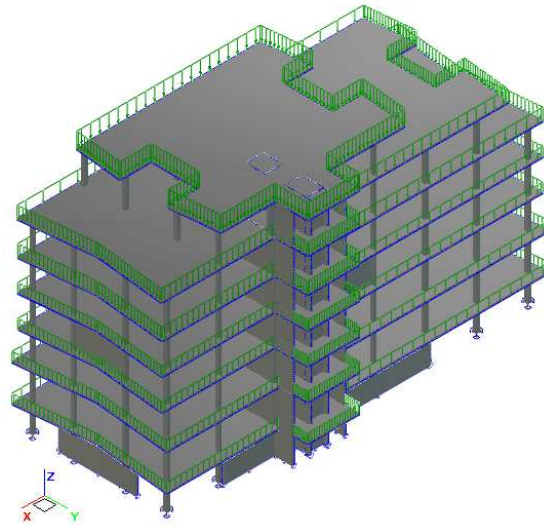


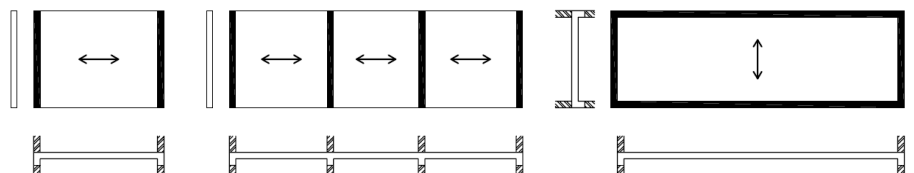
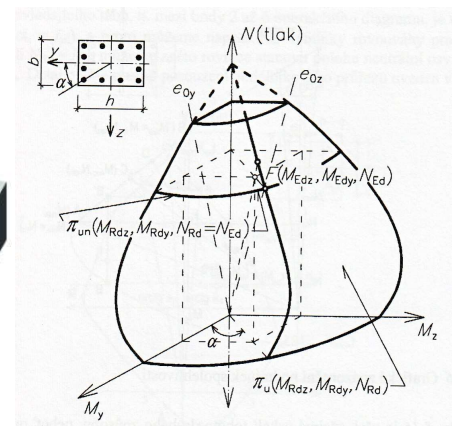
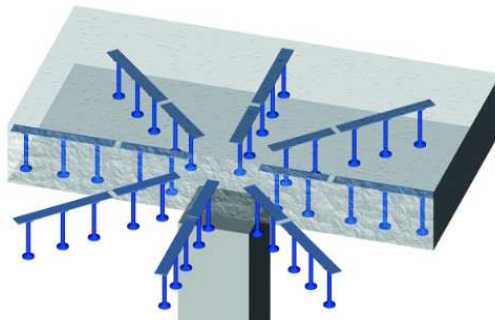


ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Základní typy betonových konstrukcí pozemních staveb se vzorovými příklady

1. TEXTOVÁ ČÁST



projekt FRVŠ 294/2015/G1

řešitelský kolektiv : Ing. Ondřej Vrátný
Ing. Martin Tipka
doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

OBSAH :**TEXTOVÁ ČÁST - Popis základních typů ŽB konstrukcí pozemních staveb**

| | | |
|--------------|---------------------------------------|-----------|
| 1 | ÚVOD | 4 |
| 2 | VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE | 5 |
| 2.1 | Jednosměrně pnutá deska | 5 |
| 2.1.1 | Trémový a žebrový strop | 6 |
| 2.2 | Deska pnutá ve dvou směrech | 7 |
| 2.2.1 | Po obvodě podepřená deska | 7 |
| 2.2.2 | Lokálně podepřená deska | 8 |
| 2.2.3 | Roštový a kazetový strop | 9 |
| 2.3 | Deska s otvorem (prostupem) | 10 |
| 2.4 | Schodiště | 11 |
| 3 | SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE | 15 |
| 3.1 | Sloupy a pilíře | 15 |
| 3.2 | Stěny | 17 |
| 4. | ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE | 18 |
| 4.1 | Základy plošné | 18 |
| 4.1.1 | Základové patky | 18 |
| 4.1.2 | Základové pásy | 19 |
| 4.1.3 | Základový rošt | 20 |
| 4.1.4 | Základová deska | 20 |
| 4.2 | Základy hlubinné | 21 |
| 4.2.1 | Piloty | 21 |
| 5. | OPĚRNÉ KONSTRUKCE | 21 |
| 5.1 | Opěrné stěny | 21 |
| 5.1.1 | Gravitační stěna z prostého betonu | 21 |
| 5.1.2 | Opěrné železobetonové stěny | 22 |
| 5.2 | Železobetonová suterénní stěna | 23 |
| | LITERATURA | 24 |

