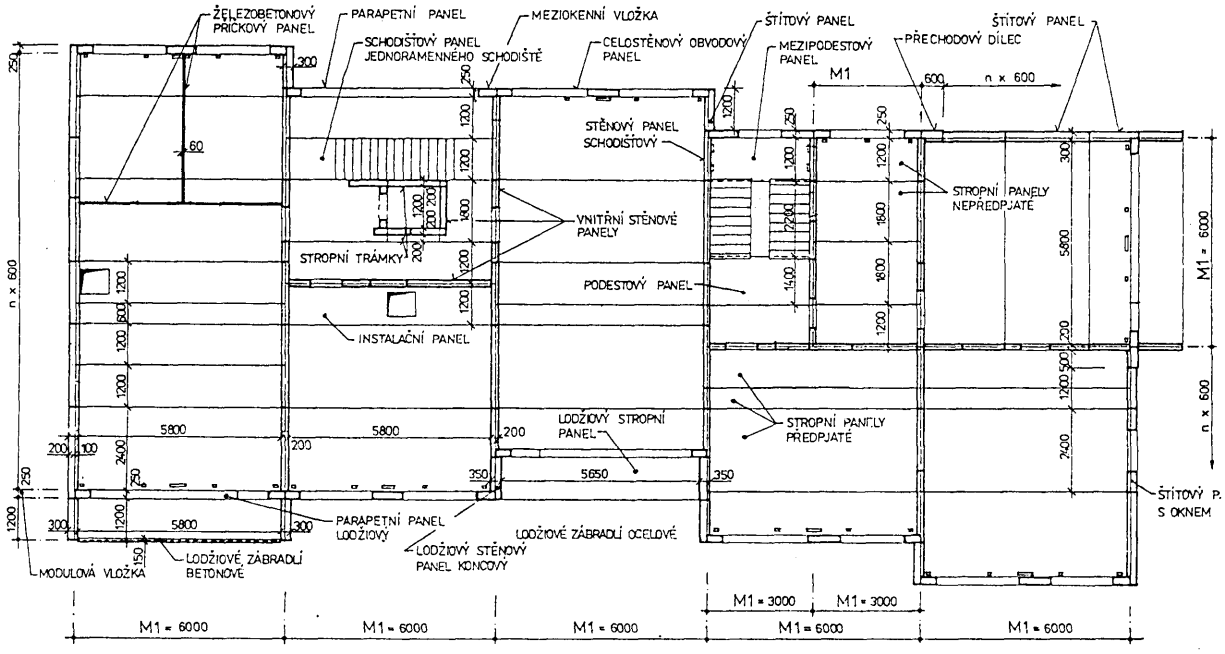
- **Prefabrikované železobetonové stropy hřibové**

…vané jednopodlažní sloupy jsou osazeny …é desky, které podepírají deskové …ou směrech. Mezi průvlaky je …žená deska. Prostor nad …alije betonem do …stém byl dříve …bě se vzhledem …ovnému podhledu

Sklad… (kové) …ximální
Stropní p…
panely. Par…
panely s pro…
maltového lož…
221



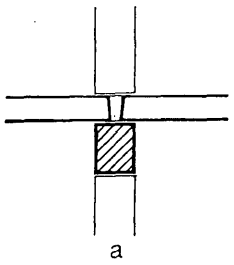
Prefabrikovaná hřibová stropní konstrukce



Skladba stropní konstrukce z dutinových železobetonových panelů ve středněrozponovém stěnovém systému VVÚ ETA

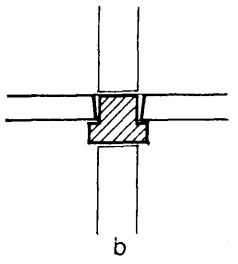
Stropní panely jsou železobetonové dutinové, tloušťky 190 mm, o modulových šířkách 600, 1200 a 2400 mm. Panely pro rozpon 6 m jsou předpjaté elektroohřevem, pro rozpon 3 m jsou nepředpjaté. Boky panelů jsou profilované pro zajištění spolupůsobení. Spojení stropních panelů je provedeno svařením vyčnívající výztuže ocelovými skobkami z betonářské oceli a vyplněním styku betonem. Systém obsahuje instalační panely s prostupy. Stropní panely se ukládají na vnitřní a štítové stěnové panely do vrstvy cementové malty tl. 25 mm.

■■ Prefabrikované průvlaky sloupových prefabrikovaných systémů

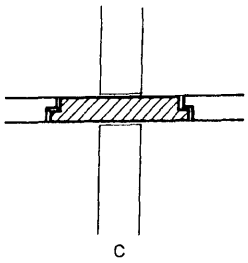


Základní součástí stropní konstrukce prefabrikovaných průvlakových systémů jsou průvlaky podepírající stropní desky tvořené stropními panely. Průvlaky se liší způsobem podepření panelů a jsou různého průřezu. Existují tři základní konstrukční typy:

- *Obdélníkové prefabrikované průvlaky* (a) zasahují svojí plnou staticky účinnou výškou pod stropní panely, které podepírají. V místě průvlakůje podstatně omezena světlá výška místností.



- *Průvlaky s úložnými ozuby pro stropní panely* (b) - průvlaky tzv. obráceného průřezu T. Průvlaky zasahují pod úroveň podhledu stropních panelů méně než v předchozím případě, protože část staticky účinné výšky průvlaku je "schována" v tloušťce stropní desky. Výhodou tohoto řešení je i jednotný způsob ukládání stropních panelů mezi sloupy i v místě sloupů.

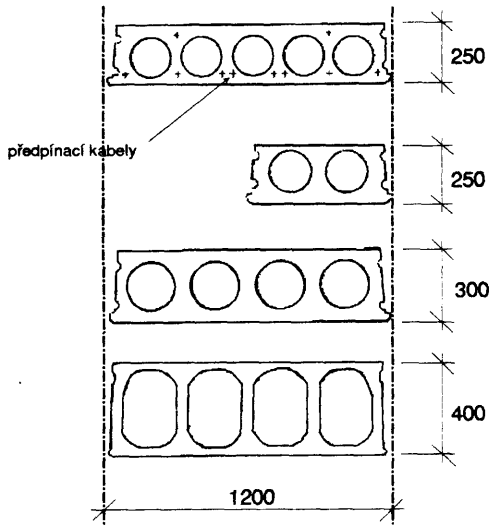


- *Deskové průvlaky* (c) shodné tloušťky jako stropní panely umožňují realizaci deskové prefabrikované konstrukce s rovným podhledem bez viditelných průvlaků. Stropní panely jsou opatřeny ozubem v tloušťce panelu. Výhodou tohoto řešení je nejenom rovný podhled a menší celková tloušťka deskové stropní konstrukce, ale i zmenšení namáhání prostě podepřených stropních panelů vzhledem k tomu, že jejich rozpon je zmenšen o šířku průvlaku. Naopak nevýhodou je malé rameno vnitřních sil v průřezu průvlaku.

Prefabrikované stropy z panelů z předpjatého betonu

- stropy z předpjatých dutinových panelů:

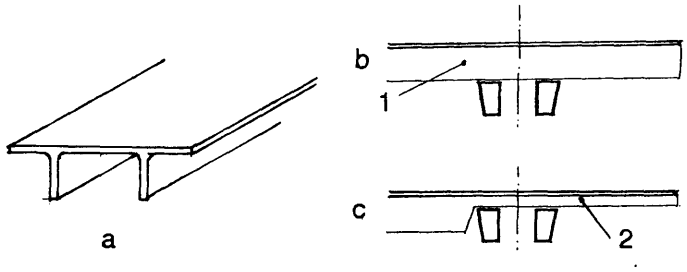
Průřez panelů je analogický s panely dutinovými nepředpjatými. Hlavní nosná výztuž panelů ve spodní a někdy i horní části průřezu je *předepnutá*. Vzhledem k předpětí lze prvky navrhovat na velké rozpony. U nás používané panely SPIROLL se vyrábějí v tloušťkách 250 a 300 mm do rozponů 12 m a připravuje se výroba panelů tl. 400 mm (panely PARTEK) s rozpony do 20 m. V rámci stěnových prefabrikovaných systémů T08B a VVÚ ETA se používaly elektroohřevem předpjaté železobetonové dutinové panely tl. 190 mm a šířky 600, 1200 a 2400 mm na rozpon 6,0 m. Panely jsou vzhledem k předpětí v nezatíženém stavu mírně prohnuté směrem nahoru. Po osazení panelu a jeho zatížení by se měl panel vzhledem k pružnému průhybu srovnat do roviny. Vliv na skutečnou výslednou deformaci má i stáří prvků vzhledem k dotvarování. Proto by měly být do konstrukce osazovány prvky přibližně stejného stáří.



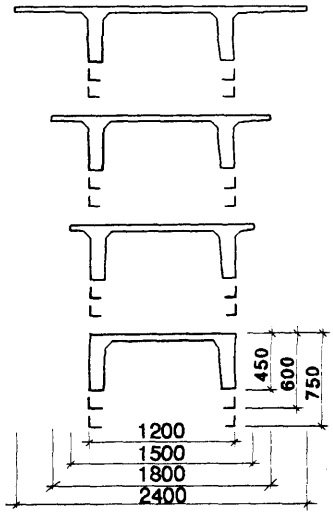
Typické průřezy předpjatých dutinových panelů

- stropy z žebrových předpjatých panelů:

Jsou vhodné pro velké rozpony (až do 30 m) a velká zatížení. Používají se na průmyslové objekty, zastřešení hal, obchodní domy apod. Panely mají nejčastěji tvar TT nebo obráceného tvaru U. Výška žeber je 300, 450, 600 nebo 750 mm. Šířka panelů se pohybuje od 1000 - 2400 mm. Tuhá stropní tabule se zajišťuje svařením stykových destiček na okrajích horní betonové desky.



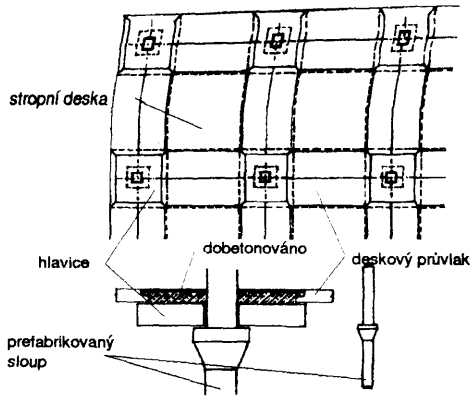
Předpjatý žebrový stropní panel typuTT
a - axonometrie, b - uložení panelu na průvlak s možností vykonzolování u systému INTEGRO, c - uložení na snížené zhlaví, 1 - TT panel, 2 - snížené zhlaví



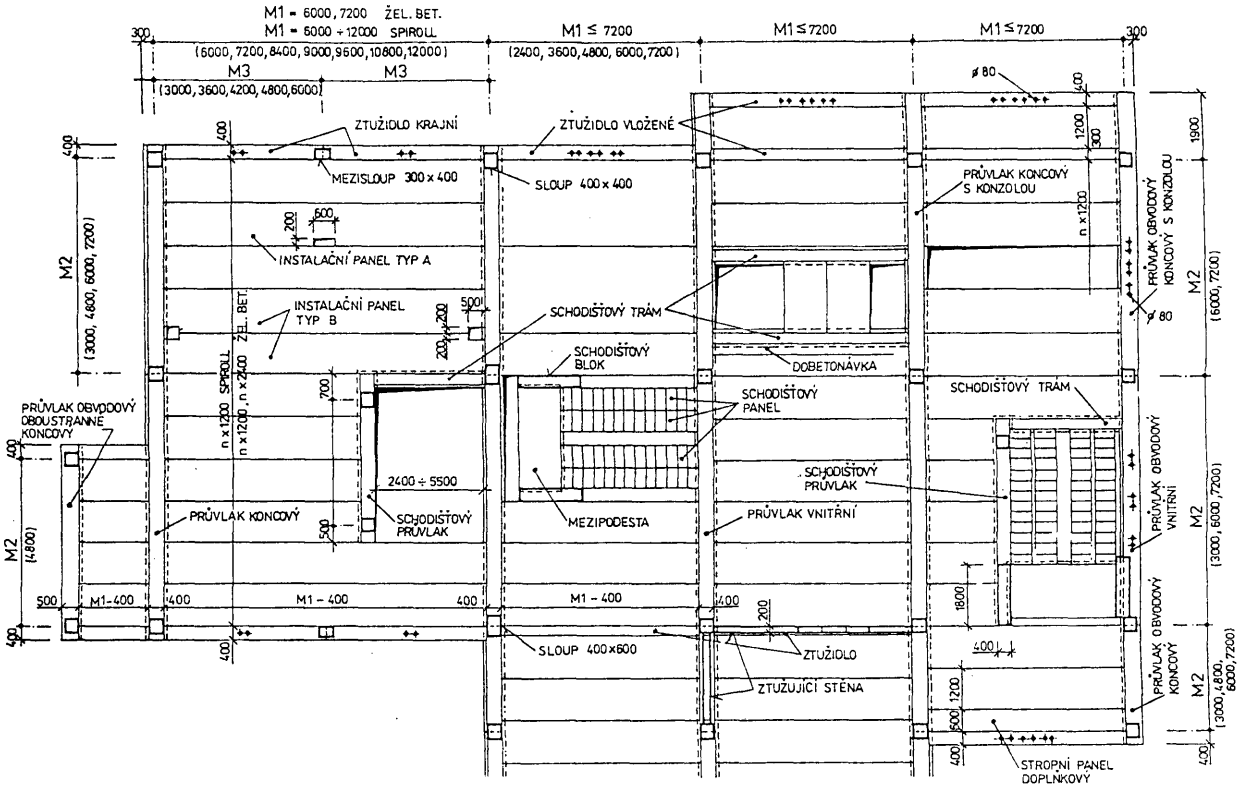
Typické průřezy předpjatých žebrových panelů typu TT a U

■■ *Prefabrikované železobetonové stropy hřibové*

Na prefabrikované jednopodlažní sloupy jsou osazeny čtvercové hlavicové desky, které podepírají deskové průvlaky orientované v obou směrech. Mezi průvlaky je osazena čtvercová křížem vyztužená deska. Prostor nad hlavicovou deskou se dodatečně zalije betonem do úrovně deskových průvlaků. Tento systém byl dříve používán v naší výstavbě. V současné době se vzhledem k poměrně komplikované montáži, nerovnému podhledu a malé variabilitě již nepoužívá.

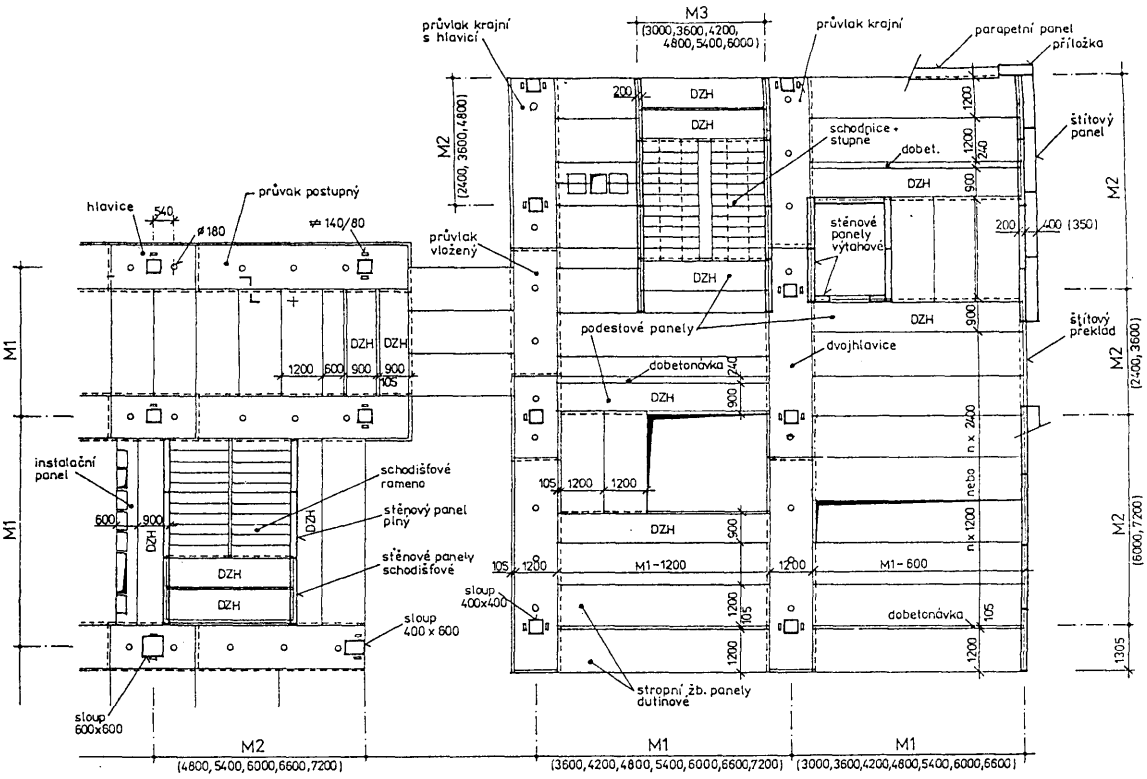


Prefabrikovaná hřibová stropní konstrukce



Skladba stropní konstrukce prefabrikovaného sloupového systému s průvlaky obrác. průřezu T (středněrozponová soustava S1.2)

Průvlaky jsou železobetonové, tyčové s průřezem obráceného T, výšky 440 mm a šířky v dolní části včetně ozubů 590 mm. Obvodové průvlaky jsou průřezu L opatřené kotvami pro připevnění obvodového pláště. Stykování průvlaků se provádí v ose vnitřních sloupů (tzv. Čapkovým stykem - viz C2). Průvlaky mohou být s konzolou s vyložením 1,9 m od osy sloupu. Na ozuby průvlaků jsou uložena obvodová ztužidla obdélníkového průřezu a stropní panely. Stropní panely jsou železobetonové dutinové, buď nepředpjaté tl. 250 mm, šířek 1,2 a 2,4 m, nebo předpjaté typu SPIROLL tl. 250 nebo 300 mm šířky 1,2 m. Sortiment je doplněn o panely šířky 0,6 m a o instalační panely.



Skladba deskové stropní konstrukce prefabrikovaného sloupového systému s deskovými průvlaky (soustava MS 71)

Průvlaky jsou plné železobetonové, deskové tl. 250 mm a modulové š. 1,2 m (1,4 vč. úložných ozubů). V čelech průvlaků jsou úložné ozuby pro vzájemné stykování průvlakových dílců (kloubové syky). Průvlaky jsou opatřeny zaslepenými prostupy pro instalace a otvory pro průchod stykovací výztuže sloupu. Stropní panely jsou železobetonové dutinové, tl. 250 mm a modulových šířek 0,6, 1,2 a 2,4 m. Doplňkový dílec š. 0,3 m je plný. Čela panelů jsou opatřena ozuby pro uložení na ozuby průvlaků nebo na stěny. Dutiny v panelech umožňují prosekání vertikálního prostupu průměru až 140 mm. Systém obsahuje i instalační železobetonové panely, z poloviny průřezu kazetové.

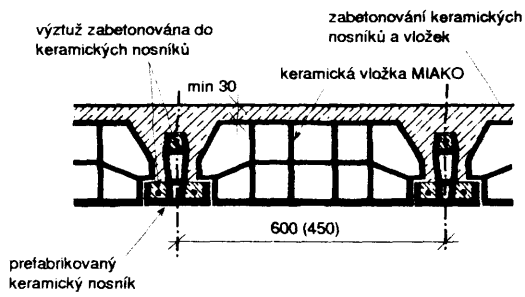
■ Prefa-monolitické železobetonové stropy

Prefa-monolitická konstrukce je konstrukcí kombinovanou z prefabrikované a části monolitické realizované in situ na stavbě s menšími nároky na staveništní pracnost. Prefabrikovaná část zpravidla vytváří bednění pro část monolitickou. V konečném stavu prefabrikovaná část spolupůsobí s monolitickou částí ve výsledné *spřažené konstrukci*. Prefa-monolitické konstrukce stropů tak eliminují nevýhody monolitických stropů (velká pracnost a cena bednění, značná staveništní pracnost při přípravě výztuže a dlouhá doba výstavby) a nevýhody prefabrikovaných stropů (velké dopravní náklady, nákladná manipulace na stavbě, zpravidla menší variabilita aj.). Proto jsou prefa-monolitické konstrukce v současné době značně rozšířenou technologickou variantou železobetonových konstrukcí.

■■ Prefa-monolitické železobetonové stropy z nosníků a vložek

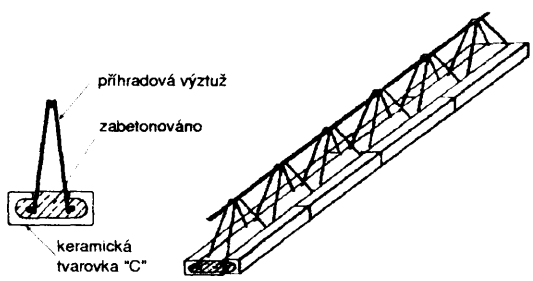
Základním nosným prvkem jsou prefabrikované nosníky, které se po osazení keramických nebo jiných vložek dobetonují a tím vznikne prefa-monolitický (často označovaný jako *polomontovaný*) žebrový strop schopný přenášet požadovaná zatížení.

Dříve rozšířeným typem stropu v rámci individuální výstavby byly keramické nosníky se zabetonovanou výztuží, na které se ukládaly tvarovky typu MIAKO. *Vzdálenost nosníků byla podle typu keramických vložek* 450 nebo 600 mm. Vzhledem k malé únosnosti keramických nosníků (problém smykové únosnosti keramických nosníků!) se tento typ stropu používal pouze pro menší rozpony (max. do 5,4 m) a pro malá zatížení.