PŘÍKLADOVÁ ČÁST - Komentované příklady

| | | |
|------------------------|----------------------------------------------|-----|
| Příklad č. 1 : | Návrh rozměrů a vyztužení ŽB sloupu | P2 |
| Příklad č. 2 : | Excentricky zatížený ŽB sloup | P4 |
| Příklad č. 3 : | Návrh vyztužení ŽB stěny | P8 |
| Příklad č. 4: | Návrh monolitického ŽB schodiště | P11 |
| Příklad č. 5 : | Návrh prefabrikovaného ŽB schodiště | P15 |
| Příklad č. 6 : | Návrh vyztužení ŽB po obvodě podepřené desky | P21 |
| Příklad č. 7 : | Návrh vyztužení ŽB stropní kazetové desky | P25 |
| Příklad č. 8 : | Návrh vyztužení stropní desky s otvory | P29 |
| Příklad č. 9: | Návrh základového pásu z prostého betonu | P32 |
| Příklad č. 10 : | Návrh základové patky z prostého betonu | P34 |
| Příklad č. 11 : | Návrh železobetonové základové patky | P37 |

SROVNÁVACÍ STUDIE - Řešení po obvodě nepoddajně podepřené ŽB stropní desky

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| Předběžný návrh nosných prvků | S3 |
| I. Výpočet momentů dle teorie pružnosti (tabulkový výpočet) | S7 |
| II. Výpočet momentů dle teorie plasticity (tabulkový výpočet) | S11 |
| III. Numerické řešení metodou konečných prvků dle teorie pružnosti | S14 |
| IV. Srovnání výsledků tabulkového výpočtu a řešení MKP | S17 |

1. Úvod

Práce vznikla jako komplexní pomůcka pro výuku na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze. Základem jsou řešené komentované příklady. K pochopení každého z příkladů by mělo přispět obecné řešení příkladu vždy v úvodu s krátkým komentářem a teoretický základ v úvodní části tohoto projektu. Na základě praktických zkušeností s výukou betonových konstrukcí jsme dospěli k závěru, že dobře vysvětlený příklad přispívá k rychlejšímu pochopení základních principů návrhu konstrukce. V rámci výuky je také přínosem možnost navázat na již vypočtený vzorový příklad a věnovat více času podrobnějšímu osvětlení problematických míst výpočtu.

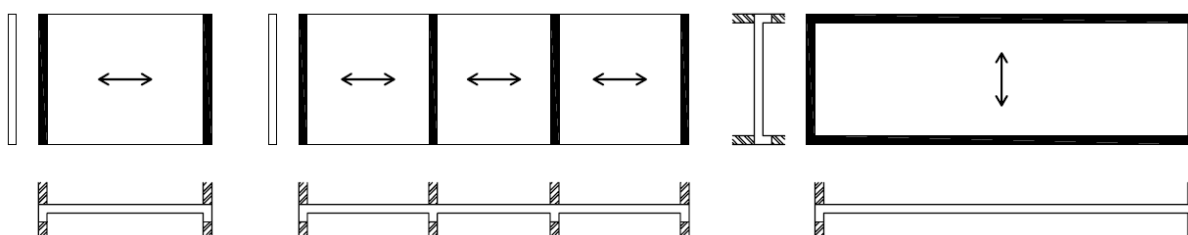
Cílem projektu bylo vytvoření pomůcky pro studenty, budoucí statiky, která by jim měla pomoci se zorientovat v jednoduchých řešeních návrhů betonových a železobetonových konstrukcí. V následujícím textu jsou vysvětleny základní principy posuzování betonových konstrukcí. Základem je pochopení, že navrhovaná konstrukce je prostředek pro přenos všech sil působících na budovu z vodorovných konstrukcí do svislých nosných konstrukcí a dále přes základové konstrukce do podloží. Základní typy betonových konstrukcí jsou v následujícím textu představeny a pro vybrané prvky jsou vypočteny jednoduché příklady s obecným řešením a komentářem.

2. VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Pod pojmem vodorovné nosné konstrukce pozemních staveb rozumíme konstrukce, které rozdělují objekt po výšce a vytvářejí vodorovnou nosnou konstrukci pro zamýšlený provoz a konstrukce ostatní a podílejí se na celkovém ztužení objektu. Konkrétně se jedná o stropní a střešní desky. Jejich tvary i vlastnosti mohou být rozličné, vycházejí z architektonického ztvárnění a odpovídají funkčním požadavkům objektu. V případě železobetonu se nejčastěji jedná o desky. Deska představuje tenkostěnný nosný prvek s jedním rozměrem výrazně menším oproti ostatním, zatížený kolmo na svou střednicovou rovinu. Dominantním způsobem namáhání je tak ohyb, v některých případech smyk. Z hlediska statického chování rozlišujeme několik typů železobetonových desek.

2.1 Jednosměrně pnutá deska

Jednosměrně pnutá deska představuje deskovou konstrukci podepřenou po dvou protilehlých stranách, případně konstrukci podepřenou po více stranách s poměrem rozpětí $L_x : L_y \geq 2 : 1$. V obou případech je jasně dáno statické působení, veškeré zatížení je přenášeno jedním směrem.

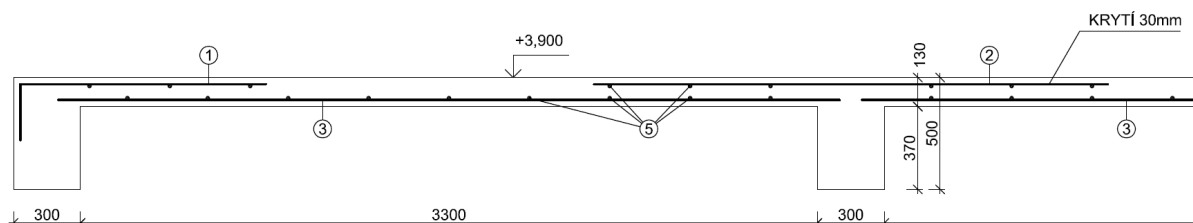


Obr. 1 Jednosměrně pnutá deska

Tloušťka konstrukce závisí na hodnotě zatížení a na rozpětí nosného směru. S přihlédnutím ke způsobu uložení jsou sestaveny přibližné empirické vzorce pro její stanovení :

- prosté uložení : $h_d = \left(\frac{1}{25} \div \frac{1}{20} \right) \cdot L$
- oboustranné vetknutí nebo spojitost : $h_d = \left(\frac{1}{35} \div \frac{1}{30} \right) \cdot L$
- konzola : $h_d = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{5} \right) \cdot L$

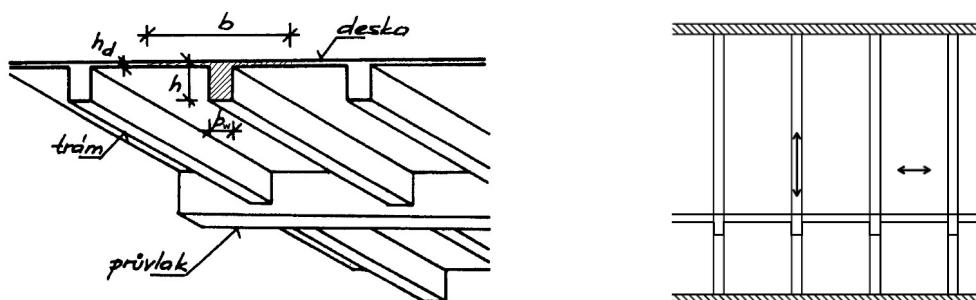
Konstrukce se vyznačuje jednoduchým způsobem vyztužení. Hlavní nosná výztuž probíhá v jednom směru a vykřívá desku na straně tažených vláken, ve směru kolmém se rozmisťuje výztuž rozdělovací.



Obr. 2 Vyztužení jednosměrně pnuté desky

2.1.1 Trámový a žebrový strop

V případě *trámového stropu* je stropní deska je pnutá mezi stropními trámy a ty následně roznášejí zatížení do průvlaků nebo svislých nosných konstrukcí. Tato hierarchie roznášení zatížení umožňuje realizaci subtilnější desky, neboť její vlastní rozpětí se zmenšuje na osovou vzdálenost trámů. Na druhou stranu celkovou konstrukční výšku stropní konstrukce zvyšují trámy.



Obr. 3 Trámový strop

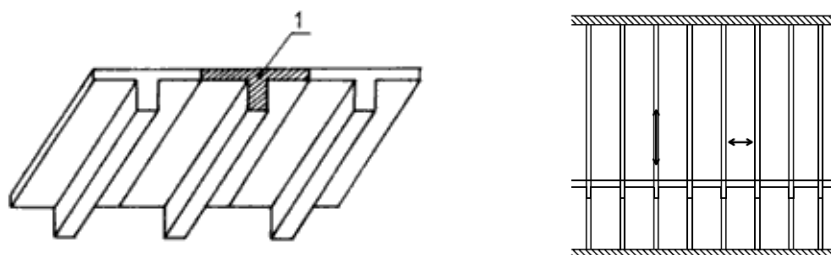
Běžný trámový strop se používá do rozpětí 6 - 7 m, ve speciálních případech až 9 m. Vzdálenosti trámů se pohybují v rozmezí 1,2 - 3,0 m. Orientační výšky trámů jsou závislé na rozpětí, uložení a zatížení :