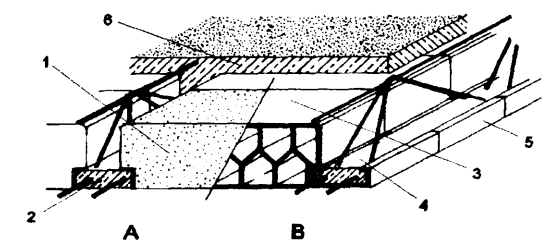
***Stropy vložkové se spřaženými prefabrikovanými nosníky** (typu "filigran"):*

Prefabrikovaný nosník je složen z betonové nebo keramicko betonové patky, do které je zabetonována hlavní nosná příhradová výztuž typu "filigran". Nosník je dimenzován pouze na manipulační zatížení. Po osazení na podpory se nosník provizorně podepře (zpravidla ve třetinách rozponu) a teprve po té se na nosníky osadí vložky a celá konstrukce se zabetonuje. Stejně jako v případě monolitických vložkových stropů se na tvarovky provede betonová krycí deska tl. 30 - 60 mm (*a*) nebo se použijí tzv. korunové tvarovky a žebra se zabetonují do úrovně horního líce tvarovek (*b*). Po dosažení potřebné pevnosti betonu se dočasné podepření nosníků odstraní. Systém nevyžaduje plošné podbednění stropu a tím je celá realizace rychlejší a levnější.



Prefabrikovaný nosník s výztuží typu "filigran"

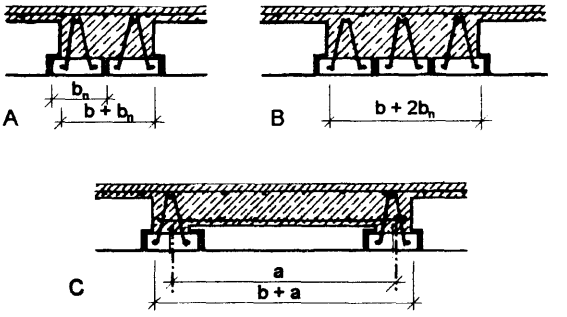
Na uvedeném principu se vyrábí celá řada nosníků a vložek pro různé rozpony, rozteče nosníků a zatížení. Tloušťky nosné konstrukce stropů se pohybují od 190 mm do 300 mm podle výšky tvarovek a výšky nabetonování. V závislosti na zatížení a tloušťce stropu lze tento typ konstrukce používat až do rozponů 7,5 i více metrů.



Prefa-monolitický vložkový strop

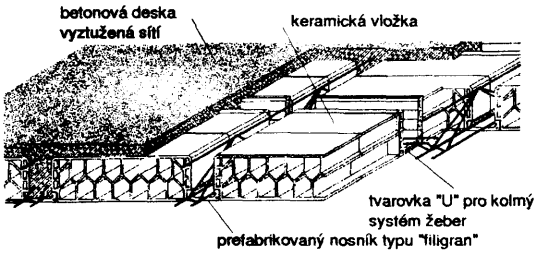
A - varianta s vložkami z pórobetonu, B - varianta s keramickými vložkami, 1 - pórobetonová vložka, 2 - nosník s příhradovou výztuží a betonovou patkou, 3 - keramická dutinová vložka, 4 - nosník s příhradovou výztuží a keramicko-betonovou patkou, 5 - keramická nosníková tvarovka, 6 - beton

V případě větších zatížení, např. pod příčkami lze nosníky zdvojit a vytvořit tak v konstrukci širší únosnější žebro (A, kde b - šířka běžného žebra, b_n - šířka nosníkové tvarovky). Použitím více nosníků vedle sebe vznikne deskový nosník umožňující vytvoření výměny resp. deskového průvlaku ve stropní konstrukci (B). Deskovou výměnu nebo zesílení stropu lze realizovat také pomocí nízké doplňkové vložky (C, kde a - osová vzdálenost žeber).



Konstrukční úpravy pro větší zatížení

Doplněním systému o tvarovku U lze realizovat obdobně jako v monolitické variantě obousměrné kazetové vložkové stropy. V jednom směru se umístí prefabrikované nosníky, na které se uloží běžné keramické vložky a doplní se o tvarovky U vytvářející bednění kolmých žeber. Výztuž kolmých žeber se musí provléknout příhradovou výztuží prefabrikovaných nosníků.

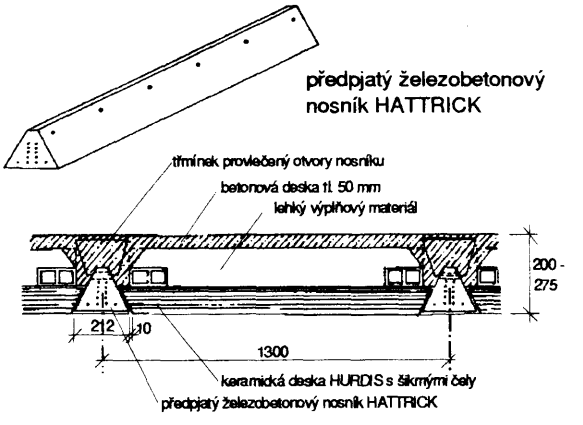


Prefa-monolitický kazetový strop ORTHO 2

Příklady stropních systémů s prefabrikovanými nosníky z prostorové příhradové výztuže (typu filigran)

typ	*tloušťka nosné kce stropu [mm]*	*osová vzdálenost nosníků [mm]*	*max. rozpon [m]*	
betonové nosníky + vložky z lehčeného betonu	*160* *200* *250* *300*	*625* *625* *625* *625*	*4.8* *6.2* *7,8* *9.3*	
betonové nosníky + vložky z lehčeného betonu	*200* *260*	*750* *750*	*6,2* *7.9*	
keramicko-betonové nosníky + keramické vložky	*190* *225* *275*	*450* *450* *450*	*5,4* *6,6* *7,8*	
keramicko-betonové nosníky + keramické vložky SRN - Schätz	*210* *240* *280*	*625* *625* *625*	*5,7* *6,2* *7,3*	

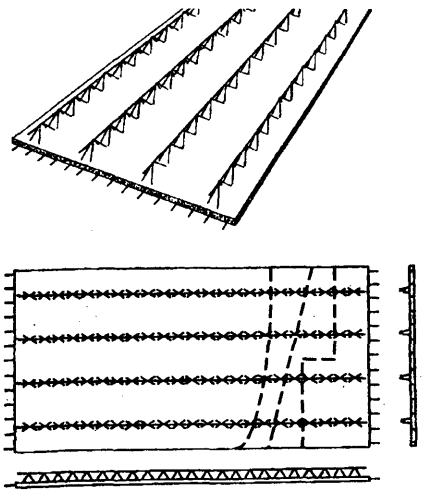
Stropy s předpjatými železobetonovými nosníky typu HATTRICK a vložkami HURDIS. Základním prvkem je předepnutý nosník ukládaný v osových vzdálenostech odpovídajících typu vložek HURDIS (tj. 1100, 1200 a 1300 mm). Nosník má při horním okraji příčné otvory, do nichž se zasunou třmínky sloužící ke spřažení s nabetonovanou částí nosníku. Nosníky se vyrábějí na světlé rozpony do 6,0 m a byly vyvinuty jako levnější náhrada běžně používaných válcovaných profilů I ve stropech typu HURDIS.



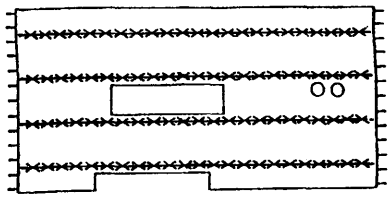
■■ Prefa-monolitické železobetonové stropy deskové

Prefa-monolitické železobetonové stropy spřažené deskové

Nevýhody monolitických deskových stropů (bednění, dlouhá doba výstavby aj.) a nevýhody prefabrikovaných konstrukcí (vysoké dopravní náklady, potřeba těžké mechanizace na stavbě) jsou eliminovány v konstrukčním systému *prefa-monolitických deskových spřažených stropů.* Nevýho-dou běžných prefabrikovaných panelů je zpravidla jejich omezená druhovost. Výroba prefabrikovaných desek pro prefamonolitické spřažené stropy (typu "filigran") je proto založena na maximální variabilitě tvaru. Výrobce zpravidla předepisuje pouze maximální délku a šířku prvku, přičemž vlastní půdorysný tvar může být libovolný (obdélník opsaný tvaru nesmí překročit maximální stanovené rozměry). Výhodou prefa-monolitické desky je i to, že nabetonovaná deska zajišťuje roznášení zatížení v rámci stropu a nemůže tak docházet k rozdílným průhybům jednotlivých desek (prefabrikované desky se před betonáží vyrovnají do roviny). Spodní líc desky má zpravidla vysokou kvalitu umožňující pouze provedení stěrkové omítky nebo pouhý povrchový nátěr. Pro uvedené výhody se staly prefa-monolitické deskové stropy typu "filigran" rozšířeným typem stropu v zahraničí i u nás.

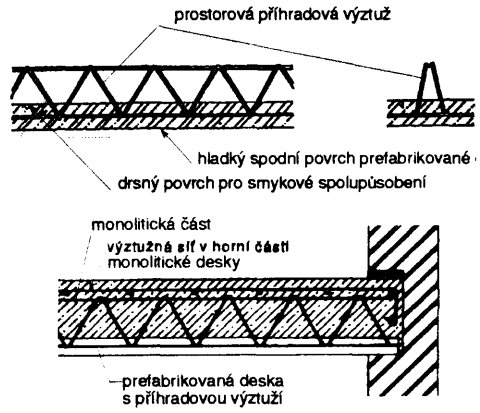


Variabilní možnosti tvarování čel prefabrikované desky

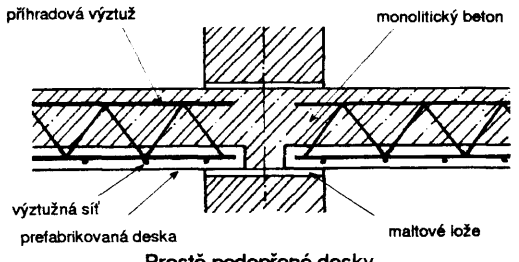


Možnosti řešení prostupů

Stropní konstrukce se skládá z *prefabrikované železobetonové desky* (slouží jako ztracené bednění), na kterou se na stavbě nabetonuje *horní monolitická část.* Prefabrikovaná deska má v sobě zabudovanou hlavní nosnou výztuž stropu, ze které vyčnívá *prostorová příhradová výztuž* (výztuž typu "filigran" - smykové žebříčky), která slouží ke spřažení prefabrikované části s částí monolitickou. Spřažení obou částí je zajištěno i drsným horním povrchem desky zajišťujícím smykové spolupůsobení. V některých případech jsou desky vyráběny bez prostorové výztuže a smykové spolupůsobení je zajištěno pouze drsným povrchem desky. Pro větší rozpony se používají předepjaté desky.

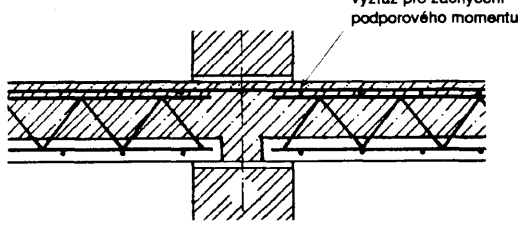


Prefabrikované desky mají tloušťku 60 až 100 mm. Maximální šířka a délka desek závisí na výrobci (max. šířka je zpravidla 2400 mm, maximální délka prvku se pohybuje od 7,2-7,6 m). Výsledná tloušťka spřažené desky se v závislosti na rozponu a zatížení pohybuje od 150 do 250 mm.



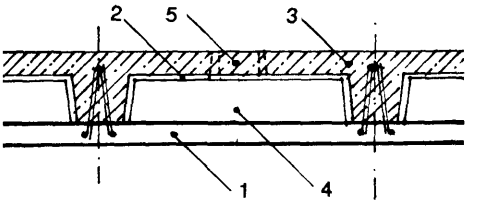
Prostě podepřené desky

Spřažená deska může podle způsobu uložení na podpory staticky působit jako prostě podepřená, vetknutá nebo spojitá. Spojitá nebo vetknutá deska se doplní v oblasti podpory horní výztuží uloženou v nabetonované monolitické části spřažené desky.



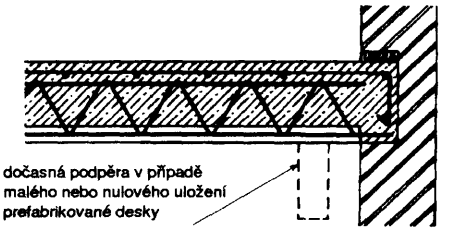
Spojitá deska nad vnitřní podporou

Pro větší rozpony lze prefa-monolitickou spřaženou stropní konstrukci vylehčovat vložením vylehčovací výplně do prostoru mezi příhradovou výztuží. Výplň může být z keramických tvarovek, impregnovaného kartonu, pěnových plastických hmot, recyklovaného plastu, nafukovacích hadic apod.



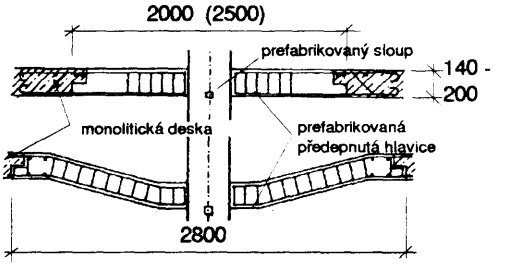
Deska vylehčená vložkou z recyklovaného plastu
1 - prefabrikovaná deska s výztuží filigran, 2 - skořepinová vložka z recyklovaného plastu, 3 - nabetonovaná monolitická část, 4 - průběžnou dutinu lze využít pro vedení instalací, 5- vstupní otvor do instalačního prostoru

Prafabrikované desky je třeba před betonáží dočasně podepřít zpravidla ve třetinách rozponu liniovými podporami. Pokud uložení desky na podpoře je menší než 75 mm je třeba desku podepřít i v líci nosných stěn. Prostupy do rozměrů 150x150 mm lze v místech mezi příhradovou výztuží prosekat v desce před betonáží, větší prostupy lze vyrobit přímo při výrobě prefabrikované desky.

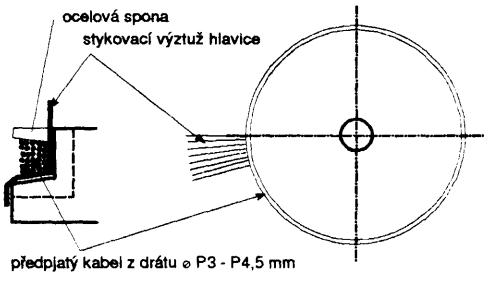


Prefamonolitické železobetonové stropy lokálně podepřené

Konstrukce prefamonolitických hřibových stropů je založená na kombinaci prefabrikovaných železobetonových předpjatých hlavic a monolitické desky vybetonované mezi hlavicemi. Za předpokladu správného návrhu vyztužení hlavice (posouzení na protlačení) může tento systém efektivně urychlit realizaci lokálně podepřeného deskového stropu.



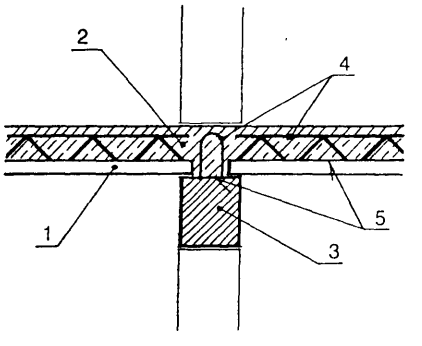
Na uvedeném principu byl založen konstrukční systém stropu, který byl u nás používán v 70-tých letech pod názvem "Wűnschovy hlavice". Teoretické předpoklady, že hlavice předepnutá ovinutou výztuží je schopná přenášet smyková namáhání (bránící protlačení) byly sice teoreticky prokázány, ale nedořešení uvedeného systému po stránce technologické vedlo ve výsledku ke kolapsu několika realizací a následnému průzkumu a rekonstrukci dalších staveb, které tento systém použily.



Konstrukční systém prefa-monolit

Prefa-monolitické průvlakové stropní konstrukce

Na principu prefa-monolitických konstrukcí je založena řada nových otevřených konstrukčních systémů. Otevřenost systémů umožňuje kombinaci prefabrikovaných, monolitických a prefa-monolitických železobetonových prvků. Stropy jsou často navrhovány jako prefa-monolitické s prefabrikovanými deskami typu "filigran". Stropní nosníky - průvlaky jsou prefa-monolitické spřažené, tvořené prefabrikovaným průvlakovým dílcem, na který jsou uloženy prefabrikované filigranové desky a po zabetonování horní monolitické části vznikne průvlak průřezu T.



Prefa-monolitický průvlak
1 - prefabrikovaná deska typu "filigran", 2 - monolitická nabetonovaná část, 3 - prefabrikovaný tyčový průvlak, 4 - výztuž zajišťující spřažení prefabrikované a monolitivké části, 5 - hrubý horní povrch prefabrikátu

OCELOVÉ A OCELOBETONOVÉ STROPY

F6

Steel and Composite Steel and Concrete Floor Structures
Stahldecken und Verbundbauwerk aus Stahl und Beton

Ocel je tradičním materiálem používaným pro stropní konstrukce nosníkového typu. Mnohem dříve než byl vynalezen železobeton se již používalo železných a litinových prvků pro konstrukce stropů. Válcované profily ze svářkového železa a později z oceli se používaly jako nosníky klenbových i dřevěných stropů. V současné době se kromě běžných ocelových nosníkových stropů používají ve velké míře spřažené ocelobetonové stropy z ocelových nosníků, ocelových profilovaných plechů a betonové desky.

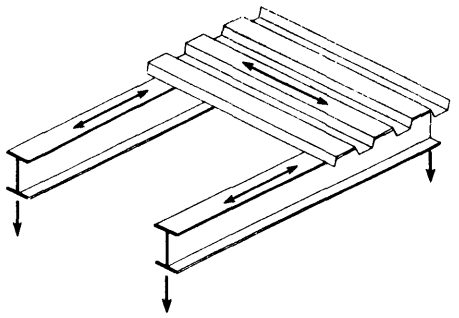
Výhodou ocelových stropů je jejich velká únosnost a malá hmotnost vlastní ocelové konstrukce, snadná a rychlá montáž a možnost snadné recyklace materiálu. Ocelové stropy se používají na velká rozpětí i zatížení. V případě *ocelobetonových spřažených stropů* je výhodně využito kombinace oceli pro přenášení především tahových namáhání v tažené části průřezu a betonu pro přenášení tlaku v tlačené části. Je tak optimálně využito vždy té materiálové vlastnosti, která je pro daný materiál výhodnější.

Nevýhodou ocelových stropů je především vyšší cena základního materiálu, malá protipožární odolnost a nutnost antikorozních úprav. Vzhledem k malé hmotnosti ocelových prvků má vlastní nosná konstrukce horší akustické vlastnosti. Kombinace s betonovou deskou v případě ocelobetonových stropů je tak výhodná i z akustického hlediska. Výroba konstrukčních prvků vyžaduje velmi detailní zpracování projektové a dílenské dokumentace.

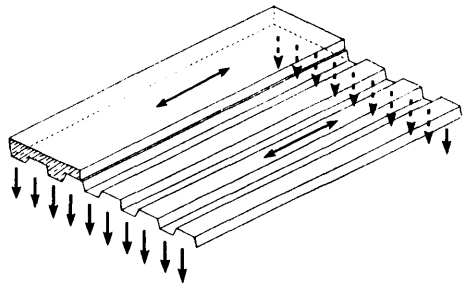
Konstrukce ocelových a ocelobetonových stropů

Konstrukčně lze ocelové a ocelobetonové stropy rozdělit na *nosníkové* a *deskové* konstrukce:

- ***nosníkové konstrukce:*** nosná konstrukce stropu je tvořena nosníky (stropnicemi), které podepírají stropní desku, nebo klenbu na malé rozpětí (0.9 až 3m). Nosníky mohou být buď *ocelové* (z válcovaných, příhradových nebo plnostěnných svařovaných profilů) nebo *spřažené ocelobetonové* (ocelový nosník spřažený prostřednictvím spřahujících trnů s nabetonovanou deskou). Deska může být tvořena ocelovým profilovaným plechem, železobetonovou deskou (monolitickou nebo prefabrikovanou), plechobetonovou deskou (betonová deska vybetonovaná do profilovaného plechu), keramickými nebo cihelnými deskami.



- ***deskové konstrukce:*** nosnou konstrukci tvoří ocelový profilovaný plech, který může přenášet veškerá zatížení - *ocelový deskový strop*, nebo spolupůsobí s nabetonovanou deskou - *ocelobetonové spřažené desky.* Často se používá i konstrukce, kde profilovaný plech je dimenzován pouze na nejnutnější montážní zatížení a funguje jako ztracené bednění železobetonové žebírkové desky.

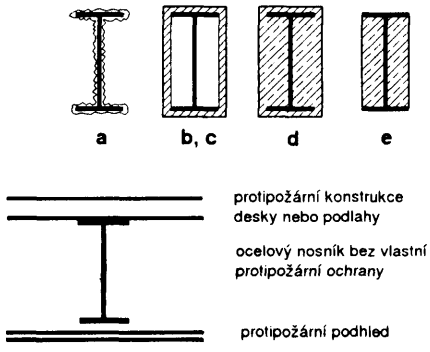


Výroba a montáž: Ocelové prvky se dopravují na stavbu v již zpravidla definitivních rozměrech a na stavbě se pouze montážně stykují svary, šrouby, nýty (nyní se již zpravidla nepoužívají). Složitější konstrukční části (příhradové nosníky aj.) se předem vyrobí ve výrobně a jako prefabrikovaný celek se dopraví k montáži na stavbu. Realizace na stavbě je tak rychlá a není omezena klimatickými podmínkami.

Koroze: Životnost ocelových konstrukcí je značně ovlivněna *korozí oceli.* I když stropní konstrukce nejsou bezprostředně vystaveny povětrnostním vlivům mohou korodovat působením atmosferické vlhkosti nebo v důsledku kondenzace vodní páry. Především v případech dřívějších staveb se často můžeme setkat se stropními nosníky procházejícími z vnějšího prostředí do vnitřní konstrukce stropu (např. u ocelových pavlačí). V zimním období docházelo na chladném povrchu těchto ocelových nosníků ke kondenzaci vodní páry a tím byla urychlena koroze nosníků i degradace okolních konstrukcí (dřevěných prvků, zdiva aj.) Z uvedených důvodů je třeba vždy provádět alespoň minimální antikorozní úpravu (např. základním antikorozním nátěrem aj.). V případě obetonování ocelové konstrukce působí betonová vrstva jako dostatečná antikorozní ochrana.