- prosté uložení : $h_t = \left(\frac{1}{17} \div \frac{1}{12} \right) \cdot L$
- oboustranné vetknutý nebo spojitý trám : $h_t = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{15} \right) \cdot L$
- průvlak, značně zatížený trám : $h_p = \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{10} \right) \cdot L$

Šířka trámů do jisté míry závisí na jeho výšce, ovšem je také nutné přihlížet k rozměrům napojujících se svislých nosných konstrukcí

- šířka trámu : $b_t = \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3} \right) \cdot h_t$

Se zmenšující se velikostí trámů a jejich osové vzdálenosti přechází trámový strop postupně ve *strop žebrový*. Ten je tak na první pohled zmenšeninou stropu trámového, jeho statické působení je však zcela odlišné. Zatímco u trámového stropu přenáší deska zatížení mezi trámy a tudíž ve směru kolmém na osy trámů, u žebrového stropu spolupůsobí deska se žebry ve formě příruby a zatížení je roznášeno rovnou ve směru os žeber.



Obr. 4 Žebrový strop

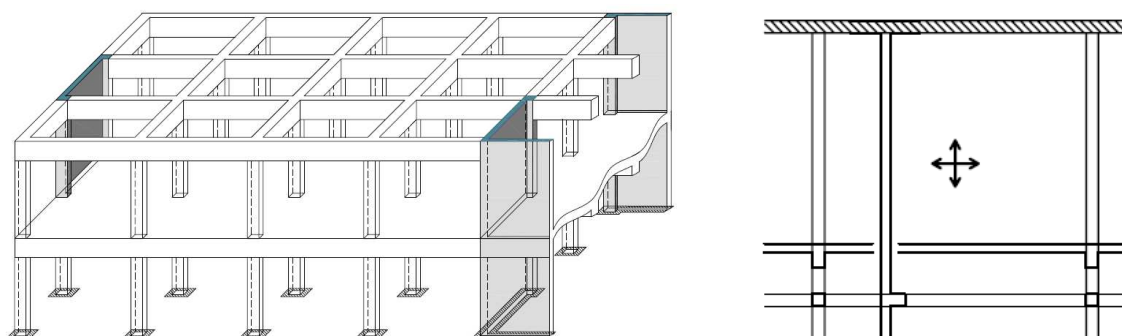
Osová vzdálenost žeber se pohybuje v rozmezí 0,5 - 1,0 m, žebra bývají široká 60 - 120 mm.

2.2 Deska pnutá ve dvou směrech

Za *desku působící ve dvou směrech* lze považovat desku podepřenou takovým způsobem, který umožňuje přetvoření desky ve dvou navzájem kolmých směrech. Prakticky to představuje desku s poměrem rozpětí $L_x : L_y \leq 2 : 1$. Při větším poměru již nastává dominantní přenos zatížení v jednom směru a hovoříme o *jednosměrně pnuté desce* (ať již liniově nebo lokálně podepřené). Deska pnutá ve dvou směrech je staticky výhodná zejména při působení lokálních břemen (roznos zatížení do větší plochy). Ve srovnání s deskami jednosměrně pnutými umožňuje při stejných parametrech zadání (zatížení a rozpětí) realizaci subtilnější konstrukce, naopak při stejné tloušťce vykazuje větší únosnost.

2.2.1 Po obvodě podepřená deska

Po obvodě nepoddajně podepřená deska představuje konstrukci, u níž je zabráněno svislému průhybu okrajových částí. Deska je po svém obvodě podepřena dostatečně tuhými prvky (průvlaky, stěny), které předurčují způsob a směr roznášení jejího plošného zatížení. Na základě rovnosti středového průhybu desky je možné vyčíslit poměrnou část zatížení příslušející konkrétnímu směru, obecně platí, že více zatížení se je přenášeno ve směru kratšího rozpětí a tužšího upnutí. Z takto stanovené poměrné části zatížení lze při znalosti okrajových podmínek (způsobu uložení desky) vyčíslit namáhání (návrhový ohybový moment) konstrukce v rozhodujících průřezech. Pokud je zabráněno zvedání rohů desky, vznikají navíc v rozích desek záporné ohybové momenty a momenty krouťící.



Obr. 5 Po obvodě podepřená deska

Přibližné empirické vzorce pro stanovení tloušťky po obvodě nepoddajně podepřené desky :

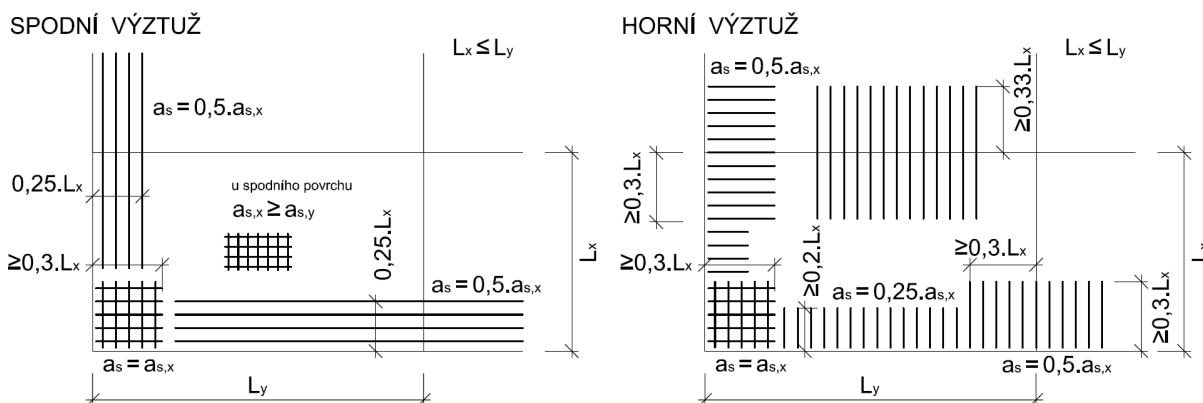
- prosté uložení : $h_d = \left(\frac{1}{35} \div \frac{1}{30} \right) \cdot L_x$ resp. $h_d = \frac{1}{75} \cdot (L_x + L_y) + \Delta$
- vetknutí nebo spojitost : $h_d = \left(\frac{1}{45} \div \frac{1}{40} \right) \cdot L_x$ resp. $h_d = \frac{1}{90} \cdot (L_x + L_y) + \Delta$

kde L_x je kratší a L_y je delší rozpětí pole

Lepším způsobem je však návrh z podmínky splnění limitní ohybové štíhlosti :

$$\lambda = \frac{L_d}{d} \leq \lambda_d = \kappa_{c1} \cdot \kappa_{c2} \cdot \kappa_{c3} \cdot \lambda_{d,tab}$$

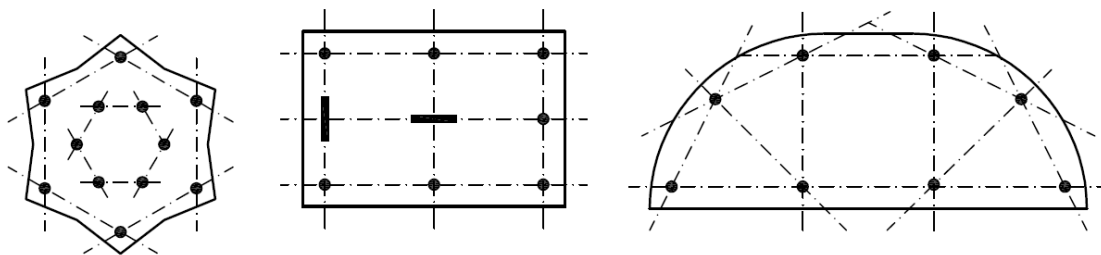
Největší kladné ohybové momenty (tažená spodní vlákna desek) vznikají uprostřed deskových polí, největší záporné ohybové momenty na průvlaky. Vyztužení desky odpovídá zjištěnému namáhání. K vyztužování se pro jednoduchost používá ortogonální výztuž ve dvou směrech, ačkoli směry hlavních napětí se vlivem krouticích momentů stáčí.



Obr. 6 Vyztužení po obvodě podepřené desky

2.2.2 Lokálně podepřená deska

Lokálně podepřená deska představuje konstrukci působící ve dvou směrech, podepřenou lokálními prvky, bez liniových vodorovných nosných prvků (trámy, průvlaky, žebra ...). Rovinnost podhledu může být narušena hlavicemi nebo ztužujícími trámy. Tloušťka desky bývá obvykle konstantní, v oblasti podpor však může být zesílena.