Protipožární ochrana: Ačkoliv je ocel materiál nehořlavý má z hlediska chování při požáru velmi negativní vlastnosti a ocelové konstrukce bez dostatečné protipožární ochrany jsou při požáru nebezpečné. Při teplotách vyšších než 350°C se pevnost materiálu začne rychle snižovat a při prohřátí na teplotu cca 500°C ocelová konstrukce vzhledem ke ztrátě pevnosti kolabuje. Nebezpečí zřícení je především u stropů, protože jsou při požáru nejvíce ohřívány od požáru v prostoru pod nimi. Dalším nebezpečím je i velká teplotní roztažnost, která může při velkém teplotním namáhání od požáru způsobit v důsledku protažení nosníku porušení svislých konstrukcí. U konstrukcí se zvýšeným nebezpečím vzniku požáru je proto výhodnější ocelové nosníky ukládat do svislé konstrukce tak, aby byl umožněn horizontální posun.

Nosné ocelové konstrukce stropů je z uvedených důvodů třeba chránit *protipožárními nástřiky* (*a*), *protipožárními obklady* (*b*), *omítnutím na pletivo* (*c*), *obetonováním* (*d*) nebo *zazděním* popř. *vybetonováním* profilu (*e*). Zabetonování ocelové konstrukce (např. u ocelobetonových stropních konstrukcí) zvyšuje protipožární odolnost stropu vzhledem k vysoké teplotní akumulační schopnosti betonu. Protipožární obklady a podhledy se dělají z deskových materiálů na bázi minerálních vláken, sádrokartonových desek aj.



Rozdělení ocelových a ocelobetonových stropů:

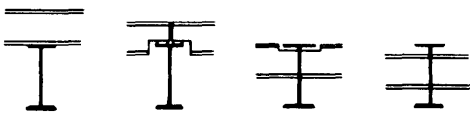
- ***ocelové stropy***
  - ocelové stropy z válcovaných nosníků
    - ocelové válcované nosníky s valenými klenbami
    - ocelové válcované nosníky s cihelnými deskami - Kleinův strop
    - ocelové válcované nosníky s keramickými deskami typu Hurdis
    - ocelové válcované nosníky s železobetonovými deskami
    - ocelové válcované nosníky s profilovanými plechy
  - ocelové stropy z plnostěnných svařovaných a příhradových nosníků
  - ocelové stropy deskové z profilovaných plechů
- ***ocelobetonové stropy***
  - ocelobetonové stropy se spřaženými nosníky
  - ocelobetonové stropy deskové spřažené z profilovaných plechů

■ Ocelové stropy

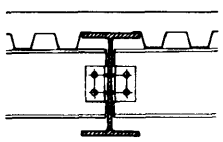
Hlavní nosnou konstrukci stropu tvoří ocelové prvky, ostatní části stropní konstrukce mají funkci ochrannou (protipožární, antikorozní), stavebně fyzikální (akustickou, tepelnětechnickou) a architektonickou (rovinnost podlahy a podhledu). Ocelové stropnice a průvlaky jsou buď plnostěnné (válcované nebo svařované profily) nebo příhradové.

Při posuzování stropnic i průvlaků je třeba zvážit možnost *klopení*. Spojení horní desky s ocelovým nosníkem by se mělo vždy navrhovat takové, které brání vybočení tlačeného pásu z roviny ohybu nebo zajišťuje průřez prutu proti pootočení v co nejkratších vzdálenostech. Nezajištění nosníků na klopení vede k neekonomickým návrhům. V případě větších rozponů při relativně menším zatížení bývá pro návrh dimenze *rozhodující mezní průhyb* a ocelový válcovaný průřez není zpravidla z hlediska napětí využit. Proto může být někdy v těchto případech výhodnější používat svařovaných nebo příhradových nosníků, u kterých lze optimálně navrhnout rozložení materiálu z hlediska tuhosti a únosnosti průřezu.

Ocelové nosníky se používají i jako *průvlaky na větší rozpětí* podepírající vlastní konstrukci stropu. Často jsou v kombinaci s jinými typy stropních konstrukcí - dřevěných, klenutých, železobetonových. Tohoto principu se často používalo již v dřívějších dobách především v případech větších rozponů místností nebo větších zatížení, kdy se na ocelové válcované nosníky osazované ve větších vzdálenostech (2,5 - 5,0 m) ukládaly dřevěné trámové stropy (viz kapitola F4).



poloha stropnic vzhledem k průvlaku

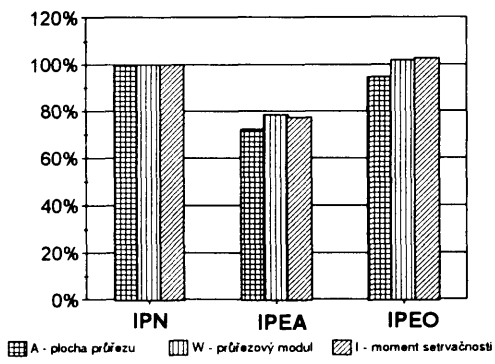


styk ocelového průvlaku se stropnicemi

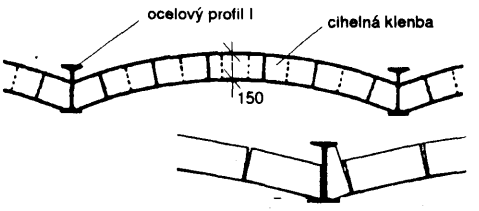
■■ Ocelové stropy z válcovaných nosníků

Stropnice jsou tvořeny válcovanými nosníky zpravidla průřezu I méně často průřezu U, na jejichž spodní nebo horní příruby se ukládají stropní desky. Vzdálenost stropnic závisí na konstrukci desky mezi nimi a pohybuje se od 0.9 m (v případě rovných kleneb) až do 3 m (u plechobetonových desek). Maximální rozpony stropů z ocelových válcovaných nosníků závisí na zatížení, osové vzdálenosti a dimenzi nosníků. Při větších výškách nosníků (cca > 300 mm) mohou být za určitých podmínek i rozpony větší než 9 metrů.

Při návrhu konstrukce je třeba podrobně specifikovat typ nosníku I, protože se vyrábí řada typů průřezů (IPN - klasický průřez dříve označovaný I, IPEA, IPEO aj.), majících při stejných výškách různé průřezové charakteristiky. Na grafu je znázorněno porovnání základních průřezových charakteristik nosníků shodné výšky 240 mm vzhledem k parametrům klasického profilu IPN (100 %). Je zřejmé, že nosník IPEA má sice menší spotřebu oceli, ale na druhé straně má o více než 20 % menší průřezový modul W a moment setrvačnosti I . Z toho vyplývá *nebezpečí záměny typů nosníků* během realizace, které by mohlo vést k poddimenzování konstrukce. Naopak nosníky IPEO mají menší spotřebu oceli při mírně zvětšené únosnosti. Při správném návrhu a použití jsou oba typy IPEA i IPEO hospodárnější než klasické IPN profily.

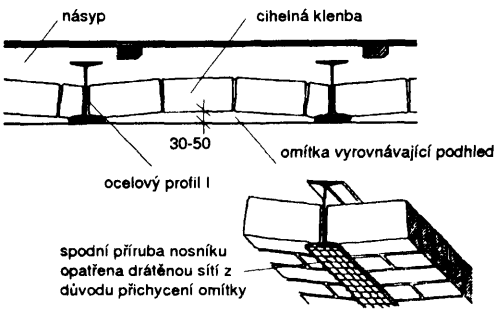


Ocelové stropy z válcovaných nosníků a kleneb. V dřívějších dobách se často používaly tradiční zděné klenby valené do ocelových nosníků v menších osových vzdálenostech (do 2 m). Klenby se opírají o spodní příruby I nosníků a zdily se v tloušťce 150 mm. Klenby byly zpravidla o malých vzepětích a bylo tak možné realizovat stropy s menší tloušťkou stropu než u klasických kleneb.



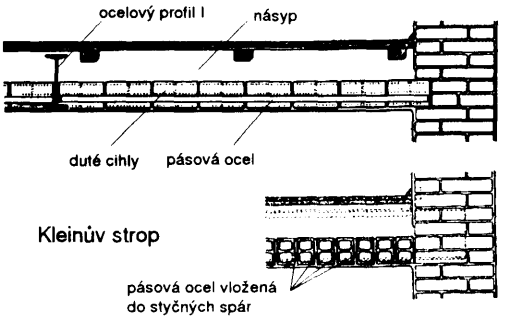
valené klenby do ocelových nosníků I

Při požadavku rovného podhledu se realizovaly tzv. ***přímé klenby***, u kterých bylo vzepětí minimální (30-50 mm) a vyrovnávalo se omítkou do rovného podhledu. Osová vzdálenost ocelových nosníků se pohybovala od 0.75 m do 1.25 m. Na obdobném principu byly vyvinuty i další typy stropů ze speciálních cihel umožňujících vyklenutí přímé klenby bez dalšího vyztužení (strop Hönelův, Försterův aj.).



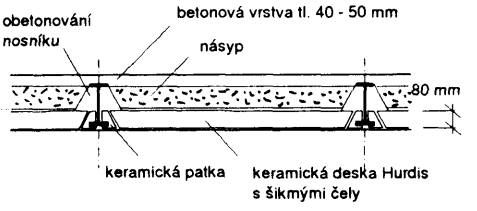
přímé klenby do ocelových nosníků I

Ocelový strop z válcovaných nosníků a cihelných desek - Kleinův strop. Mezi ocelové nosníky se na bednění vyzdila z plných cihel rovná deska tloušťky 65 až 150 mm vyztužená ve spodní části styčných spár pásovou ocelí průřezu 20/1 až 30/2 mm nebo kruhovým průřezem (⌀ 5-6 mm). Deska působí jako vyztužený cihelný průřez, ve kterém tahová napětí při spodním povrchu desky přenáší výztuž a tlaková namáhání cihly. Aby průřez takto staticky působil musí být výztuž pečlivě zalita cementovou maltou. Únosnost stropu se zvyšovala zabetonováním nosníků. Vzdálenost nosníků se v závislosti na zatížení a tloušťce cihelné desky pohybuje od 0.7 do 3 m.

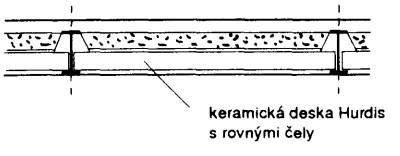


Ocelový strop s keramickými deskami typu Hurdis. Strop s deskami Hurdis byl vyvinut z přímých kleneb ve snaze zjednodušit realizaci přímých cihelných stropů ukládaných do ocelových profilů. Jde o tradiční konstrukci stropu, která se používá i v současnosti. Hurdiskový strop byl dříve velmi oblíbený pro svoji technologickou nenáročnost především v individuální bytové výstavbě. V současnosti se používá méně vzhledem k vyšším cenám oceli a vzhledem k velké pracnosti. Ocelové nosníky se někdy nahrazují železobetonovými spřaženými nosníky např. typu HATTRICK (viz F5).

Hlavní nosné prvky tvoří ocelové válcované nosníky I, na jejichž spodní příruby se osazují *keramické patky* a na ně na maltové lože *keramické dutinové desky Hurdis s šikmými čely. Desky s rovnými čely* se osazují přímo na spodní příruby nosníků. Desky Hurdis mají výšku 80 mm a vyrábějí se ve dvou šířkách 200 a 250 mm. Vzdálenost ocelových nosníků závisí na délce desek a je odstupňována po 100 mm od 900 do 1300 mm. Ocelové nosníky se po osazení desek musí obetonovat (zpevnění v uložení, ochrana proti korozi) a na desky se provede vrstva násypu (škvára aj.) nebo vrstva z lehkého betonu do výšky horních přírub nosníků. Nad nosníky se provede betonová vrstva tl. min. 40 mm. Aby byl strop dostatečně tuhý v horizontální rovině z hlediska přenášení vodorovných sil u vyšších objektů, je třeba desku provést v tl. min. 50 mm a vyztužit ji sítí přivařenou k nosníkům.

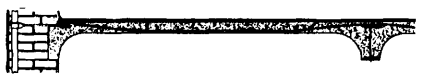


stropní konstrukce z ocelových nosníků a desek Hurdis do patek

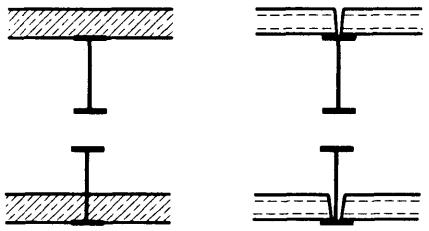


stropní konstrukce z ocelových nosníků a desek Hurdis s rovným čelem

Ocelové stropy z válcovaných nosníků a železobetonových desek. Na spodní nebo horní příruby ocelových nosníků se uloží *prefabrikované železobetonové dutinové desky* nebo se vybetonuje *železobetonová monolitická deska.* Prefabrikované desky jsou skladebné šířky 300 mm a délky 1,05 až 2,1 m. Tloušťka desek je 65, 70 nebo 90 mm. Monolitická deska se navrhuje v tloušťce přibližně 1/20 osové vzdálenosti nosníků (viz kapitola F5). Spodní příruby nosníků se překryjí drátěným pletivem tak, aby byly eliminovány poruchy na styku dvou rozdílných materiálů - ocel a beton. V případě umístění železobetonových desek na horní příruby nosníků lze provést zavěšený podhled z drátěného pletiva a omítky nebo lehký montovaný podhled ze sádrokartonových desek (viz F5).



Koenenův strop - historický typ stropu z ocelových nosníků a monolitických železobetonových desek



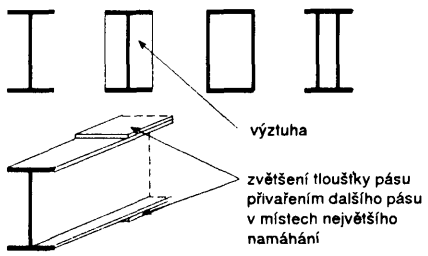
poloha železobetonových desek vzhledem k ocelové stropnici

Ocelové stropy z válcovaných nosníků a profilovaných plechů se v současnosti často používají pro svoji jednoduchost a univerzálnost. V závislosti na dimenzích plechu a na jeho funkci (nosná plechová deska, ztracené bednění železobetonové desky, součást spřažené plechobetonové konstrukce) může být deska realizována na různá rozpětí (od 1,5 do 4,0 m i více) a tím i různé vzdálenosti stropnic. Konstrukce desek z profilovaných plechů je dále popsána v kapitole "ocelové stropy deskové z profilovaných plechů". Profilované plechy by měly být připevněny k ocelovým stropnicím svary přes podložku, závitořeznými šrouby nebo trny (v průměrné vzdálenosti 300 mm), tak aby byly stropnice zajištěny proti klopení.

■■ Ocelové stropy z plnostěnných svařovaných a příhradových nosníků

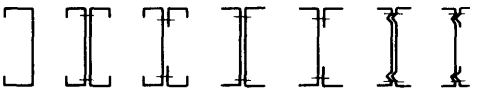
Únosnost ohýbaných nosníků je nejvíce ovlivněna hmotou soustředěnou v největší vzdálenosti od neutrální osy průřezu nosníku tj. v horním a spodním pásu. Část průřezu spojující pásy má funkci zajištění jejich spolupůsobení (svojí smykovou tuhostí) ale jinak má na únosnost menší vliv. Proto se průřezy *svařovaných* a *příhradových* nosníků navrhují nejčastěji tvaru, který se blíží průřezu I nebo uzavřeného skříňového průřezu. Vzhledem k menšímu statickému významu svislé stěny stropnice lze v ní provádět otvory vhodné pro vedení instalací přímo stropní konstrukcí. Na příruby stropnic se ukládají buď prefabrikované železobetonové desky nebo se provede plechobetonová stropní deska. Podhled může být klasický zavěšený omítaný na síti nebo lehké kostrové konstrukce opláštěné sádrokartonovými deskami. Plošná hmotnost těchto konstrukcí je zpravidla malá a proto je třeba do konstrukce stropu (na podhled) vkládat zvukovou izolaci - např. z desek z minerálních rohoží.

Ocelové stropy se svařovanými nosníky. Plnostěnné svařované nosníky lze navrhnout optimálně tak, aby byl z hlediska statického maximálně efektivně využit materiál průřezu. Velmi tenké svislé stěny je třeba vyztužit výztuhami. Horní i spodní pás je výhodné v nejvíce namáhaných částech stropnice (uprostřed rozpětí) zesílit navařením dalšího pásu. Těmito způsoby lze optimalizovat využití materiálu pro přenášení požadovaného zatížení. Uvedený přístup může být významný především v souvislosti se zvyšující se cenou základního materiálu - oceli. Je však třeba uvážit i vyšší pracnost uvedených úprav a s tím spojenou cenu práce.

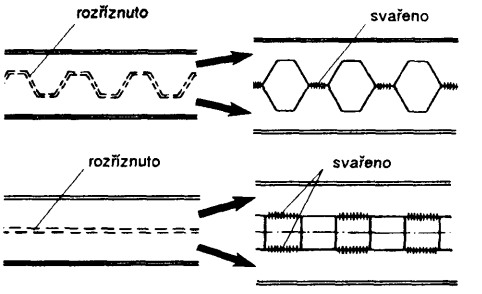


příklady svařovaných ocelových nosníků

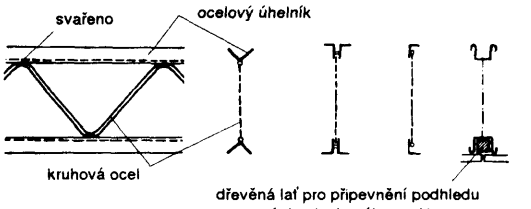
Pro návrh stropních konstrukcí se používá i *tenkostěnných stropnic z tvarovaných plechů*. Spojením plechových průřezů lze vytvořit různé typy tenkostěnných stropnic.



Alternativou svařovaných nosníků jsou ***nosníky prolamované*** vyrobené z válcovaných nosníků rozříznutých na dvě části a oba díly se proti sobě posunou a svaří ve výsledný prolamovaný nosník. Prolamovaný nosník má přibližně stejnou hmotnost jako výchozí válcovaný profil, ale jeho výška je výrazně větší a tím jsou i lepší statické parametry nosníku (*W* a *I*).



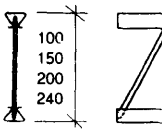
Ocelové stropy z příhradových nosníků. Horní i spodní pás stropních nosníků je vytvořen z úhelníků nebo z tenkostěnného plechového profilu, diagonály jsou z ploché nebo kruhové oceli. Výhodou příhradových nosníků je možnost vedení instalací stropem v obou směrech.



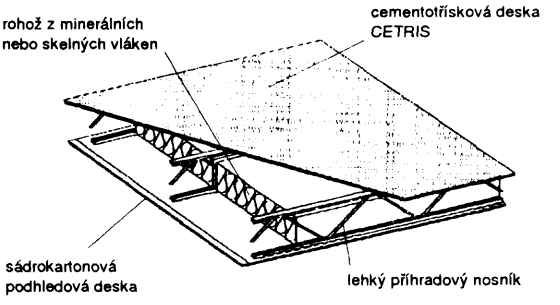
typy ocelových příhradových stropních nosníků

Konstrukce stropu je extrémně lehká i pro větší rozpony. Proto je třeba řešit otázku zvukové izolace doplňujícími vrstvami, které se z důvodu zajištění dostatečné vzduchové neprůzvučnosti musí často navrhovat hmotnější.

V současnosti se používají celé ocelové konstrukční systémy využívající lehkých ocelových příhradových nosníků nejenom pro konstrukci stropů ale i stěn a krovů. Příkladem je systém Simek, jehož základní konstrukční prvek je lehký příhradový nosník výšky 100 až 240 mm (nosník výšky 230 mm a délky 7,5 m má hmotnost pouze 20 kg). Horní a spodní pás je vyrobený z tvarovaných plechových profilů šířky 30 nebo 50 mm, diagonály jsou z kruhové ocele průměru 5 nebo 8 mm. Maximální délka nosníků je 12 m. Na příhradové stropnice v malých osových vzdálenostech (cca 400 - 500 mm) se ukládají dvě vrstvy cementotřískových podlahových desek CETRIS (tl. 2x16 mm). Podhled je tvořen sádrokartonovými deskami tl. 12,5 mm. Na podhledovou desku jsou uloženy rohože z minerálních vláken pro zlepšení akustických vlastností. Výhodou je rychlá a suchá montáž a minimalizovaná spotřeba ocele.

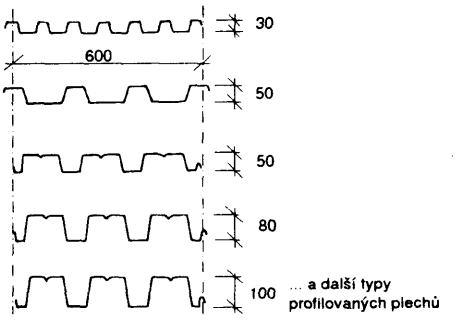


lehký příhradový nosník stystému SIMEK

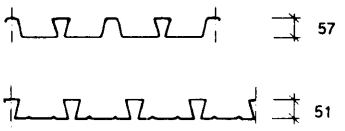


■■ Ocelové stropy deskové z profilovaných plechů

V současné době nejpoužívanější deskovou konstrukcí na bázi oceli jsou ocelové nebo ocelobetonové stropní desky z profilovaných plechů. Základním konstrukčním prvkem jsou profilované plechy tvarované za studena. Plechy mají malou hmotnost, snadno se dopravují a montují. Vlastní plech je velmi tenký (tl. 0,63-1,5 mm) a je zohýbán do desek s vlnami výšky 30-158 mm.