Obr. 7 Tvarové uspořádání lokálně podepřných desek

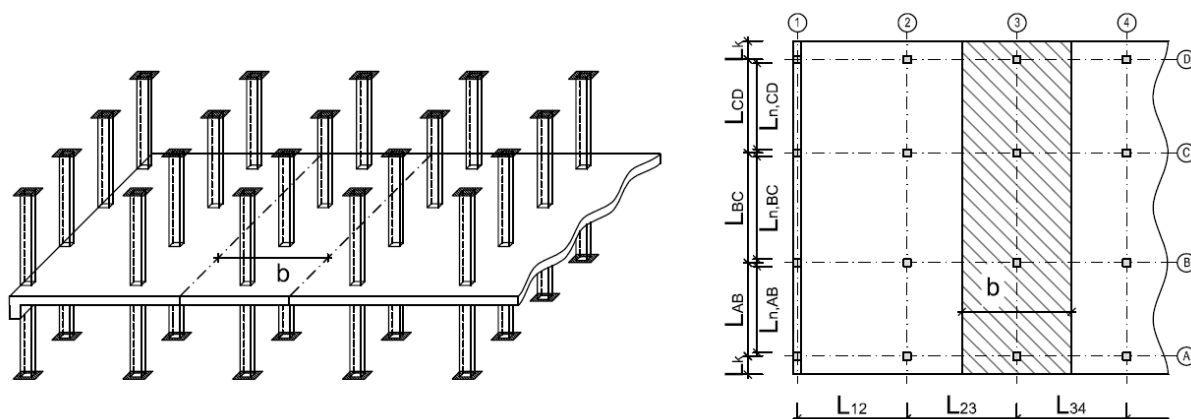
Lokální podepření umožňuje přetvoření desky ve dvou navzájem kolmých směrech (průhybová plocha s dvojitou křivostí). Oba směry přenášejí plnou hodnotu zatížení, středový průhyb konstrukce je součtem průhybů v obou směrech.

Minimální tloušťka bezhřibové lokálně podepřené ŽB desky bez zesílení je 160 mm, bezhřibové zesílené desky 120 mm. Pokud je nutné desku opatřit smykovou výztuží, její tloušťka musí být větší než 200 mm. Doporučená tloušťky desek závisí na variantě provedení :

- bezhřibová deska s okrajovým žebrem: $h_d = \frac{1}{33} \cdot L_{\max}$
- bezhřibová deska s volným okrajem : $h_d = 1,1 \cdot \frac{1}{33} \cdot L_{\max}$
- hřibová deska : $h_d = \frac{1}{35} \cdot L_{\max}$

Stejně jako u po obvodě podepřené desky je však lepší při návrhu tloušťky desky vycházet z podmínky limitní ohybové štíhlosti.

U bezřibových stropů bývá pro návrh tloušťky desky rozhodující oblast v bezprostředním okolí sloupů, namáhaná maximálními ohybovými momenty a smykem (protlačení). Za účelem zvýšení bezpečnosti proti protlačení desky sloupem lze vložit nad sloup do desky ocelovou skrytou hlavici (ocelovou nebo předpjatou prefabrikovanou). Osová vzdálenost lokálních podpor nevylehčených desek se volí v rozmezí 5 - 9 m (častěji do 7,5m). Pravidelnou konstrukci lze řešit nezávisle pro jednotlivé sloupové pásy. Při návrhu vyztužení se konstrukce rozděluje na střední a sloupové pruhy, přičemž sloupovým pruhům se vzhledem k jejich větší tuhosti přisuzuje větší část ohybového momentu vypočítaná pro daný sloupový pás.



Obr. 8 Rozdělení lokálně podepřené desky na sloupové pásy

Vyztužování desky na ohyb lze provádět vázanou výztuží i výztuží v podobě svařovaných sítí. V případě překonzolovaných okrajů desky je nutné krajní sloupový pruh vybavit výztuží na kroucení. Specifickým způsobem namáhání lokálně podepřených desek je protlačení. V okolí lokálních podpor dochází v dílčích obvodech k překročení smykové únosnosti betonu, a proto je nutné tato místa doplnit výztuží na protlačení v podobě třmínek, ohybů, smykových trnů, či třmínekových lišt (**Obr. 9**). Zároveň nesmí v oblasti vzniku tlacené diagonály dojít k drcení betonu v tlaku.



Obr. 9 Ukázky výztuže na protlačení

2.2.3 Roštový a kazetový strop

Roštový a kazetový strop představují obdobu stropů trémových a žebrových, s tím rozdílem, že trámy resp. žebra jsou orientovány v obou navzájem kolmých směrech. V případě roštového stropu je zatížení desky roznášeno ve dvou směrech a prostřednictvím trámů přenášeno do svislých podpor. Konstrukce kazetového stropu se chová obdobně jako plná ŽB desková konstrukce pnutá ve dvou směrech, její výhodou oproti plné desce je výrazně nižší

hmotnost daná středovým vylehčením. Kazetová deska může být podepřena lokálně nebo liniově, v blízkosti podpor se doporučuje kazetové vylehčení vypustit (lepší odolnost vůči smyku a protlačení).