Skladebná šířka profilovaných plechů se pohybuje od 600 do 1000 mm. Plechy na sebe snadno navazují v příčném i v podélném směru (nastavení plechů překrytím). V závislosti na konstrukčním řešení, zatížení a dimenzích plechu lze realizovat stropní desky s profilovanými plechy až do rozponu 7,0 m.



profilované plechy se samosvorným průřezem

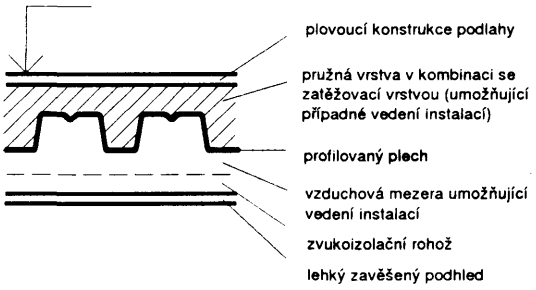
Stropní desky s profilovanými plechy se používají ve třech základních konstrukčních alternativách:

- *ocelový deskový strop:* profilované plechy přenášejí veškerá zatížení na ně působící, ostatní vrstvy mají jiné funkce a představují pro plech zatížení,

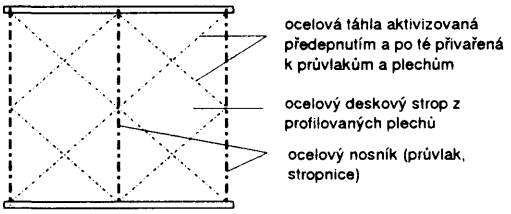
- *železobetonový strop vybetonovaný do profilovaných plechů*: profilované plechy slouží jako ztracené bednění železobetonového žebírkového stropu a jsou dimenzovány pouze na montážní zatížení (zatížení čerstvým betonem, výztuží a dalším nutným montážním zatížením během betonáže),

- *ocelobetonové spřažené desky:* profilovaný plech je upraven tak, že je zajištěno spolupůsobení s nabetonovanou deskou, plech se podílí na přenášení tahu, beton přenáší tlak.

Ocelové deskové stropy jsou výhodné v případech, kdy je požadována *suchá montáž stropu* např. z důvodu rychlosti výstavby, nebo u rekonstrukcí objektů, kde vlhkost od mokrého procesu by mohla aktivovat latentní stav dřevokazných hub ve stávajících dřevěných konstrukcích. Nevýhodou je nutnost dokonalé protipožární ochrany plechové konstrukce nástřiky a protipožárními podhledy. Ocelové deskové stropy (bez betonové vrstvy) jsou zpravidla velmi lehké, což může být pozitivní z hlediska zatížení ostatních konstrukcí (významné u rekonstrukcí). Na druhé straně je třeba řešit nepříznivé akustické parametry nosné konstrukce stropu dalšími vrstvami. Uvedený typ stropní konstrukce bez betonové vrstvy není tuhý v horizontální rovině. Tuhost lze do určité míry zajistit systémem diagonálního ztužení přivařeného k plechům nebo stropnicím.

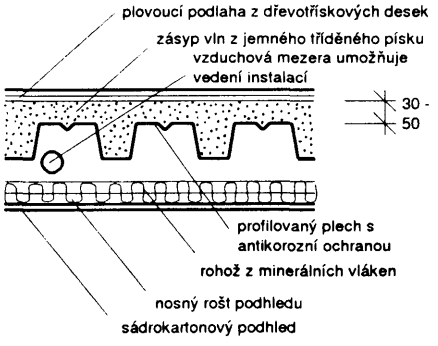


princip skladby ocelového deskového stropu



diagonální ztužení ocelového stropu bez monolitické betonové vrstvy

Na nosné profilované plechy se uloží dřevotřískové desky (např. desky CETRIS) přes pružnou podložku a vytvoří tak plovoucí konstrukci podlahy zajišťující kročejovou neprůzvučnost. Dřevotřískové podlahové desky mohou být uloženy i do zásypu vln, který se provede cca do úrovně 30-50 mm nad horní líc vln plechu. Zásyp svojí hmotností zvyšuje vzduchovou neprůzvučnost stropu. Na dřevotřískové desky se položí podlahová krytina nebo přilepí do tmelu dlažba. Podhled lze provést tradiční (zavěšená síť v rastru 500 x 500 mm s keramidovým pletivem a omítkou) nebo lehký kostrový podhled opláštěný sádrokartonovými deskami. Na podhled se ukládá vrstva zvukové izolace z rohoží z minerálních vláken.



varianta ocelového deskového stropu (skladba bez použití mokrého procesu)

Někdy se navrhují *ocelové deskové stropy*, u kterých je nosná část tvořena profilovanými plechy a vlny plechů jsou vyplněny betonem cca 30 až 60 mm nad úroveň plechů. Do betonové desky se vloží výztužná síť zajišťující tuhou stropní tabuli. Betonová deska v tomto případě staticky s plechem nespolupůsobí a působí jako *zatížení* profilovaného plechu. Uvedený typ konstrukce je výhodný pouze pro menší rozpony např. jako deska uložená na stropnicích na rozpon 1,5 až 2,5 m aj. Tato konstrukce má vzhledem k větší plošné hmotnosti lepší akustické parametry než předchozí varianta.

Výhodou ***železobetonových stropů vybetonovaných do profilovaných plechů*** je především urychlení realizace a ušetření nákladů za systémové bednění. Nevýhodou jsou náklady na plechovou konstrukci jejíž statické vlastnosti se ve finální konstrukci neuplatní. Výhodou je i to, že není třeba provádět protipožární ochranu plechu, protože ztráta pevnosti při teplotním zatížení od požáru nezpůsobí destrukci celé konstrukce stropu. Konstrukční řešení podlahové a podhledové konstrukce je v principu shodné s předchozím typem stropu. Vzhledem k mokrému procesu při vlastní betonáži stropu se může uplatnit konstrukce plovoucí podlahy s betonovou deskou tl. 40-50 mm uloženou na desce z minerálních vláken.

■ Ocelobetonové stropy

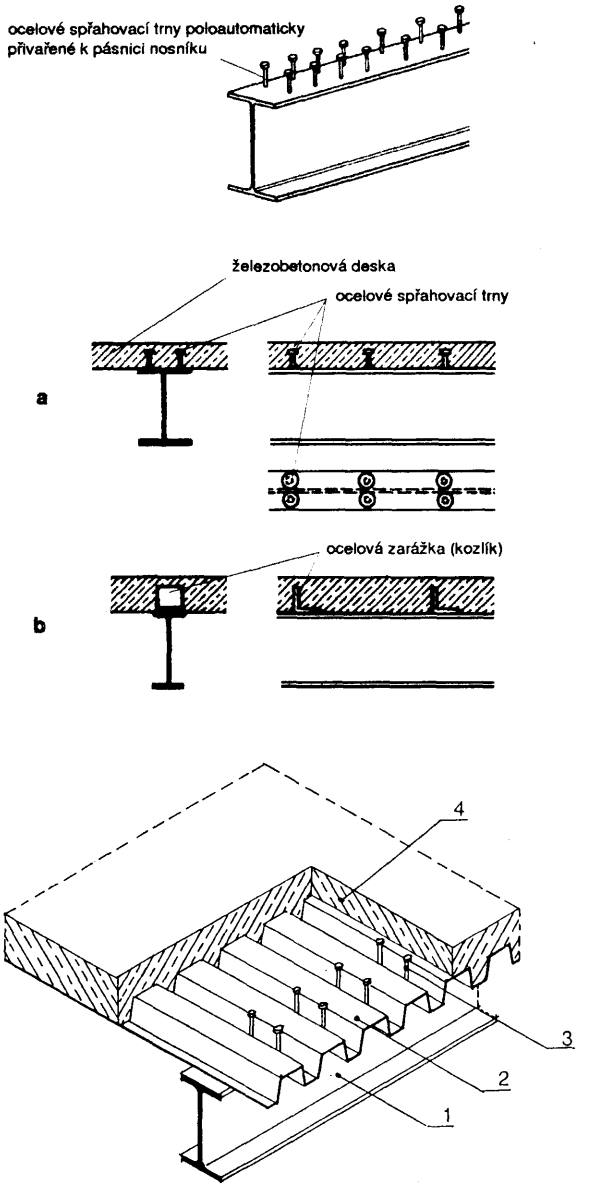
Ocelobetonové *spřažené* stropy vycházejí z principu spřažení ocelových prvků a železobetonové desky. V rámci složeného průřezu se využívá výborných vlastností oceli v tahu a betonu v tlaku. V případě ocelobetonových stropů jsou ocelové nosníky a plechy ve spodní části spřaženého průřezu a na ně se nabetonuje železobetonová deska. Stropní konstrukce je tuhá v horizontální rovině a je schopná zajistit distribuci vodorovných sil z hlediska prostorové tuhosti. Ocelobetonová konstrukce je tak vhodná i pro vícepodlažní a výškové objekty.

Spolupůsobení ocelové a betonové části lze zajistit spřahujícími prvky přenášejícími smyková namáhání:

- ocelové trny a zarážky,
- přivařená betonářská výztuž,
- výlisky v profilovaném plechu.

■■ Ocelobetonové stropy se spřaženými nosníky

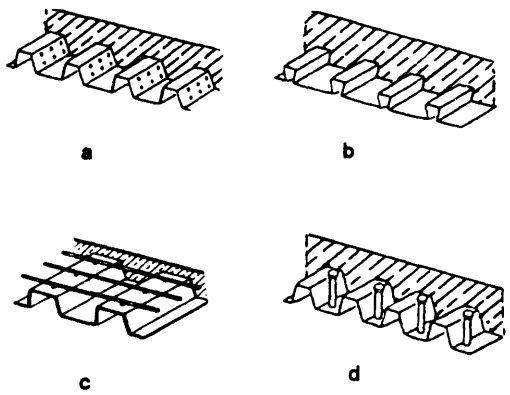
Pro spřažení se dříve používalo různých typů ocelových zarážek (kozlíků) (*b*). V současné době se převážně používají *ocelové spřahovací trny* (*a*) poloautomaticky přivařované přímo na horní pásnici nosníku. V případě zaklopení profilovanými plechy se trny přivařují přes plechy. Trny se umísťují v jedné nebo ve dvou řadách a ve vzdálenostech vycházejících ze statického výpočtu. Trny musí být nadimenzovány na celou smykovou sílu, nelze uvažovat ani s částečnou soudržností mezi ocelí a betonem. Po zabetonování vznikne spřažený ocelobetonový nosník T průřezu, ve kterém ocelový nosník přenáší tah a betonová deska se spolupodílí na přenášení tlaku v horní části průřezu. Vlastní konstrukce stropu - podlaha a podhled jsou obdobné jako u ostatních ocelových konstrukcí stropů.



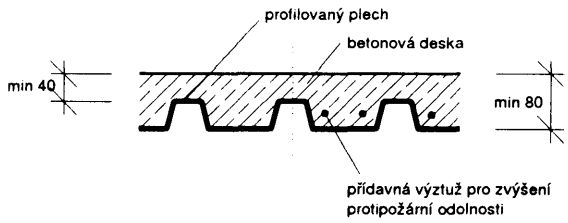
Spřažená ocelobetonová konstrukce
1 - ocelový nosník, 2 - profilovaný plech, 3 - ocelové spřahovací trny přivařené k pásnici nosníku, 4 - nabetonovaná deska

■■ Ocelobetonové stropy spřažené deskové z profilovaných plechů (plechobetonové desky)

Plechobetonová deska se skládá z profilovaného plechu a do něj vybetonované desky. Během montážního stavu přenáší plech zatížení od čerstvého betonu a další montážní zatížení a po zatvrdnutí betonu se profilovaný plech podílí na přenášení tahových namáhání a betonová deska tlakových namáhání spřaženého deskového průřezu. Spřažení mezi profilovaným plechem a železobetonovou deskou se zajišťuje buď prolisy v profilovaném plechu (*a*), třecím spojením u profilů se samosvorným průřezem (*b*) nebo výztužnou sítí navařenou na vlny plechů (*c*). Uvedené způsoby spřažení se doplňují o koncové kotvení plechů pomocí přivařených ocelových trnů (*d*) (nejlépe v místech ocelových nosníků). Technologickým problémem je vaření k tenkému plechu.



Minimální celková tloušťka spřažené plechobetonové desky je 80 mm, tloušťka betonu nad vlnami plechu je min. 40 mm. V případě potřeby zvýšení protipožární odolnosti se do vln desek vkládá přídavná výztuž. Spřažené ocelobetonové desky lze realizovat až do rozponů kolem 7 m.



Literatura a normy k bloku F

[1] Ambrose J.: *Building Structures*,John Wiley&Sons, 1993
[2] Cziesielski E. a kol.: *Lehrbuch der Hochbau-konstruktionen*,B.G.Teubner, Stuttgart 1990
[3] Červený F., Řehořovský K.: *Technický průvodce pro inženýry a stavitele, svazek I*, Praha 1915
[4] Hájek P.: *Konstrukce pozemních staveb - montované konstrukční systémy*, skriptum ČVUT, Praha 1988
[5] Hájek V. a kol.: *Pozemní stavitelství pro 2. ročník SPŠ*, Praha 1976
[6] Kohout J., Tobek A.: *Konstruktivní stavitelství I. díl - zednictví*, Jaroměř 1911
[7] Kohout J., Tobek A.: *Konstruktivní stavitelství II. díl - tesařství a stavební truhlářství*, Jaroměř 1916
[8] Kolektiv: *Konstrukce pozemních staveb*, Praha 1968
[9] Kuklík P.: *Dřevěné konstrukce II*, skriptum ČVUT, Praha 1995
[10] Marek P. a kol.: *Kovové konstrukce pozemních staveb*, SNTL Praha 1985
[11] Pume D., Čermák F. a kol.: *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*, Praha 1993
[12] Reid E.: *Understanding Buildings - A Multidisciplunary Approach*, Longman 1991
[13] Studnička J.: *Ocelobetonové konstrukce*, skriptum ČVUT Praha 1994
[14] Štafl A.: *Stavební řád pro Čechy*, Praha 1941
[15] Végh L. a kol.: *Betonové konstrukce*, Praha 1989
[16] *ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí*, 1986
[17] *ČSN 73 0532 Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - požadavky*, 1994
[18] *ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov*, 1994
[19] *ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb*
[20] *ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí*, 1986
[21] *ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí*, 1984
[22] *ČSN 73 1701 Navrhovanie drevených stavebných konštrukcií*, 1983
[23] *ČSN P ENV 1994-1-1 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí*, 1994
[24] Firemní podklady a prospekty výrobců

PŘEDSAZENÉ KONSTRUKCE

G

Overhanging Structures
Vorgesetzte Bauteile

G1 FUNKCE A POŽADAVKY	*Functions and Requirements*	*Funktion und Anforderungen*
■ Architektonická funkce a požadavky	*Architectural Function and Requirements*	*Architektonische Funktion und Anforderungen*
■ Statická funkce a požadavky	*Structural Function and Requirements*	*Statische Funktion und Anforderungen*
■ Vliv účinků objemových změn	*Effects of Volume Changes*	*Wirkungen der Volumenänderungen*
■ Tepelnětechnická funkce a požadavky	*Thermal Function and Requirements*	*Wärmeschutz-Funktion und Anforderungen*
■ Odolnost konstrukce vůči vnějším vlivům	*Resistance against Climatic Effects*	*Widerstandsfähigkeit der Konstruktion gegen Ausseneinflüsse*
■ Požadavky na požární bezpečnost	*Fire Safety Requirements*	*Brandschutz Anforderungen*
G2 PRINCIPY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	*Principles of Structural Solution*	*Prinzipien der konstruktiven Lösung*
■ Konzolové předsazené konstrukce	*Cantilevered Structures*	*Auskragende Konstruktionen*
■ Podepřené konstrukce	*Supported Structures*	*Unterstützte Konstruktionen*
■ Zavěšené konstrukce	*Hanging Structures*	*Aufgehängte Konstruktionen*
■ Přerušení tepelných mostů systémem ISO-nosníků	*Thermal Brake using System of ISO beams*	*Wärmebrückenfreie Konstruktion (Isokorb, ISO-träger)*
■ Ochrana před povětrnostními vlivy	*Protection against Climatic Effects*	*Schutz gegen Ausseneinflüsse*
G3 PŘEDSAZNÉ KONSTRUKCE - KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	*Overhanging Structures - Structural Design*	*Vorgesetzte Bauteile - konstruktives Entwerfen*
■ Balkony	*Balconies*	*Balkone*
■ Lodžie	*Recessed Balconies*	*Loggien*
■ Pavlače	*Galleries*	*Laubengänge*
■ Arkýře	*Oriels*	*Erker*
■ Římsy	*Cornices*	*Gesimse*
■ Markýzy a sluneční clony	*Pentices and Sun Screens*	*Marquisse und Sonnenschutzelemente*

Autor: Hájek P.

FUNKCE A POŽADAVKY

G1

Functions and Requirements
Funktion und Anforderungen

Předsazené konstrukce jsou charakteristické tím, že jejich konstrukce zasahuje do *vnějšího prostoru* (balkony, arkýře, pavlače, římsy aj.) nebo do většího *vnitřního prostoru* (balkony, římsy aj. v prostoru hlediště divadel, kin, hal, pasáží apod.) a působí tak na ně vlivy prostředí tohoto prostoru (teplota, vlhkost, sníh, vítr, chemické a biologické vlivy aj.). Předsazení konstrukce před hlavní nosnou konstrukci vyžaduje určitá specifická řešení jak po stránce konstrukčně statické, tak po stránce stavebně fyzikální. Jedním z dominantních problémů u konstrukcí předsazených do vnějšího prostoru je *omezení vzniku tepelného mostu* ve styku předsazené konstrukce s nosnou konstrukcí objektu. Tento požadavek je vedle *způsobu statického podepření* určující pro volbu a návrh konstrukčního řešení předsazené konstrukce.

Z hlediska účelu a funkce lze předsazené konstrukce rozdělit do následujících skupin:

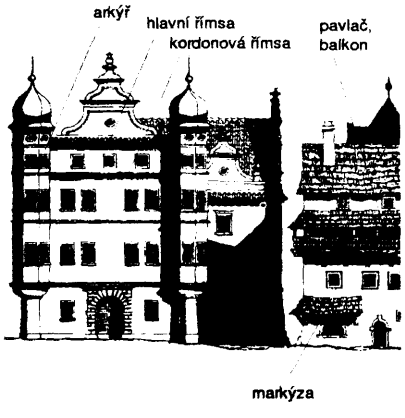
- balkony
- lodžie
- pavlače
- arkýře
- římsy
- markýzy a sluneční clony

Mezi předsazené konstrukce řadíme i konstrukce lodžií ačkoliv jsou buď částečně nebo úplně zapuštěné za líc roviny průčelí objektu. Důvodem je, že jsou stejně jako balkony nebo pavlače přímo vystaveny účinkům povětrnostních vlivů a principy konstrukčního řešení jsou tak obdobné. Kromě uvedených typů existují i další konstrukce předsazené před hlavní nosnou konstrukci jako jsou předložené schody, předsazené prosklené konstrukce (zimní zahrady), suterénní větrací a osvětlovací šachty apod., které mají některé společné vlastnosti a problémy vyplývající z bezprostředního působení okolního prostředí.

■ Architektonická funkce a požadavky

■■ Estetická funkce

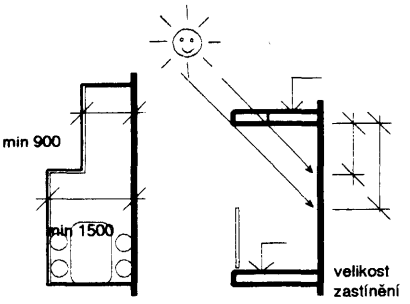
Předsazené konstrukce představují výrazný architektonický prvek stavby. Jsou prostředkem pro dotvoření vnějšího vzhledu budovy i interiéru. Římsy, balkony, arkýře i pavlače se hojně používaly i v historii nejenom z důvodů *provozně funkčních*, ale často především z důvodů *výtvarných a estetických*. V jednotlivých historických obdobích právě předsazené konstrukce nejvíce zdůrazňovaly architekturu staveb v souvislosti s jejich funkcí a důležitostí. Pomocí různě profilovaných říms, zdobených balkonů a arkýřů se vyjadřovala monumentálnost nebo střídmost jednotlivých slohů. Předsazené konstrukce umožňují i v současné moderní architektuře individuální plastické ztvárnění vnějšího vzhledu konstrukce (ať již v exteriéru nebo interiéru), při současné možnosti zachování jednoduchosti a efektivnosti hlavní nosné konstrukce objektu. Pro dotvoření architektonického vzhledu se využívá i lehkých konstrukcí markýz a slunečních clon.



■■ Provozní požadavky

Provozní požadavky se týkají předsazených konstrukcí, které umožňují přístup a pobyt lidí, případně umístění technologického zařízení. Kromě statických požadavků musí tyto konstrukce zajišťovat dostatečnou bezpečnost provozu.

Prostorové požadavky



Velikost vyložení balkonů, pavlačí a hloubky lodžií závisí na způsobu jejich využívání. Minimální hloubka by s ohledem na efektivní využívání neměla být menší než 0,9 m, běžná hloubka je 1,2 m. V případě požadavku využívání balkonu nebo lodžie i pro obytnou funkci - stolování v letním období, odpočinek aj. by však hloubka měla být větší - minimálně 1,5 m. V těchto případech je však třeba posoudit zastínění prostor předloženou konstrukcí v nižším podlaží. Z těchto důvodů je možné navrhovat tvary balkonů a lodžií rozšířených pouze v části určené ke stolování.

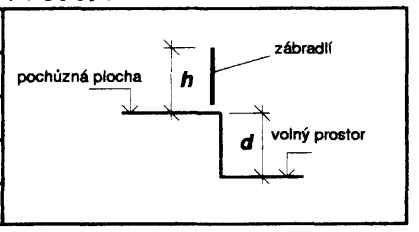
Šířka pavlačí závisí na uvažovaném provozu. V případě, že pavlač slouží jako hlavní domovní komunikace sloužící k přístupu k bytům v bytovém domě, je podle ČSN 73 4301 Obytné budovy stanovena minimální šířka 1100 mm a minimální podchodná výška 2,1 m.

Požadavky na zábradlí

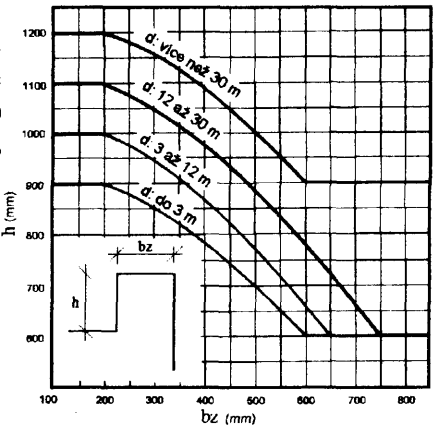
Na volných stranách balkonů, lodžií a pavlačí je třeba umístit *zábradlí*. V bytových domech a provozech určených pro děti má být zábradlí plné nebo s výplní tabulovou, sloupkovou či mřížovou ze svislých tyčových prvků tak, aby nebylo snadné jeho přelezení. Svislé mezery v zábradlí nesmějí být širší než 120 mm. U provozů určených pro děti mladší než 12 let je maximální šířka svislé mezery 80 mm. Základní výška zábradlí je 1000 mm, snížená výška je 900 mm. S rostoucí hloubkou volného prostoru pod přístupnou předsazenou konstrukcí se z důvodu pocitu bezpečnosti osob výška zábradlí zvětšuje.

Nejmenší dovolené výšky zábradlí pro balkony a pavlače podle ČSN 74 3305:

hloubka volného prostoru (d) [m]	*nejmenší výška zábradlí (h) [mm]*
$d \leq 3{,}0$	**900**
$3{,}0 < d \leq 12{,}0$	**1000**
$12{,}0 < d \leq 30{,}0$	**1100**
$d > 30{,}0$	**1200**



U bytových budov a budov občanského vybavení s výjimkou provozů určených pro děti (mateřské školy, školy, dětské nemocnice apod.) lze v případě větší šířky zábradlí v horní úrovni (více než 200 mm) redukovat výšku zábradlí v závislosti na hloubce volného prostoru podle grafu z ČSN 74 3305.



Horní plocha zábradlí nemá mít skon do volného prostoru. Pokud je horní plocha zábradlí na vnitřních balkonech (v kinech, divadlech, sálech) širší než 120 mm má by být upravena tak, aby z ní nemohly padat odložené předměty do volného prostoru pod balkonem.

Požadavky na povrchy podlah

Podlaha vnějších balkonů, lodžií a pavlačí by měla mít nášlapnou vrstvu s protiskluzovou a nenamrzavou úpravou. Tento požadavek je zásadní především u nezakrytých předsazených konstrukcí sloužících ke komunikaci (pavlače).

■ Statická funkce a požadavky

Předsazená konstrukce musí spolehlivě přenášet veškerá statická a dynamická zatížení v průběhu celé životnosti. Rozhodující druhy zatížení působící na předsazené konstrukce jsou:

- zatížení od vlastní hmotnosti
- zatížení od uvažovaného provozu (užitné zatížení)
- zatížení sněhem
- zatížení větrem
- zatížení teplotními změnami

Klimatická zatížení (sněhem, větrem a teplotou) se týkají pouze konstrukcí předsazených do vnějšího prostředí, bezprostředně vystavených účinkům povětrnosti. Hodnoty zatížení určené pro posouzení spolehlivosti konstrukce jsou stanoveny příslušnými normami pro zatížení stavebních konstrukcí.

Zatížení od vlastní hmotnosti

Zatížení od vlastní hmotnosti předsazené konstrukce představuje často největší složku zatížení. Především v případech vykonzolovaných konstrukcí na silikátové bázi je vlastní tíha rozhodující. Proto je vhodné volit takové materiály a konstrukční řešení, které minimalizují namáhání konstrukčních prvků vlastní předsazené konstrukce i celé nosné konstrukce od vlastní tíhy.

Pro konstrukce markýz, slunečních clon a ochranných říms se v současnosti často využívá lehkých zavěšených prvků na bázi kovů, plastů, dřeva a skla, zatěžujících hlavní nosnou konstrukci objektu v minimální míře. Naopak v některých případech předsazených konstrukcí spojitě vykonzolovaných ze stropní konstrukce může vlastní tíha konzoly pozitivně ovlivnit průběh ohybových momentů v přilehlém vnitřním poli stropu.

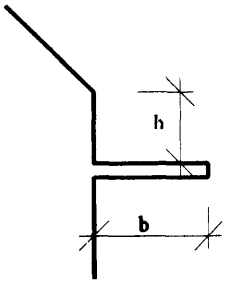
Užitná zatížení

Užitné zatížení podlah balkonů je podle ENV 1991-2-1 minimálně ***4,0 kN.m^{-2}***. V případě, že balkon navazuje na provoz s větším užitným zatížením, uvažuje se užitné zatížení stejné jako v tomto provozu (viz kapitola F1). Stejně tak pro podlahy v arkýři se uvažují hodnoty shodné s navazujícím vnitřním prostorem. Užitná zatížení podlah pavlačí odpovídají uvažovanému provozu na pavlači (chodba aj.).

Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je třeba uvažovat na markýzách, římsách, střechách arkýřů a dalších nekrytých předsazených konstrukcích (nezakrytých balkonech, lodžiích a pavlačích) plnou hodnotou jako u plochých střech nebo jako zatížení vzniklé návějí. Pro návrh je rozhodující to z uvedených zatížení, které vyvozuje větší účinek na konstrukci. Zatížení sněhem se stanoví podle ENV 1991-2-3.

V případech markýz, říms a balkonů přečnívajících před líc obvodové stěny je třeba kromě běžného zatížení od sněhu uvažovat i zatížení od sněhu převislého přes okraj, přičemž se předpokládá, že působí jako přímkové zatížení na okraji.

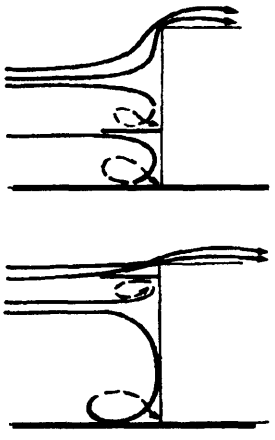


Kumulace sněhu v návěji je způsobena přesunem sněhu působením větru, eventuálně sklouznutím sněhu na předsazenou konstrukci z vyšší úrovně střechy. Délka návěje se uvažuje podle ENV 1991-2-3 jako dvojnásobek výšky překážky *h* , přičemž nesmí být menší než 5 m a větší než 15 m (v běžných případech je vyložení předsazených konstrukcí *b* menší než 5 m a návěj tak bude zatěžovat celou plochu). V případě krytých předsazených konstrukcí (lodžií apod.) je třeba posoudit míru zabránění kumulace sněhu větrem v prostoru kryté předsazené konstrukce a zatížení sněhem příslušně upravit.

Zatížení větrem

Vystupující i zapuštěné konstrukce vzhledem k rovině opláštění budovy ovlivňují obtékání objektu vzdušným proudem a dochází ke zvýšení turbulence větrného proudu. Tím dochází (i) ke *zvýšení celkového zatížení objektu* a (ii) *zvýšení namáhání předsazených konstrukcí* od působícího větru.

Zatížení větrem jsou proměnná v čase. Působí na vnější povrchy i na vnitřní povrchy otevřených konstrukcí kladným tlakem (tlak působící kolmo směrem k povrchu) nebo záporným tlakem (sáním - působícím kolmo směrem od povrchu). Velikost těchto tlaků je závislá na rychlosti větru v určitém typu terénu.



Na bočních stěnách balkonů a lodžií u okrajů budovy na návětrné straně může zatížení větrem dosáhnout v důsledku turbulence větrného proudu až dvojnásobku základního zatížení větrem. Zatížení větrem působící na zastropení balkonů, lodžií a pavlačí v nejvyšším podlaží může dosahovat až 2,5 násobku základního zatížení větrem. Základní zatížení větrem se stanoví podle ENV 1991-2-4 v závislosti na typu terénu, výšce nad zemí a velikosti zatížené plochy konstrukce.

vliv předsazené konstrukce na proudění vzduchu

Horizontální zatížení zábradlí

Horizontální zatížení zábradlí od osob se uvažuje jako přímkové zatížení působící ve vodorovném směru ve výšce zábradlí, ne však výše než 1,2 m.

Horizontální zatížení zábradlí v různých provozech podle ENV 1991-2-1:

Plochy pro domácí a obytnou funkci v obytných budovách, nemocnicích, hotelech, ubytovnách aj.	***0,5 kN/m***
Kancelářské provozy, školy, kavárny, restaurace, jídelny, čítárny aj.	***1,0 kN/m***
Kostely, divadla, kina, zasedací místnosti, čekárny, muzea, výstavní síně, veřejné plochy v hotelích, taneční sály, tělocvičny, obchodní plochy aj.	***1,5 kN/m***
Koncertní haly, sportovní haly, tribuny	***3,0 kN/m***

■ Vliv účinků objemových změn

Vnější předsazené konstrukce jsou bezprostředně vystaveny cyklickým změnám vnějších teplot v čase, v průběhu dne a roku a změnám vlhkosti. Měnící se teplota i měnící se vlhkost způsobují objemové změny konstrukčních prvků (změny rozměrů) - viz také kapitola D1.

■■ Objemové změny vlivem změn teplot

Velikost zatížení konstrukce teplotou závisí na teplotě vnějšího vzduchu, vlivu působení slunečního záření (s přímou a difúzní složkou) na povrch konstrukce a na proudění vzduchu. Teplotu na vnějším povrchu prvku lze zjednodušeně vyjádřit ekvivalentní sluneční teplotou (viz kapitola D1). Zatížení teplotními změnami je největší u konstrukcí orientovaných na jihozápad, jih a západ a menší při orientaci směrem k severu a severovýchodu. V případě pevného upnutí prvku neumožňujícího volnou dilataci dochází ke vzniku napětí v konstrukčním materiálu, které může způsobit porušení prvku trhlinami.

■■ Objemové změny vlivem změn vlhkosti

Vnější předsazené konstrukce (balkony, lodžie, římsy, markýzy) jsou vystaveny působení atmosférické vlhkosti a přímému působení srážkové vody. V důsledku transportu vlhkosti do konstrukce dochází u řady materiálů k objemovým změnám a ke změnám mechanicko-fyzikálních vlastností. Vliv vlhkosti je významný především u dřevěných konstrukcí, u kterých dochází k výrazným objemovým změnám (bobtnání) a v důsledku zvýšené vlhkosti k nebezpečné mikrobiální korozi (napadení dřevokaznými škůdci. Pro omezení negativních vlivů vlhkosti je důležité provedení vhodných povrchových úprav (hydroizolačních vrstev a izolačních nátěrů) zamezujících vnikání vlhkosti do konstrukce.

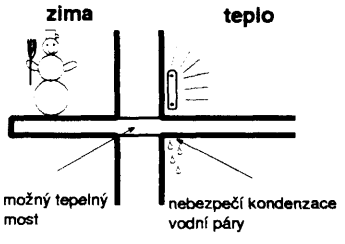
■■ Dilatační spáry

Délky dilatačních úseků předsazených konstrukcí (nechráněných nebo nedostatečně chráněných tepelnou izolací) jsou vzhledem k přímému působení teploty výrazně menší než dilatační úseky hlavní nosné konstrukce. Návrh délek dilatačních úseků se doporučuje provést výpočtem. V běžných případech lze pro stanovení vzdáleností dilatačních spár u předsazených konstrukcí použít doporučených hodnot uvedených v tabulce v kapitole D1. Šířka dilatační spáry musí být navržena tak, aby umožňovala volnou dilataci prvků i při extrémních letních teplotách. Doporučuje se uvažovat min. 50 % rezervu.

Kromě rozdělení předsazené konstrukce dilatačními spárami je třeba omezit přenášení objemových změn předsazené konstrukce na vnitřní nosnou konstrukci objektu vhodným poddajným připevněním (např. dilatační oddělení zavěšené nebo podepřené předsazené konstrukce, použití ISO-nosníků aj.).

■ Tepelnětechnická funkce a požadavky

Předsazená konstrukce může vyčnívat do vnějšího prostoru nebo může být součástí většího vnitřního prostoru. Ve druhém případě nejsou na konstrukci kladeny žádné tepelně technické požadavky s výjimkou případného požadavku na *pokles dotykové teploty podlahy.*



Konstrukce předsazené do vnějšího prostoru jsou naopak vystaveny ze všech stran působení povětrnostních vlivů. V souvislosti s požadavkem zajištění dostatečné tepelné ochrany objektu je třeba *omezit tepelné mosty* především v místech ukotvení předsazených konstrukcí. Problém zajištění dostatečné tepelné ochrany v místech přechodu hlavní nosné konstrukce objektu do předsazené konstrukce (např. u balkonů, pavlačí, říms aj.) je často zcela zásadní z hlediska volby konstrukčního řešení předsazené, ale někdy i hlavní nosné konstrukce.

V místech připojení předsazené konstrukce k nosnému systému je třeba vyřešit detail tak, aby ani za nejnižších venkovních teplot nemohlo dojít ke kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu. Problém

tepelných mostů souvisí nejenom s aspektem *energetickým* (větší tepelné ztráty v důsledku úniku tepla) a *estetickým* (vznik vlhkostních map), ale především s otázkou zajištění *hygienických požadavků* (vznik plísní, hub, napadení živočišnými škůdci). Na vnitřním povrchu konstrukce je třeba zajistit, aby povrchová teplota byla vždy vyšší než teplota rosného bodu při uvažování určité míry bezpečnosti. Hodnota vnitřní povrchové teploty se stanoví řešením *teplotního pole* pro konkrétní detail konstrukce a vlastní posouzení lze provést podle ČSN 73 0540.V případech, kdy kotevní ocelové prvky procházejí z vnějšího prostředí přes tepelnou izolaci do vnitřního prostředí je třeba tyto prvky provést v antikorozní úpravě tak, aby nemohly být narušeny korozí od kondenzující vlhkosti. Možným řešením problému tepelného mostu je dilatační oddělení konstrukce volnou mezerou např. v případě zavěšených a podepřených konstrukcí nebo vložení tepelně izolačních ISO-prvků.

V případech arkýřů, zasklených obytných balkonů, zasklených obytných pavlačí aj. přibývají požadavky na tepelný odpor vodorovné nosné i obvodové konstrukce, které jsou ve styku s vnějším prostorem.

Tepelný odpor R_N v případě vytápěných předsazených konstrukcí podle ČSN 73 0540:

Tepelný odpor R_N [m^2 K W^{-1}]	Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Přípustná hodnota pro rekonstrukce
Strop pod a nad vnějším prostorem	***3,0***	***4,35***	***1,9***
Obvodová stěna	***2,0***	***2,9***	***1,25***

■ Odolnost konstrukce vůči vnějším vlivům

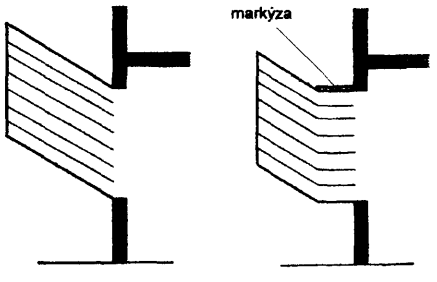
Kromě působení teploty a vlhkosti popsané v předchozích kapitolách působí na povrchové vrstvy předsazených konstrukcí srážková voda, vzdušná vlhkost, proudění vzduchu a sluneční záření *mechanickými* a *chemickými účinky*. Voda nebo vzduch mohou navíc obsahovat chemické látky nebo biologické prvky, které mohou být agresivní vůči konstrukčnímu materiálu. Důsledkem je pak koroze kovových prvků, koroze betonu nebo mikrobiální koroze. Pro zajištění správné funkce a dlouhodobé životnosti je třeba opatřit povrchy předsazené konstrukce *ochrannými nátěry, izolačními povlaky* aj.

■ Požadavky na požární bezpečnost

Požadavky na požární bezpečnost předsazených konstrukcí závisí na jejich funkci a umístění v objektu. Pavlač, balkon nebo lodžie mohou být součástí požární chráněné únikové cesty. V těchto případech je třeba návrh konstrukce i povrchových úprav přizpůsobit požadavkům požární bezpečnosti pro vnější chráněné únikové cesty. V případě obytných budov to mimo jiné znamená, že úniková cesta musí být chráněna proti zasněžení zastřešením v celé své ploše a zábradlí musí být plné o výšce min. 1100 mm. Doporučuje se i snížení podlahy proti úrovni navazujících vnitřních komunikací (o cca 100 až 200 mm).

Požární odolnost předsazené konstrukce je závislá na vlastní konstrukci a na konstrukčním řešení styku s nosnou konstrukcí objektu. V případě zvýšených požadavků na požární odolnost předsazené konstrukce je třeba kotevní ocelové prvky chránit protipožárními obklady nebo nástřiky.

Vnější předsazené konstrukce z nehořlavých materiálů (např. železobetonové markýzy nebo balkony) mohou plnit i funkci požární clony, umožňující odklonění plamene od roviny obvodové konstrukce objektu v místě nadpraží. Tím se sníží riziko šíření požáru do vyšších podlaží objektu.



odklonění plamene vyvolané markýzou nad okenním otvorem

PRINCIPY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

G2

Principles of Structural Solution
Prinzipien der konstruktiven Lösung

Předsazené konstrukce lze z hlediska konstrukčního rozdělit na tři základní skupiny:

- *konzolové konstrukce*
- *podepřené konstrukce*
- *zavěšené konstrukce*

■ Konzolové předsazené konstrukce

Nejčastějším konstrukčním řešením předsazených konstrukcí je *vykonzolování nosné konstrukce objektu.* Konzola může být vetknuta do nosné obvodové stěny, do překladu nebo průvlaku, nebo realizována jako spojité vykonzolování stropu. Problémem je omezení možnosti vzniku *tepelného mostu* v místě přechodu konzolového nosníku nebo desky přes obvodovou konstrukci (respektive přes tepelně izolační vrstvu).

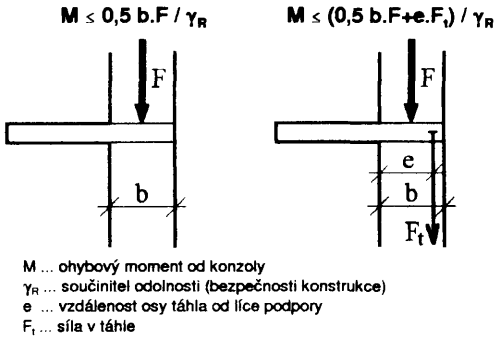
■■ Konstrukčně statické řešení

Pro posouzení statické bezpečnosti konzolové předsazené konstrukce je rozhodující:

- posouzení ztráty rovnováhy (stability) konzoly nebo podpůrné konstrukce,
- posouzení únosnosti průřezu konzoly,
- posouzení únosnosti podpůrné konstrukce v uložení,
- posouzení mezní deformace (průhybu konzoly).

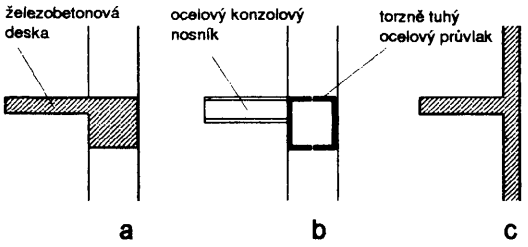
Vykonzolování z obvodové zděné konstrukce

Vykonzolování menších vyložení (římsy, markýzy, menší balkony) lze za prokázání dostatečné stability realizovat *vetknutím do obvodové zděné konstrukce.* Rozhodující je dostatečné svislé zatížení F v obvodové konstrukci zajišťující s rezervou vetknutí konzoly. V běžných případech lze při předběžném posouzení uvažovat rezervu prostřednictvím součinitele odolnosti $\gamma_R = 2{,}0$. V případě, že svislé zatížení F není dostačující pro zajištění stability lze provést zakotvení do obvodové konstrukce ocelovými táhly přenášejícími sílu F_t.



Vetknutí konzoly do věnce, průvlaku nebo železobetonové stěny

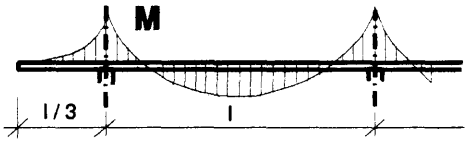
Je-li železobetonový věnec stěnového systému (a), průvlak nebo překlad (b) dostatečně tuhý v kroucení, lze předpokládat *vetknutí konzoly do tohoto prvku.* Tento způsob je stejně jako předchozí případ vhodný spíše pro menší vyložení a zatížení. Konzolu lze vetknout také do dostatečně ohybově tuhé železobetonové stěny (c).



Vykonzolování stropní konstrukce

Větší vyložení balkonů, markýz a pavlačí se řeší přímým *vykonzolováním stropní konstrukce.* Vykonzolování je výhodné *ve směru pnutí stropu,* kdy hlavní konstrukční prvky stropu (nosníky, trámy, žebra, výztuž desek aj.) jsou kolmé na nosnou obvodovou konstrukci a mohou tak spojitě přes ni přecházet. Při koncepčním návrhu konstrukce objektu je třeba předem uvážit vhodnost volby typu a směru pnutí stropů v souvislosti s potřebou jeho vykonzolování. Z tohoto hlediska jsou často výhodné stropní konstrukce dvousměrně pnuté umožňující vykonzolování ve všech směrech. Jednosměrně pnuté stropy lze vykonzolovat i ve směru kolmém na základní směr pnutí, ale zpravidla za cenu komplikovanějších konstrukčních úprav.

Při vykonzolování stropní konstrukce může zatížení od konzoly zlepšit průběh ohybových momentů ve vlastní stropní konstrukci. Optimální vyložení konzoly z tohoto hlediska je přibližně 1/3 rozpětí přilehlého stropu. V tomto případě je průběh ohybových momentů v krajním poli u konzoly přibližně stejný jako ve vnitřním poli. Při posouzení je třeba prokázat únosnost i průhyb konzoly jako spojité součásti stropní konstrukce.