Obr. 10 Roštový a kazetový strop

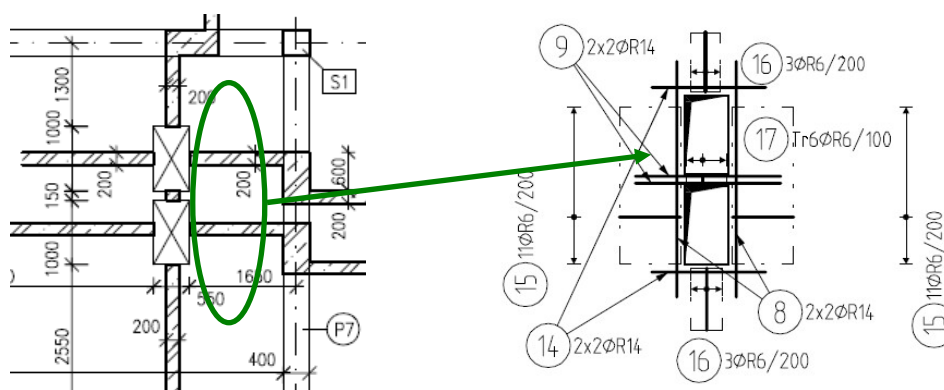
Celková konstrukční výška kazetové stropní konstrukce h_d je v porovnání s plnou konstrukcí vyšší (např. $h_d = 400 \text{ mm}$), tloušťka vlastní desky nad vylehčením h_f je výrazně tenčí :

$$\blacksquare \quad h_f \geq \max\left(\frac{a_n}{10}; 50 \text{ mm}\right) \quad , \text{ kde } a_n \text{ je světlá vzdálenost líců sousedních žeber}$$

Vzhledem ke snížené vlastní tíze a větší účinné výšce průřezu umožňuje kazetový strop realizaci zastropení rozsáhlejších prostor.

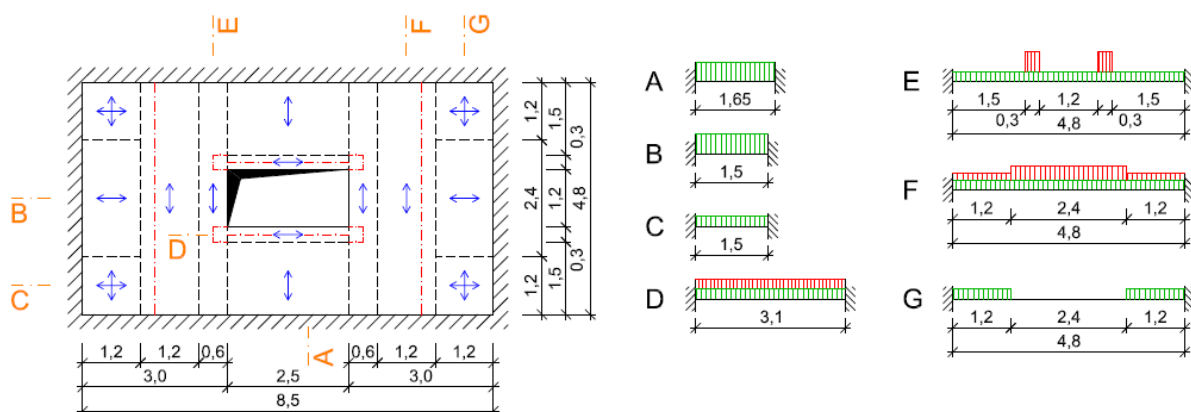
2.3 Deska s otvorem (prostupem)

Z důvodu rozvodů TZB a instalací po objektu bývá stropní deska často prostoupěna stropními otvory. V případě malých rozměrů nepředstavují prostupy výraznější problém. V takovém případě bude veškerá výztuž přerušena postupem nahrazena v jeho bezprostředním okolí. Okraje prostupu je pouze nutné opatřit lemovací výztuží.



Obr. 11 Oslabení stropní desky lokálními prostupy

V případě velkých otvorů (vyzdívaná instalační jádra, samonosné schodiště, apod.) již dochází ke směně statických schémat rozdělení zatížení a je nutné přistoupit k individuálnímu řešení. V okolí prostupu vzniká systém skrytých nosníků, které slouží jako podpory pro okolní části stropní desky a přenášejí tak kromě vlastního zatížení i jejich reakce. V některých případech není způsob tohoto rozdělení konstrukce jednoznačný a závisí na konkrétním návrhu výztuže. Deska se ve finále chová právě podle vyztužení - tužší části představují podpory pro části měkčí.