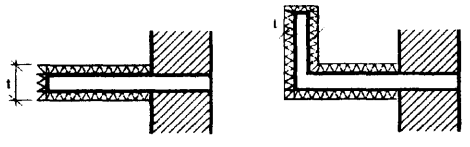
typický průběh ohybových momentů

■■ Tepelně-technické řešení

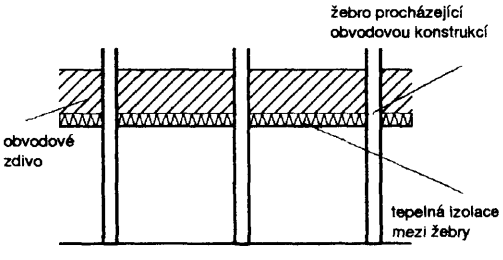
Problém tepelného mostu je především u železobetonových, ocelových a kamenných konzol předsazených do vnějšího prostředí. Konstrukčním úkolem je *přerušení* nebo *omezení tepelného mostu* a zabránění kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce. Lze využít tři základní principy konstrukčního řešení:

- *obalení předsazené konstrukce tepelnou izolací,*
- *částečné přerušení tepelného mostu u žebrových konstrukcí vloženou tepelnou izolací,*
- *použití izolačních prvků ISO-nosníků a Isokorbů u železobetonových konstrukcí.*

Obalení celé předsazené konstrukce tepelnou izolací: Výhodou je relativně snadné řešení. Nevýhodou jsou poměrně značné náklady na tepelnou izolaci, kterou je třeba umístit zpravidla po celém povrchu konzoly. Z architektonického hlediska může být nevyhovující podstatně větší výsledná tloušťka konzoly.


obalení železobetonové konzoly tepelnou izolací

Částečné přerušení konstrukce vloženou tepelnou izolací mezi probíhajícími konzolovými žebry lze využít v případě žebrového nosníkového systému s železobetonovými žebry nebo žebry z ocelových nosníků. Při vhodném poměru šířky žeber, velikosti izolované části mezi žebry a tloušťky tepelné izolace lze dosáhnout stav, kdy nedochází ke kondenzaci na vnitřním povrchu konstrukce. Tento stav musí být prokázán tepelně technickým posouzením. Prokázání spolehlivosti je možné na základě řešení trojrozměrného vedení tepla na charakteristickém výseku konstrukce. V případě ocelových nosníků je třeba zajistit v místě průchodu přes tepelnou izolaci antikorozní úpravu. *Výhodou* je snadné řešení, zachování malé tloušťky konzoly a z hlediska realizace nejmenší náklady. Uvedené řešení lze kombinovat s izolací v podhledu a podlaze stropní konstrukce.



půdorys žebrové konzoly s vloženou tepelnou izolací

Přerušení konzolové železobetonové konstrukce vložením izolačního systému z Isokorbů nebo ISO nosníků: Do železobetonové desky nebo trámu se v místě obvodové konstrukce vloží izolační systém složený z ocelových výztužných prvků (ISO nosníků) a desek tepelné izolace z polystyrenu. O variantách a použití různých typů ISO nosníků a Isokorbů je detailněji pojednáno v samostatné kapitole.

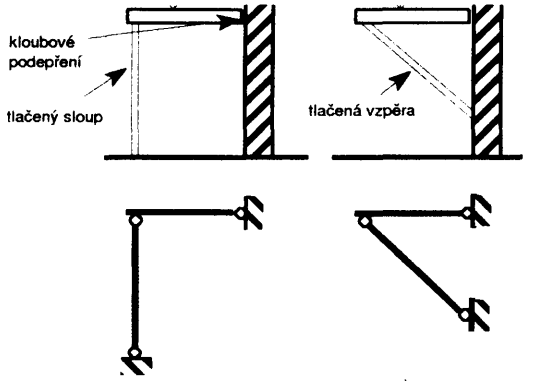
■ Podepřené konstrukce

Předsazené konstrukce mohou být konstrukčně řešeny jako *podepřené* svislými sloupy nebo šikmými vzpěrami. Existují tři základní typy předsazených podepřených konstrukcí:

- *konstrukce kloubově uložené a podepřené šikmou vzpěrou opřenou o nosnou obvodovou konstrukci*
- *konstrukce kloubově uložené a podepřené samostatnou svislou nosnou konstrukcí - sloupy,*
- *konstrukce předsazené samonosné.*

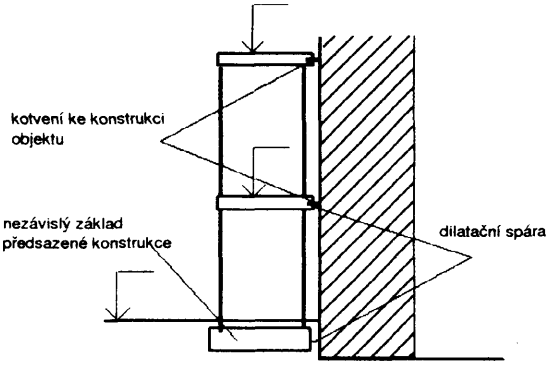
■■ Konstrukčně statické řešení

Vlastní vodorovná konstrukce je na jedné straně kloubově uložena do průčelí objektu, na druhé straně je podepřena sloupy nebo vzpěrami. Podepírající prvky jsou vždy tlačené a je třeba je posuzovat na vzpěrný tlak. Sloupy a vzpěry by měly být subtilní, tak aby nezastiňovaly vlastní průčelí objektu. Navrhují se proto z ocelových profilů, někdy při menších zatíženích ze dřeva. V případě balkonů nebo pavlačí podepřených přes více podlaží lze využít konstrukce zábradlí pro zmenšení vzpěrné délky subtilních sloupů. Sloupy by měly být založeny tak, aby bylo zajištěno shodné sedání s hlavním objektem.



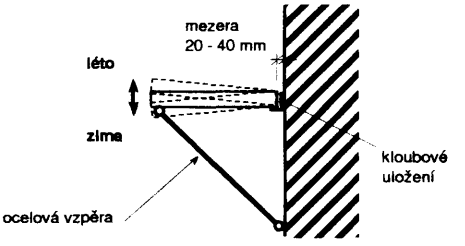
princip statického působení podepřené konstrukce

Předsazené balkony a pavlače mohou být řešeny i jako nezávislé samonosné konstrukce podepřené sloupy založenými na vlastních základech. V těchto případech je výhodné zajistit stabilitu konstrukce kotvením v úrovni jednotlivých podlaží.



předsazená samonosná konstrukce

Při návrhu konstrukce vystavené působení vnějšího prostředí je třeba uvažovat *teplotní roztažnost ocelových podpěr* vzhledem k tomu, že jsou bezprostředně vystaveny teplotnímu zatížení od slunečního záření. Proto musí styková spára mezi předsazenou konstrukcí a vlastním průčelím umožňovat natočení v důsledku dilatace podpěr. Výhodné je ponechat mezeru mezi průčelím a předsazenou konstrukcí v šířce cca 20 až 40 mm a do průčelí kloubově kotvit pouze lokální příčné nosníky předsazené konstrukce.



dilatační změny podepření předsazené konstrukce při změnách vnějších teplot

Výhodou podepřených konstrukcí je, že lze poměrně snadno řešit přerušení tepelného mostu v místě podepření obvodovou konstrukcí buď podepřením nebo kotvením pouze v lokálních místech nebo uložením do vnější vrstvy sendvičové obvodové konstrukce.

■■ Tepelně-technické řešení

U podepřených konstrukcí lze poměrně snadno řešit přerušení tepelného mostu v místě kloubového podepření obvodovou konstrukcí buď (i) podepřením a kotvením pouze v lokálních místech a ponecháním průběžné mezery nebo (ii) s využitím ISO-nosníků.

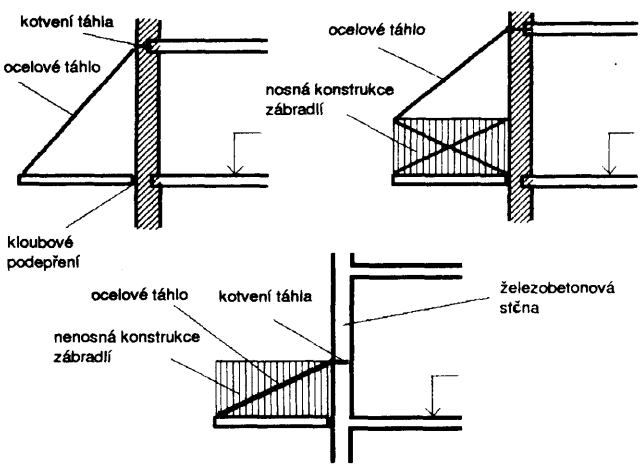
Speciálním problémem je podepření arkýřů nebo zakrytých balkonů a teras, jejichž vnitřní prostředí je v zimě vytápěno. V těchto případech je třeba řešit problém tepelného mostu v místě styku podpírající konstrukce a vodorovné nosné konstrukce arkýře aj. Uvedený problém lze řešit dvojím způsobem:

- provedením *izolace celého pláště sloupu* - vnitřní ocelový nebo betonový sloup se obalí tepelnou izolací a povrchová vrstva je tvořena betonovými, sklocementovými nebo plechovými dílci,
- přerušením tepelného mostu sloupu *vložením nosných pryžových nebo vyztužených pryžových ložisek* do styku mezi sloupem a předsazenou konstrukcí.

Nevýhodou prvního způsobu je větší výsledný rozměr sloupu, druhé řešení vyžaduje podrobnější posouzení stability podpěry a zajištění horizontálních posunů v místě dilatační pružné podpory.

■ Zavěšené konstrukce

Z hlediska statického i tepelně technického je efektivní *zavěšování* předsazených konstrukcí na obvodovou nosnou konstrukci pomocí ocelových táhel zakotvených *do nosné konstrukce.*



■■ Konstrukčně statické řešení

Vodorovná konstrukce je stejně jako u konstrukcí podepřených kloubově připevněna na průčelí objektu a na druhé straně podporována táhly. Vzhledem k tomu, že hlavní nosné prvky - *ocelová táhla* jsou tažená, lze optimálně využít únosnosti materiálu. Táhla tak vycházejí velmi tenká, která pouze v minimální míře omezují výhled z objektu. Táhla se připevňují v místě stropních konstrukcí buď navařením kotevních prvků na kotevní destičky nebo pomocí nosných ocelových kotev (ocelových hmoždinek) upevněných do dodatečně vyvrtaných otvorů v betonu. Při návrhu zavěšených konstrukcí je třeba stejně jako u konstrukcí podepřených uvažovat *teplotní roztažnost ocelových táhel,* vzhledem k jejich přímému vystavení slunečnímu záření. Proto je třeba řešit spáru s obvodovým pláštěm objektu *dilatačně*, umožňující natočení. Výhodné je ponechat mezeru mezi zavěšenou předsazenou konstrukcí a obvodovou konstrukcí (cca 20 až 40 mm). Pro styk balkonové desky s nosnou konstrukcí lze použít i kloubového podepření s využitím ISO-nosníků přenášejících smykové a normálové síly.

■■ Tepelně-technické řešení

V případě zavěšených konstrukcí je vhodné oddilatovat konstrukci dilatační mezerou a předsazenou konstrukci lokálně podepřít kotvami připevněnými do nosné konstrukce objektu nebo použít smykové ISO-nosníky. Ocelové kloubové podpory i táhla zakotvená do ocelových rozpěrných kotev nepředstavují v případě správného provedení detailu vážnější problém z hlediska tepelné techniky. V případě, že nosná konstrukce je v oblasti mezi kotvami dostatečně tepelně izolována, lze omezit prochlazení ocelových kotev a zabránit nežádoucímu navlhnutí okolní konstrukce. Kotvy však musí být v antikorozní úpravě.

■ Přerušení tepelných mostů systémem ISO-nosníků

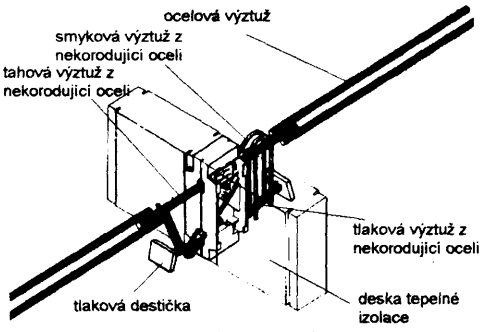
Prostřednictvím izolačních ISO-prvků (obecně nazývaných ISO-nosníky) vložených v místě styku obvodové a předsazené konstrukce lze dosáhnout přerušení tepelného mostu a přitom zachovat požadovanou statickou funkci (přenášení ohybových momentů a/nebo posouvajících sil a/nebo normálových sil). Existuje celá řada ISO-nosníků pro přerušení tepelných mostů v železobetonových konstrukcích, ale i speciální ISO-nosníky pro napojení ocelových nebo dřevěných konzol na vnitřní železobetonovou konstrukci stropu.

■■ Princip konstrukčního řešení a působení ISO-nosníků

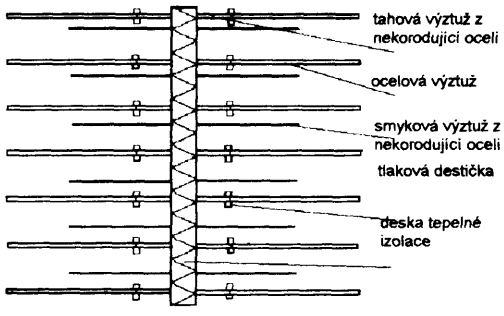
Nejčastější použití ISO-nosníků je u železobetonových deskových (méně často žebrových nebo nosníkových) konstrukcí. Do železobetonové desky se v místě přechodu přes obvodovou konstrukci vloží ISO-nosník - izolační systém složený z ocelových výztužných prvků a desek tepelné izolace, zpravidla z pěnového polystyrenu. ISO-nosníky se vyrábějí v několika typech lišících se statickým působením a konstrukčním použitím. Pro všechny typy je charakteristické, že statická funkce je zajištěna ocelovou výztuží, která je ve střední části z nekorodující ušlechtilé oceli, na kterou jsou speciální technologií přivařeny pruty betonářské žebírkové oceli. Střední část ocelové výztuže prochází deskou tepelné izolace nebo je opatřena polyamidovou manžetou uzpůsobenou k vložení mezilehlých izolačních mezikusů z pěnového polystyrenu. Existují dvě základní konstrukční varianty:

- ISO-nosník (Isokorb) vyráběný jako dílce určité skladebné délky (zpravidla 1,0 m) obsahující větší počet výztuží (cca 6 - 10 ks/m) ve výrobně zabudovaných do desky tepelné izolace,
- ISO-nosník skládaný na stavbě z ocelových nosných prvků v plastových manžetách a izolačních mezikusů.

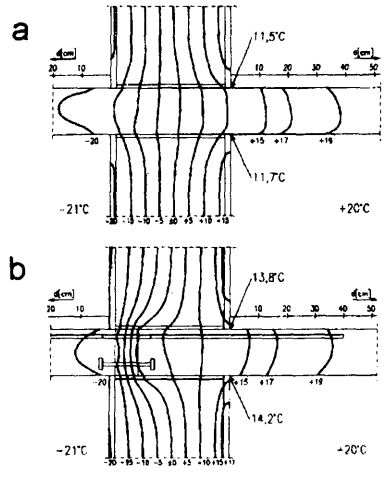
Druhá varianta se vyrábí i v alternativě dvojitého ISO-nosníku složeného ze dvou výztuží s manžetami v osové vzdálenosti 175 mm pevně spojenými izolačním mezikusem.



ISO-nosník skládaný



Isokorb - pohled se shora



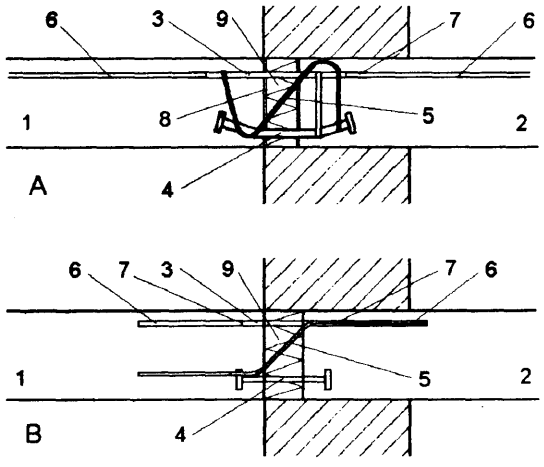
průběh izoterm v obvodové konstrukci
a - bez ISO-nosníku, b - s ISO-nosníkem
(převzato z typových podkladů firmy Schock)

Souvislá vrstva tepelné izolace v systému ISO-nosníků rozděluje betonovou desku na vnější "studenou" část a vnitřní "teplou" část. V případě jednovrstvé obvodové konstrukce se tepelná izolace ISO-nosníku osazuje od úrovně vnějšího líce zdiva, u vícevrstvé konstrukce do svislé roviny tepelné izolace. V místě tepelné izolace je vysoký gradient teploty mezi vnější a vnitřní částí. Přes tuto oblast prochází ocelová výztuž na jejímž povrchu je tak největší nebezpečí kondenzace vodní páry (v souvislosti s vysokou tepelnou vodivostí oceli). Vzhledem k tomu, že výztuž není v místě tepelné izolace účinně chráněná proti korozi je ve střední části nosníku kategorickou nutností použití nekorodující ušlechtilé oceli. Nekorodující výztuž musí zasahovat min. 100 mm do betonových desek.

ISO-nosníky lze používat nejenom u monolitických železobetonových konstrukcí ale i pro výrobu prefabrikátů s částečně zabudovanými ISO-nosníky. Prefabrikáty s vyčnívající polovinou ISO-nosníku se na stavbě osadí a monoliticky spojí s konstrukcí při betonáži stropu. Obdobně lze využívat systému ISO-nosníků i u prefa-monolitických spřažených železobetonových konstrukcí s deskami typu filigrán.

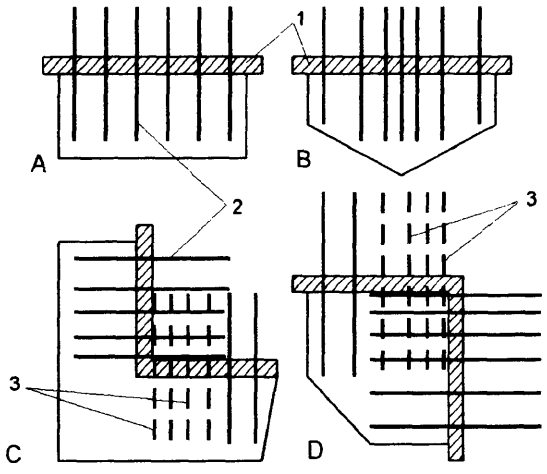
■■ Konzolové ISO-nosníky

Základním typem ISO-nosníku je nosník konzolový určený k přenášení ohybových momentů a posouvajících sil u konzolově vyložených předsazených konstrukcí. Nosníky mají v horní části prut svařený z nekorodující oceli ve střední části a žebírkových výztuží na obou koncích, které při dodržení normových ustanovení mohou být zakotveny do betonové desky přesahem nebo je lze přivařit k tažené výztuži stropu. Ve spodní části je nekorodující výztuž (průměru 12 - 16 mm) s roznášecími tlakovými destičkami pro přenášení tlaku do betonu. Tlačená výztuž je u některých nových typů nahražena tlakovými prvky lisovanými z nerezového plechu (Schöck Isokorb s DQ modulem). Tažená i tlačená výztuž je ve střední části doplněna šikmými pruty z nekorodující oceli pro přenášení smykových sil.



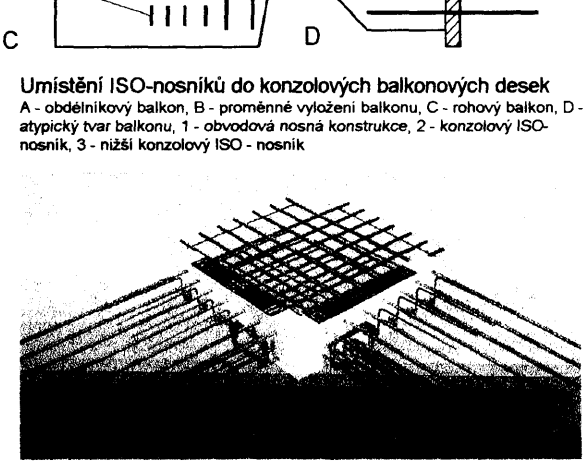
Konzolový ISO-nosník
A - MEA ISO.nosník typ IT, B - Schöck Isokorb typ KX
1 - konzola, 2 - vnitřní stropní konstrukce, 3 - tažený prut z nekorodující oceli, 4 - tlačený prut s tlačnými destičkami z nekorodující oceli, 5 - smykový prut z nekorodující oceli, 6 - betonářaká žebírková výztuž, 7 - svařeno, 8 - manžeta z polyamidu, 9 - tepelná izolace

Výztužné ocelové prvky jsou zpravidla ve vzdálenostech 100 až 600 mm v závislosti na typu nosníku, vyložení a zatížení konzoly. Deska tepelné izolace je běžně tloušťky 70 až 80 mm a výšky podle tloušťky železobetonové desky 160 až 250 mm. Tepelná izolace je nejčastěji z pěnového nebo extrudovaného polystyrenu, někteří výrobci používají desky z minerálních vláken.

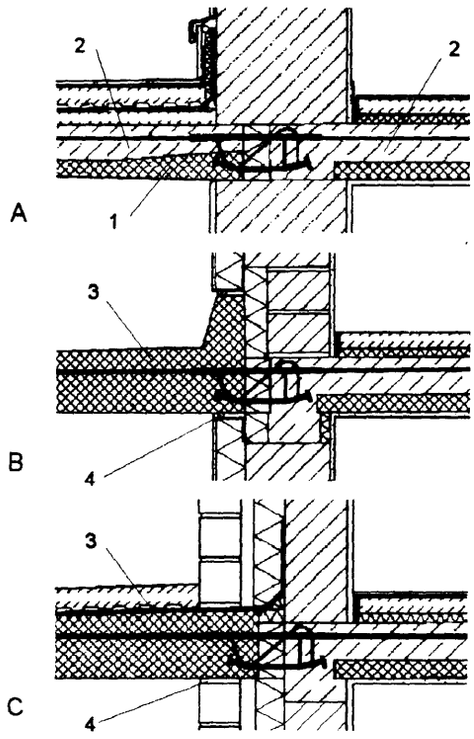


Umístění ISO-nosníků do konzolových balkonových desek
A - obdélníkový balkon, B - proměnné vyložení balkonu, C - rohový balkon, D - atypický tvar balkonu, 1 - obvodová nosná konstrukce, 2 - konzolový ISO-nosník, 3 - nižší konzolový ISO - nosník

Vyložení balkonových konzol s použitím systému ISO-nosníků lze v závislosti na zatížení a tloušťce betonové desky realizovat v běžných případech až do 2,0 - 2,4 m. Systém skládaných ISO-nosníků umožňuje měnit osové vzdálenosti nosníků podle velikosti ohybových momentů a smykových sil tak, aby bylo dosaženo optimálního vyztužení předsazené konstrukce. Na okrajích a v rozích lze použít nižší nosníky. Pro systém Isokorb dodává firma Schöck speciální rohové dílce.



Rohový Isokorb typu Schöck KX - Eck

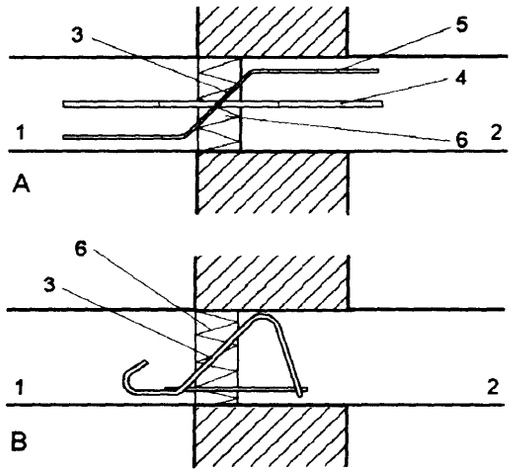


Příklady použití konzolových ISO-nosníků

A - obvodová konstrukce z jednovrstvého zdiva, B - dvouvrstvá obvodová konstrukce, C - vícevrstvá obvodová konstrukce se vzduchovou mezerou, 1 - filigranová deska se zabudovanými ISO-nosníky, 2 - monolitická vrstva, 3 - železobetonový prefabrikovaný balkonový dílec se zabudovanými ISO-nosníky, 4 - spára uzavřena pružným profilem nebo pružným tmelem

■■ ISO-nosníky pro přenášení smykových sil

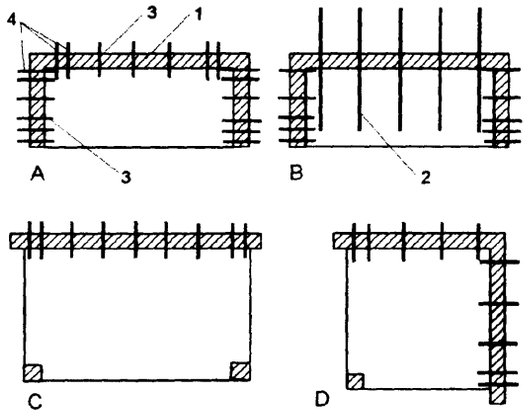
V případě lodžií navržených jako prostě (kloubově) podepřené desky je třeba v uložení zajistit přenášení smykových sil. Pro tyto a další případy lze použít speciálních ISO-nosníků pro přenášení smykových sil. Hlavní nosná smyková výztuž probíhá šikmo a je spojena s vodorovnou výztuží zajišťující normálové síly (přikotvení předsazené konstrukce v horizontálním směru). Opět je střední část procházející přes tepelnou izolaci z nekorodující výztuže. Zakotvení může být zajištěno pomocí soudržnosti žebírkové výztuže s betonem desky nebo nástrčnými příčnými třmeny z betonářské výztuže. V případě, že smyková síla působí svisle nahoru (tj. v záporném směru) použijí se nosníky v opačné poloze. Příkladem je podepření rohů u obousměrných balkonových rohových desek, u kterých v důsledku kroucení dochází ke zvedání rohů, resp. ke vzniku záporných smykových sil. V případě lodžiových desek, které jsou prostě uloženy na obvodovém zdivu, lze použít i ISO-nosník přenášející pouze smykové síly, a který navíc umožňuje dilatační pohyby desky ve vodorovném směru.



ISO-nosníky pro přenášení smykových sil

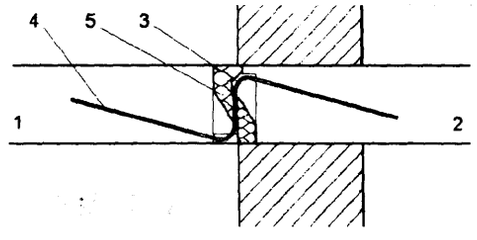
A - MEA ISO-nosník typ QT, B - Schöck Isokorb typ Q

1 - vnější konstrukce, 2 - vnitřní stropní konstrukce, 3 - smykový prut z nekorodující oceli, 4 - prut pro přenášení normálových sil, 5 - betonářská žebírková ocel, 6 - deska z pěnového polystyrenu



Příklady umístění smykových ISO-nosníků při řešení podepření lodžií a podepřených balkonů

A - lodžie po třech stranách prostě podepřená, B - lodžie vykonzolovaná a po stranách prostě podepřená, C - podepřený balkon, D - podepřený rohový balkon, 1 - obvodová nosná konstrukce, 2 - konzolový ISO-nosník, 3 - smykový ISO-nosník, 4 - obrácená poloha smykového ISO-nosníku pro zachycení záporných smykových sil

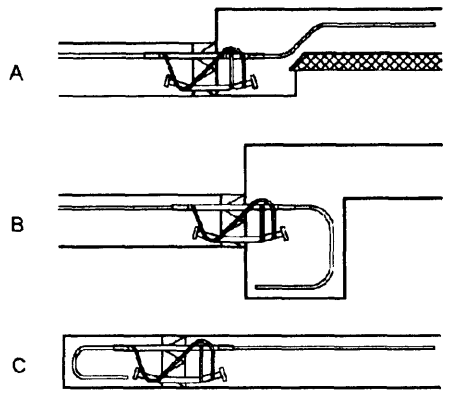


ISO-nosník pro dilatační podepření lodžiové desky - Schöck Isokorb typ V

1 - vnější konstrukce, 2 - vnitřní stropní konstrukce, 3 - výztuž z nekorodující oceli, 4 - betonářská žebírková ocel, 5 - tepelně izolační deska z polystyrenu

■■ ISO-nosníky pro speciální použití

Kromě konzolových a smykových ISO-nosníků existují i další speciální varianty ISO-nosníků pro úzké římsy, balkony s horním lícem ve spádu, balkony s výškovým přesazením nebo ISO-nosníky umožňující oddělení železobetonových parapetů, železobetonových atik nebo krátkých konzolek pro podepření vnější zděné vrstvy vrstveného obvodového pláště.



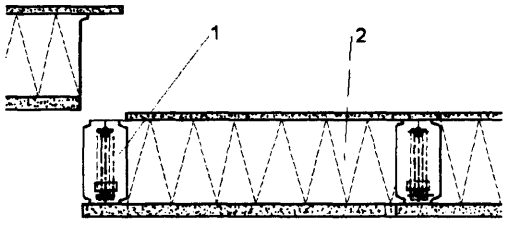
Speciální případy použití ISO-nosníků u předsazených konstrukcí
A , B - případy různých výškových úrovní mazi podlahou balkonu a stropu, C - předsazený parapet, D - římsa

Někteří výrobci vyrábějí i speciální ISO-nosníky umožňující připojit na železobetonovou konstrukci:

(i) *dřevěnou předsazenou konstrukci* (konzolový nosník Schöck typ KH, smykový nosník typ QH) nebo

(ii) *ocelovou předsazenou konstrukci* (konzolový nosník Schöck Typ KS, smykový nosník typ QS).

V případě zvýšených požadavků na předsazenou konstrukci z hlediska požární bezpečnosti je třeba zajistit protipožární ochranu vrstvy pěnového polystyrenu v konstrukci ISO-nosníku vložením ohnivzdorných desek z horní i spodní strany vrstvy tepelné izolace s požadovanou hodnotou protipožární odolnosti.



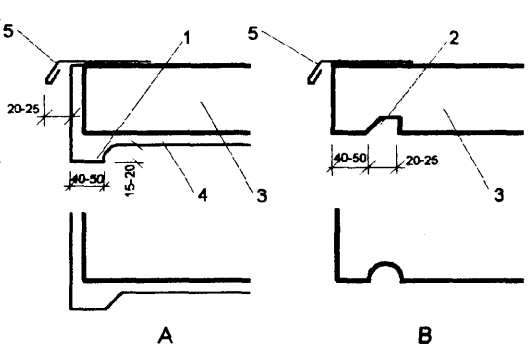
Použití ISO-nosníků v případě zvýšených požadavků na požární odolnost
1 - ISO-nosník, 2 - izolační mezikus opatřený z obou stran ohnivzdornou deskou

■ Ochrana před povětrnostními vlivy

Předsazené konstrukce musí být z horní strany chráněny před přímým působením vody a sněhu hydroizolací nebo konstrukcí střešní krytiny. V návaznosti na hydroizolaci horního povrchu je třeba provést oplechování okrajů s minimálním přesahem 20 - 25 mm. Spodní plocha předsazené konstrukce musí být opatřena okapní hranou zamezující podtékání vody po ploše podhledu a tím navlhnutí povrchových vrstev podhledu předsazené konstrukce a konstrukce obvodového pláště. Okapní hrana může být vytvořena ve tvaru okapního nosu nebo okapní drážky.

Okapní nos se provádí u omítaných podhledů předsazených konstrukcí zpravidla přímo vytvarováním omítky. U betonových nebo kamenných desek, event. u dřevěných prvků se provádí *okapní drážka*. Šířka okapní drážky by měla být 20-25 mm, hloubka cca 15-20 mm. Okapní drážka by měla mít přední stranu zkosenou pod úhlem 45° nebo zaoblenou. Zadní strana by měla být svislá tak, aby bylo zabráněno postupu vodního filmu dál po podhledu. Probíhá-li okapní drážka ke svislé konstrukci (např. k boční stěně u zapuštěných lodžií) musí končit cca 50 mm od této stěny tak, aby bylo zabráněno zatékání vody z drážky do stěny.

Okapní drážky betonových konstrukcí mohou být vytvořeny vložením speciálních kovových nebo plastových profilů přímo při betonáži prvku.



Okapní drážky a okapní nosy
A - okapní nos, B - okapní drážka , 1 - okapní nos vytvořený v omítce, 2 - okapní drážka v železobetonové desce, 3 - železobetonová deska, 4 - omítka, 5 - oplechování okapu

PŘEDSAZENÉ KONSTRUKCE - KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

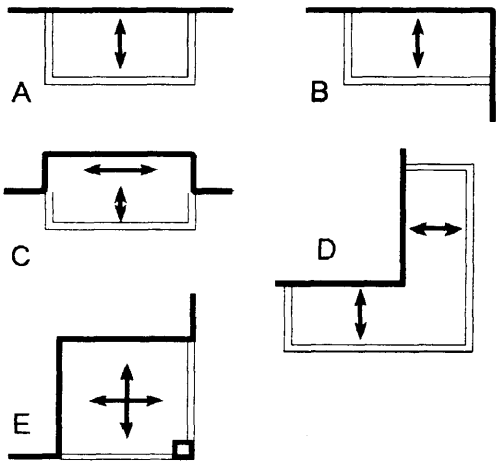
G3

Overhanging Structures - Structural Design
Vorgesetzte Bauteile - konstruktives Entwerfen

■ Balkony

Balkon je vodorovná nosná konstrukce předsazená před obvodový plášť objektu. Balkony se navrhují především v obytných budovách a zpravidla slouží k pobytu lidí. Balkony jsou buď ze tří stran otevřené nebo umístěné v zalomení průčelí - otevřené ze dvou stran. Balkon může být i polozapuštěný, konstrukčně představující kombinaci balkonové konzoly a lodžie.

V současné architektuře bytových staveb se využívá velkoplošných balkonů, často umísťovaných na nárožích domů. Při větších půdorysných rozměrech se konstrukce balkonů podepírá sloupy. Balkony lze z energetických i užitných důvodů opatřit zasouvacími prosklenými obvodovými stěnami, které se uplatní především v chladnějších měsících.



Tvary balkonů
A - balkon celý předsazený před rovinu obvodové konstrukce, B - balkon v zalomení průčelí, C - polozapuštěný balkon, D - balkon nárožní, E - velkoplošný balkon podepřený, šipky představují hlavní směr pnutí konstrukce balkonové desky

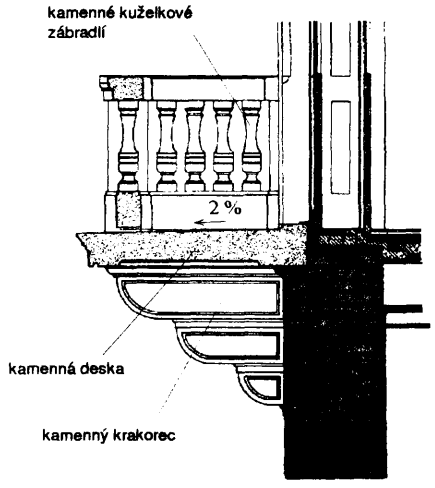
Konstrukčně mohou být balkony *podepřené*, *vykonzolované* a *zavěšené*. Z materiálového hlediska rozlišujeme:

- *kamenné balkony*
- *dřevěné balkony*
- *ocelové balkony*
- *železobetonové balkony*

a konstrukce balkonů materiálově kombinované.

■■ Kamenné balkony

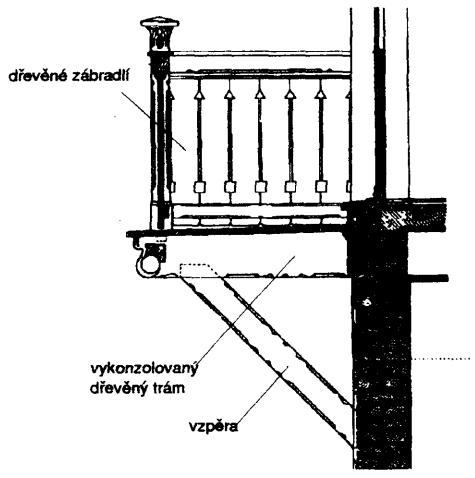
Používaly se u historických kamenných staveb a u starších bytových objektů tradiční technologie. Konstrukce je tvořena *kamennými krakorci* zazděnými do obvodové zdi minimálně 450 mm, na které se ukládaly buď *kamenné desky* 150-200 mm tlusté nebo se deska mezi krakorci vyklenula z ploché nebo přímé valené klenby. Horní povrch balkonu byl vyspádován ve spádu cca 2% od objektu. Zábradlí kamenných balkonů bylo zpravidla také kamenné *kuželkové*. Později se místo drahých kamenných konzol používaly ocelové válcované konzoly, které podepíraly kamennou desku nebo klenbu. Ocelové konzoly se opláštily sádrovými nebo betonovými napodobeninami kamenných konzol.



Historická konstrukce kamenného balkonu

■■ Dřevěné balkony

Tradiční konstrukce dřevěných balkonů mohou být buď podepřené nebo konzolové. Velmi často jde o kombinaci, kdy stropní trámy jsou vykonzolované přes obvodovou konstrukci a zároveň jsou podepřené šikmými vzpěrami zakotvenými do obvodového zdiva. Zábradlí je zpravidla také dřevěné konstrukce. Dřevěné balkony se používaly u historických staveb a později pouze u staveb venkovských (ve městech nebyly povoleny). V současnosti se používají u objektů s dřevěnými stropy (u rodinných domů, menších rekreačních objektů aj.). Dřevěná konstrukce balkonu vystavená bezprostřednímu působení vnějšího prostředí musí být pečlivě imregnována.

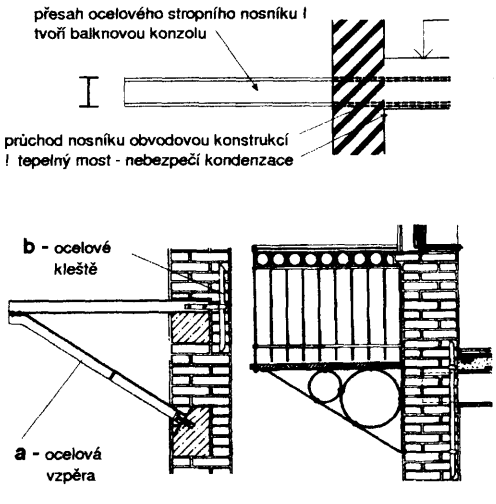


Tradiční podepřená dřevěná konstrukce balkonu

U současných bytových staveb lze využít lehkých zavěšených konstrukcí balkonů založených na kombinaci oceli a dřeva. Ocel je zpravidla použita pro základní nosné prvky podlahy a závěsná táhla, dřevo se využívá pro konstrukci balkonového zábradlí a vlastní konstrukci podlahy balkonu.

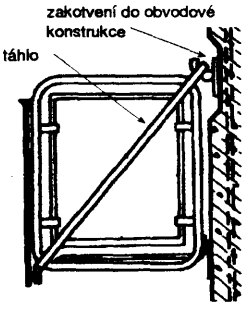
■■ Ocelové balkony

Konzolové balkony ocelové konstrukce se často používaly u bytových objektů tradiční technologie. V současnosti se používají především v případech ocelových stropů. Ocelové nosníky jsou vetknuty do obvodové zdi nebo jde o stropnice přecházející přes obvodovou zeď. V dřívějších dobách byla mezi traverzami klenuta plochá valená klenba nebo se na ně ukládal profilovaný plech, eventuálně dřevěné fošny. Někdy se ocelové nosníky *podepíraly ocelovými vzpěrami* (*a*) a zakotvovaly do zdiva pomocí ocelových kleští (*b*). Této konstrukční úpravy se používalo v místech pod dveřními otvory, kde nebylo možné zajistit dostatečné vetknutí do zdiva. V případě konzolových ocelových balkonů je třeba posoudit nebezpečí vzniku kondenzace vodní páry na oceli procházející z vnějšího do vnitřního prostředí.



Tradiční konstrukce podepřeného ocelového balkonu

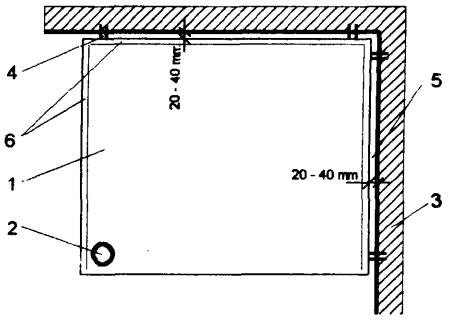
V současnosti se používají ocelové konstrukce *zavěšených balkonů*. Výhodou tohoto řešení je možnost optimálního vyřešení tepelné izolace objektu bez vzniku tepelných mostů od balkonových konzol. Ocelová prostorová kostra balkonu je kloubově podepřena v úrovni podlahy a vnější okraj je zavěšen diagonálními táhly vedoucími až do úrovně stropní konstrukce vyššího podlaží nebo jsou zakotveny přímo do nosného obvodového pláště. Systém zavěšených prefabrikovaných balkonů je používán především v zahraničí. Výhodná je kombinace ocelových diagonálních táhel pro zavěšení dřevěné konstrukce balkonu nebo betonové balkonové desky.



Zavěšená konstrukce ocelového balkonu

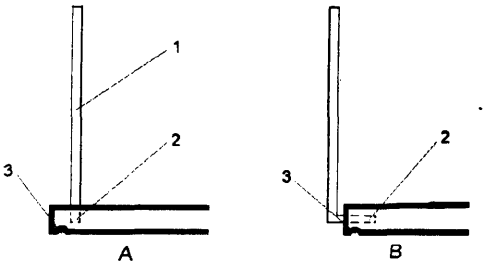
■■ Železobetonové balkony

Nejčastějším případem konstrukčního řešení železobetonového balkonu je vykonzolování železobetonové desky ze stropní konstrukce. Deska může být monolitická nebo prefabrikovaná. Vždy je třeba se zabývat otázkou omezení tepelného mostu při průchodu železobetonové konstrukce obvodovým pláštěm. Způsoby řešení uvedeného problému (izolace, ISO-nosníky aj.) jsou uvedeny v kapitole G2.



Lokálně podepřený železobetonový rohový balkon
1 - prefabrikovaná balkonová deska, 2 - prefabrikovaný sloup, 3 - obvodová konstrukce, 4 - lokální podpěry z nekorodující oceli, 5 - dilatační mezera, 6 - zvýšený okraj

V případě velkoplošných a rohových balkonů lze balkonovou desku podepřít na vnější straně sloupy a ve styku s obvodovou konstrukcí objektu kloubovým podepřením. Opět lze použít ISO-nosníků (smykových ISO-nosníků, eventuálně v kombinaci s konzolovými nebo desku uložit na lokální podpory procházející obvodovým pláštěm a ponechat dilatační mezeru mezi balkonovou deskou a obvodovým pláštěm . Okraj desky je vhodné provést se zvýšenou obrubou o cca 30 mm, aby bylo zabráněno stékání dešťové vody na obvodovou konstrukci při působení větru. Horní povrch balkonové desky by měl být ve spádu 1-2 % od objektu. Odvodnění desky lze provést vnějším žlabem při obvodu desky nebo žlábkem při vnějších okrajích napojených na chrlič nebo dešťový svod.

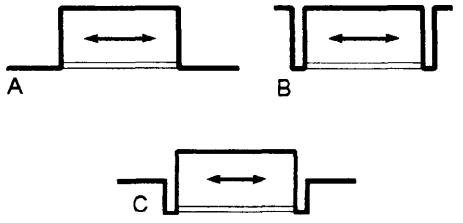


Připevnění zábradlí do železobetonové balkonové desky
A - kotvení sloupku seshora, B - kotvení sloupku z čela desky, 1 - sloupek zábradlí, 2 - zakotvení sloupku, 3 - okapní žlábek

Balkonové zábradlí lze upevnit buď seshora nebo z čela balkonové železobetonové desky. Do betonové desky lze předem zabetonovat kotevní prvky umožňující připevnění sloupků zábradlí nebo dodatečně vyvrtat otvory pro rozpěrné *ocelové kotvy*.

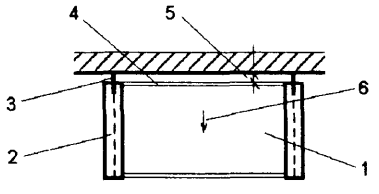
■ Lodžie

Lodžie jsou otevřené do vnějšího prostoru pouze z jedné strany. Boční strany jsou tvořeny zalomením obvodového pláště (zapuštěné lodžie) nebo předsazenou svislou nosnou konstrukcí lodžie (předsazené lodžie). Lodžie mohou být i částečně zapuštěné do konstrukce objektu. Vodorovná nosná konstrukce lodžie je tvořená stropní konstrukcí, jejíž část vymezená obvodovým pláštěm vytváří venkovní konstrukci lodžie. Charakteristické pro lodžii je, že má vždy zastropení nebo zastřešení. Často je strop lodžie podepřen bočními stěnami předsazenými před vlastní rovinu průčelí objektu.



Typy lodžií
A - lodžie zapuštěná, B - lodžie předsazená, C - lodžie částečně zapuštěná, šipky představují hlavní směr pnutí lodžiové desky

Vzhledem k možnosti podepření lodžiové desky po obou protilehlých stranách lze použít konstrukčně jednoduššího kloubového podepření. Pro omezení tepelných mostů lze použít smykových ISO-nosníků, event. v kombinaci s ISO-nosníky konzolovými. Lodžie je vhodné podepřít i lokálními podporami jako u podepřených železobetonových balkonů.



Předsazená samonosná lodžie (půdorys)
1 - prefabrikovaná lodžiová deska, 2 - nosné boční stěny, 3 - stabilizační kotvy z nekorodující oceli, 4 - zvýšený okraj, 5 -dilatační mezera volná nebo vyplněná tepelnou izolací, 6 - spád směrem od objektu

Výhodou předsazených lodžií je možnost úplného dilatačního oddělení konstrukce lodžie od hlavní konstrukce objektu. Ve styku jsou umístěny pouze kotvy pro stabilizaci jinak samonosné konstrukce. Kotvy by měly být z nekorodující oceli a měly by umožňovat vertikální posuny v důsledku případného rozdílného sedání a teplotních objemových změn. Výhodou tohoto řešení je možnost dokonalého oddělení obou konstrukcí i z hlediska tepelně-technického. Do styku lze vložit tepelnou izolaci nebo lze ponechat volnou vzduchovou mezeru.

■ Pavlače

Pavlače se používaly především u bytových objektů nižší kategorie v minulém a v začátku tohoto století. Sloužily jako přístupové komunikace k jednotlivým bytům. V současnosti se používají především v oblastech s mírnějším klimatem u nižších bytových objektů s 2 nebo 3 nadzemními podlažími.

Konstrukce pavlačí je v podstatě totožná s konstrukcí balkonů. V dřívějších dobách se nejčastěji používaly pavlače podepřené kamennými krakorci a později ocelovými konzolami, mezi kterými byla klenuta plochá valená klenba (viz F5).

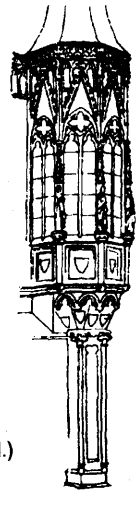
Nové typy pavlačí používané v zahraničí jsou nejčastěji samonosné ocelové, betonové nebo kombinované konstrukce kotvené k nosné konstrukci objektu. Styk předsazených samonosných pavlačí s nosnou konstrukcí objektu je třeba řešit dilatačně z hlediska statického i tepelně technického. Vzhledem k větším délkám pavlačí je třeba posoudit nutnost umístění příčných dilatačních spár.

V klimatických podmínkách ČR je třeba zvážit vhodnost otevřených pavlačí vzhledem k možnosti namrzání podlahy a vytváření návějí sněhu v zimním období. Vhodnější je použití pavlačí zakrytých obvodovou prosklenou konstrukcí, která zároveň slouží jako tepelná ochrana konstrukce pavlače i celého objektu.

Tradiční konstrukce pavlače z vykonzolovaných ocelových nosníků a valených cihelných kleneb

■ Arkýře

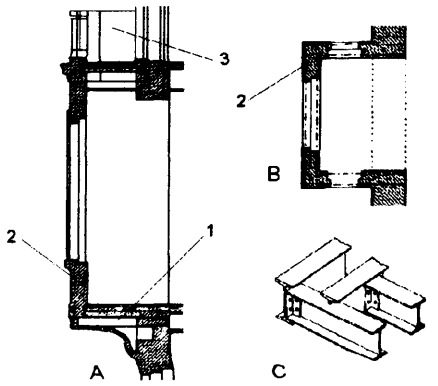
Arkýře představují výrazný architektonický prvek využívaný v historickém stavitelství, ale i v současné architektuře. Arkýře jsou předsazené konstrukce opláštěné obvodovým pláštěm, které začínají v úrovni stropní konstrukce nad 1. N.P. nebo výše. Arkýře jsou z hlediska konstrukčního v podstatě zakryté konstrukce balkonů často o více podlažích. Nosné vodorovné konstrukce arkýře musí být dimenzovány i na zatížení od obvodové konstrukce. Proto je vhodné volit konstrukci obvodového pláště na arkýři co nejlehčí, tak aby výrazně nezatěžovala konzolové vyložení stropu. Zastřešení arkýře může být využito jako balkon.



Historický gotický arkýř
(Praha, Karolinum 14. stol.)

Oproti balkonům není třeba řešit konstrukční problém s tepelnými mosty v místě přechodu konzoly do vnitřní konstrukce. Pouze je třeba provést izolaci spodní a horní desky arkýře a izolaci obvodového pláště.

V případě podepřených arkýřů je třeba řešit problém omezení tepelného mostu v místě přechodu podpůrné konstrukce a zateplené konstrukce arkýře.



Tradiční konstrukce zděného arkýře

A - řez arkýřem, B - půdorys, C - detail podpůrné ocelové konstrukce arkýře, 1 - ocelový nosník, 2 - obvodové zdivo arkýře, 3 - balkon na střeše arkýře

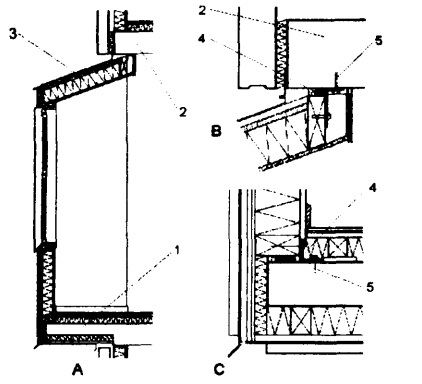
■ Římsy

Římsy jsou vodorovné předsazené konstrukce, jejichž hlavní funkcí je chránit obvodový plášť před deštěm a sněhem. Kromě toho byly a jsou římsy často navrhovány čistě z důvodů architektonických. Hlavní římsa ukončuje objekt pod konstrukcí střechy, kordonové římsy probíhají v úrovních stropů jednotlivých podlaží. Minimální vyložení římsy uvažované pro ochranu obvodového pláště před působením deště a sněhu je 250-300 mm.

Při návrhu římsy je třeba posoudit statickou spolehlivost (stabilitu) a posoudit nebezpečí vzniku tepelného mostu v uložení.

Z materiálového a technologického hlediska rozlišujeme:

- *římsy kamenné*
- *římsy cihelné*
- *římsy dřevěné*
- *římsy železobetonové - monolitické nebo prefabrikované*
- *římsy lehké konstrukce*



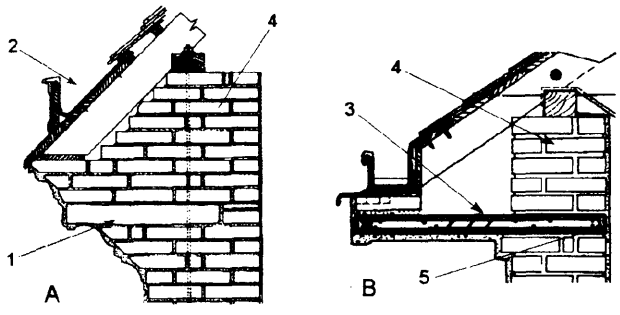
Novodobá konstrukce arkýře s lehkým opláštěním

A - svislý řez konstrukcí arkýře, B - detail připevnění arkýře v horní části, C - detail uložení arkýře na železobetonovou konzolu, 1 - vykonzolování železobetonového stropu, 2 - železobetonová stropní konstrukce, 3 - dřevěná kostra arkýře s tepelně izolační výplní, vnitřním pláštěm ze sádrokartonu a vnějším pláštěm z měděného plechu, 4 - kotevní úhelníky, 5 - rozpěrné kotvy do betonu

Tradiční cihelná konstrukce římsy se realizuje vyložením cihelného zdiva (do max. vyložení 400 mm), větší vyložení lze provést ze speciálních cihel větších rozměrů nebo s pomocí kamenných desek.

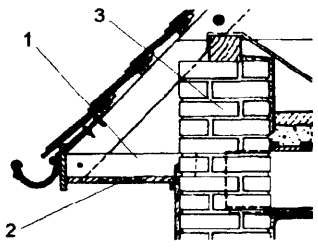
Tradiční železobetonové římsy se prováděly jako desky vykonzolované ze zdiva nebo z konstrukce stropu. Takové řešení je vyhovující pouze v případě, kdy hlavní římsa je v úrovni nevytápěného podkroví. V případech, kdy římsa navazuje na vytápěné prostory je třeba návrh posoudit z hlediska nebezpečí vzniku kondenzace na vnitřním povrchu. Pro řešení lze použít některý z principů uvedených v kap. G2.

V případě hlavní římsy je třeba zajistit stabilitu desky dostatečnou výškou půdní nadezdívky nebo zakotvením táhlem do stropní konstrukce (viz G1).



Tradiční konstrukce říms

A - římsa z cihelného vykládaného zdiva, B - železobetonová římsa vyložená ze zdiva, 1 - kamenná deska pro vyložení římsy, 2 - nadokapní žlab, 3 - železobetonová římsová deska, 4 - půdní nadezdívka , 5 - v případě vytápěného podkroví nebezpečí kondenzace na vnitřním povrchu stěny

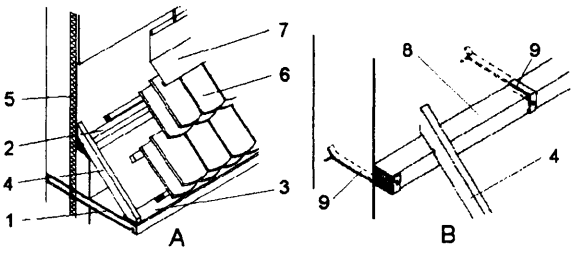


Tradiční dřevěná římsa

1 - dřevěný námětek uložený do zdiva, 2 - prkenné podbíjení, 3 - půdní nadezdívka

Hlavní římsy pod dřevěnými krovy mohou být dřevěné konstrukce. Dřevěný podhled římsy se přibije na námětky připevněné přímo na krokve krovu. Při architektonickém požadavku zakrytí okapních žlabů lze použít i dřevěných říms se zapuštěnými okapními žlaby.

Mezilehlé kordonové římsy nebo markýzy mohou být řešeny i jako dřevěné konstrukce zakryté tradiční taškovou krytinou. Vlastní římsa může být tvořena železobetonovou deskou vykonzolovanou ze zdiva. Dřevěné krokvičky se osadí na nosné trámky připevněné ocelovými kotvami do zdiva a na podkladové prkno přikotvené na okraji železobetonové římsy.

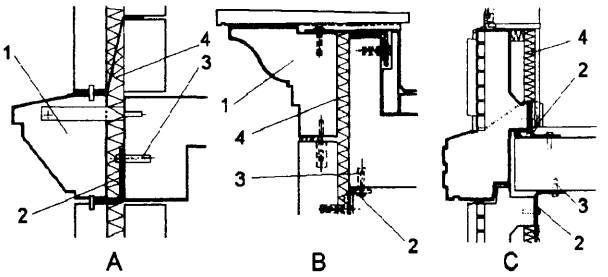


Konstrukce kordonové římsy nebo markýzy s tradiční taškovou krytinou

A - konstrukce kordonové římsy, B - alternativa připevnění podpěrného trámku, 1 - železobetonová římsa s přerušeným tepelným mostem, 2 - pozednička, 3 - podkladové prkno, 4 - krokvička, 5 - tepelná izolace, 6 - dvojitá tašková krytina, 7 - oplechování, 8 - nosný podpěrný trámek, 9 - ocelové kotvy

V současné architektuře se objevují návrhy klasických profilovaných říms nejenom v rámci rekonstrukcí, ale i u novostaveb. Klasická konstrukce se zdobeným štukovým profilem je pracná a proto se používají prefabrikované římsy dvojího typu:

- systémy lehké montované kapotáže ze sklocementových prvků vytvarovaných do požadovaného tvaru římsy,
- železobetonové (eventuálně kamenné) prefabrikované římsy s definitivní úpravou povrchu.

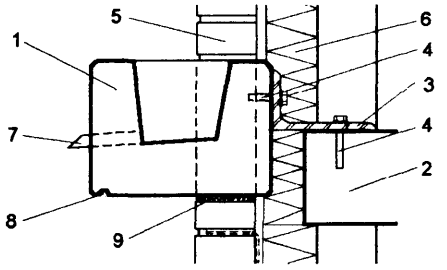


Příklady prefabrikovaných říms

A - římsa ve vnější vrstvě vrstveného obvodového pláště, B - korunová římsa u atiky, C - římsa jako součást prefabrikovaného parapetu, 1 - železobetonová prefabrikovaná římsa - imitace kamene, 2 - kotevní úhelníky, 3 - ocelové rozpěrné kotvy do betonu, 4 - tepelná izolace

Povrchová vrstva železobetonových prefabrikovaných říms může být upravena jako imitace kamene, eventuálně se strukturou omítky. Vnější vzhled prefabrikovaných říms je tak často téměř k nerozeznání od klasických štukových nebo kamenných říms.

Kamenné nebo betonové římsy mohou být i ve tvaru truhlíků pro umístění nádob s květinami nebo přímo substrátu pro pěstování květin. Truhlík musí mít zajištěn odtok vody pomocí otvorů s osazenými trubkami.

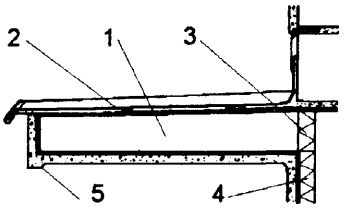


Betonová prefabrikovaná římsa ve tvaru truhlíku na květiny ve vrstveném obvodovém plášti

1 - betonový prefabrikovaný truhlík, 2 - železobetonová stropní konstrukce, 3 - kotvení pomocí ocelového úhelníku, 4 - ocelové rozpěrné kotvy v betonu, 5 - přizdívka z lícových cihel, 6 - tepelná izolace, 7 - trubka pro odvod přebytečné vody, 8 - okapní drážka, 9 - pružná výplň spáry

■ Markýzy a sluneční clony

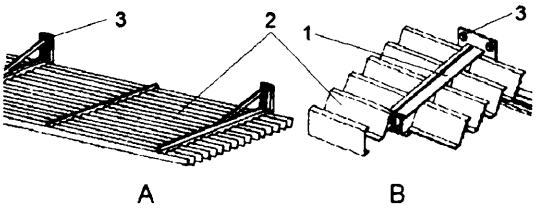
Markýzy se používají jako ochrana před deštěm a sněhem nad vstupy do objektů, sluneční clony slouží k zastínění oken od přímého dopadu slunečních paprsků. Markýzy mají v porovnání s římsami větší vyložení. Je třeba zajistit odvedení vody žlábkem nebo dešťovým žlabem tak, aby voda nestékala na vstupující osoby. Tradiční konstrukce markýzy je železobetonová vykonzolovaná z obvodového zdiva nebo ze stropní konstrukce. V případě železobetonových říms a markýz je třeba řešit otázku tepelného mostu stejně jako u balkonových konzol. Horní povrch markýzy musí být opatřen krytinou z plechu, asfaltových pásů nebo skládanou krytinou na dřevěné konstrukci.



Železobetonová desková markýza

1 - železobetonová vykonzolovaná deska, 2 - oplechování, 3 - přerušený tepelný most - např. konzolový ISO-nosník, 4 - tepelná izolace, 5 - okapní nos

Markýzy se v současné době často provádějí jako lehké zavěšené konstrukce, architektonicky individuálně ztvárněné. Nejčastěji jde o ocelovou kostru z tenkostěnných profilů opláštěnou např. polykarbonátovými průhlednými nebo průsvitnými deskami.



Lehká zavěšená konstrukce sluneční clony

A - lehká kovová konstrukce sluneční clony, B - detail kotvení, 1 - hliníkový nosník, 2 - hliníkové clonicí lamely, 3 - kotvení do obvodové konstrukce pomocí ocelových kotev

Sluneční clony se navrhují zpravidla lamelové s lamelami orientovanými tak, aby účinně bránily slunečním paprskům a zároveň nesnižovaly denní osvětlení vnitřních prostor.

ratura a normy k bloku G

Kohout J., Tobek A.: *Konstruktivní stavitelství I. díl - zednictví*, Jaroměř 1911
Hájek V. a kol.: *Pozemní stavitelství pro2. ročník SPŠ*, Praha 1976
Herout J.: *Staletí kolem nás*, Panorama 1981
Hlavsa V., Vančura J.: *Malá Strana / Menší Město pražské*, SNTL 1983
Kjeldsen M.: *Industrialized Housing in Denmark*, Copenhagen 1988
Dawson S.: *Cast in Concrete*, ACA 1995
ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí, 1988
| *ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov*, 1994
| *ČSN 74 3305 Ochranná zábradlí*, 1989
0] *ČSN 73 4301 Obytné budovy, 1987*
1] *ČSN P ENV 1991-2-1 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí: Objemová tíha, vlastní tíha a užitečná zatížení, 1997*
12] *ČSN P ENV 1991-2-2 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí: Zatížení konstrukcí namáhaných požárem, 1997*
[13] *ČSN P ENV 1991-2-1 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí: Zatížení sněhem, 1997*
[14] *ČSN P ENV 1991-2-1 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí: Zatížení větrem, 1997*
[15] Firemní podklady a prospekty výrobců

Označení veličin a jejich fyzikální rozměr

a	[m]	osová vzdálenost nosníků
b	[m]	šířka
e	[m]	excentricita
f	[Pa]	pevnost materiálu
f_u	[Pa]	mezní pevnost materiálu
f	[Hz]	kmitočet
f	[m]	vzepětí, průvěs
h	[m]	výška
h_s	[m]	tloušťka desky
k	[$Wm^{-2}K^{-1}$]	součinitel prostupu tepla
l	[m]	teoretické rozpětí, délka
l_n	[m]	světlé rozpětí místnosti
m	[$kg.m^{-2}$]	plošná hmotnost
t	[m]	tloušťka
t	[K, °C]	teplota
t_e	[K, °C]	vnější teplota
t_i	[K, °C]	vnitřní teplota
w	[Nm^2],[Nm]	zatížení větrem (spojité)
A	[m^2]	plocha
E	[Pa]	Youngův modul pružnosti
F	[N]	síla
F_d	[N]	návrhová hodnota síly
F_k	[N]	charakteristická hodnota síly
G	[Pa]	modul pružnosti ve smyku
H	[m]	modul výšky podlaží (konstrukční výška podlaží)
H	[N]	vodorovná složka síly
I	[m^4]	moment setrvačnosti průřezu
L_{cr}	[m]	vzpěrná délka
L_n	[dB]	hladina normalizovaného kročejového hluku
L_{pA}	[dB]	hladina akustického tlaku
M	[m]	modul
M	[Nm]	ohybový moment, moment obecně
Q	[N]	smyková (posouvající) síla
R	[m^2KW^{-1}]	tepelný odpor
R	[N],[Nm]	únosnost
R_d	[N],[Nm]	návrhová hodnota únosnosti (odporu) konstrukce
R_w	[dB]	index vzduchové neprůzvučnosti
S	[N],[Nm]	vnitřní síla nebo moment
S_d	[N],[Nm]	návrhová hodnota vnitřní síly nebo momentu
T	[Nm]	kroutící moment
V	[N]	svislá složka síly
W	[N]	výslednice zatížení větrem
W	[m^3]	průřezový modul
α	[K^{-1}]	teplotní součinitel délkové roztažnosti
α	[1]	činitel zvukové pohltivosti
γ	[1]	součinitel spolehlivosti
γ_F	[1]	součinitel zatížení
γ_R	[1]	součinitel odolnosti
ε	[1]	poměrné délkové přetvoření
λ	[$Wm^{-1}K^{-1}$]	součinitel tepelné vodivosti
ν	[1]	součinitel příčné kontrakce (Poissonovo číslo)
ϱ	[$kg\ m^{-3}$]	objemová hmotnost, hustota
σ	[Pa]	normálové napětí
τ	[Pa]	smykové (tangenciální) napětí

Obecné značky podle ENV

A	mimořádné zatížení
A_d	návrhová hodnota mimořádného zatížení
A_k	charakteristická hodnota mimoř. zatížení
E	účinek zatížení
E_d	návrhová hodnota účinku zatížení
F	zatížení
F_d	návrhová hodnota zatížení
F_k	charakteristická hodnota zatížení
G	stálé zatížení
G_d	návrhová hodnota stálého zatížení
G_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
P	zatížení od předpětí
P_d	návrhová hodnota zatížení od předpětí
P_k	charakteristická hodnota zatížení od předpětí
Q	nahodilé zatížení
Q_d	návrhová hodnota nahodilého zatížení
Q_k	charakteristická hodnota nahodilého zatížení
R	odolnost
R_d	návrhová hodnota odolnosti
R_k	charakteristická hodnota odolnosti
X	vlastnost materiálu
X_d	návrhová hodnota vlastnosti materiálu
X_k	charakteristická hodnota vlastnosti materiálu

Pozn: U obecných veličin se neuvádí jednotky, protože mohou mít různý fyzikální rozměr