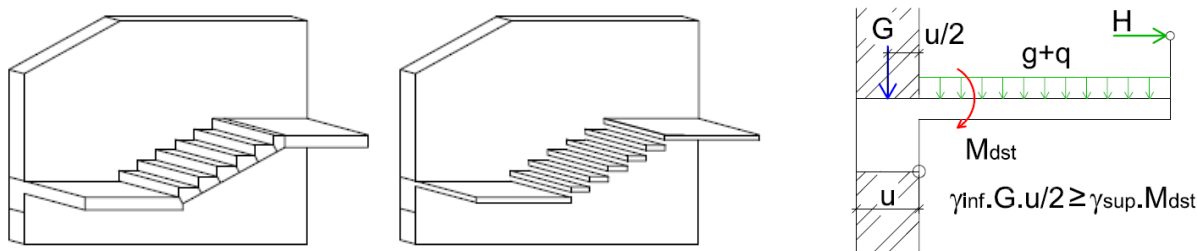
Obr. 12 Změna statického roznášení zatížení desky s velkým prostupem

2.4 Schodiště

Schodiště je souborem stavebních prvků, sloužící k propojení jednotlivých podlaží nebo k překonání určitého výškového rozdílu. Obecně umožňuje vertikální komunikaci v objektu. Podle umístění lze rozlišit schodiště vnitřní, vnější a terénní, podle půdorysného tvaru přímočará, křivočará nebo smíšená. Schodiště se skládá z podest, mezipodest a schodišťových ramen. Podle počtu ramen rozlišujeme schodiště jednoramenná, dvouramenná a víceramenná. Ramena obsahují schodišťové stupně, jejichž rozměry (poměr výšky a délky) určují sklon ramene. Pro konstrukci schodiště lze v současnosti použít téměř libovolný konstrukční materiál.

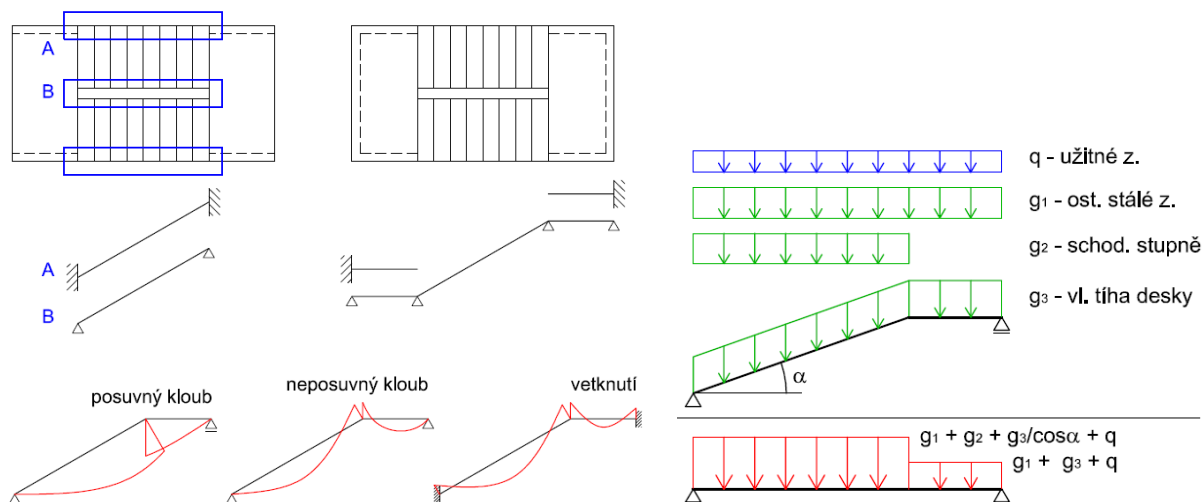
Železobetonová schodiště mohou být z hlediska technologie provádění monolitická, prefamonolitická nebo montovaná (prefabrikovaná), z hlediska statického působení schodiště s jednotlivými stupni (uloženými do schodnic nebo přímo do schodišťových stěn), schodiště desková a schodiště schodnicová. Desková schodišťová ramena ve formě prefabrikátů mohou být s nebo bez předem vybetonovaných stupňů. Každá z variant se vyznačuje jinými statickými schématy a odlišným způsobem vyztužování.

Monolitické schodiště s jednotlivými stupni je tvořeno podestami a schodišťovými stupni, uloženými do schodišťových stěn. Uložení může být jednostranné, kdy jsou jednotlivé prvky vykonzolované ze stěny, nebo oboustranné, pak prvky působí jako vetknuté nosníky (v případě monolitického spojení se stěnou) nebo prosté nosníky (v případě uložení do zdiva). Pro jednostranné ukládání do zdiva je nutné vytvoření pozedního věnce, který musí být současně dostatečně prítížen, jinak hrozí kolaps schodiště z důvodu ztráty stability.



Obr. 13 Schodiště s jednotlivými stupni vykonzolovanými ze schodišťové stěny

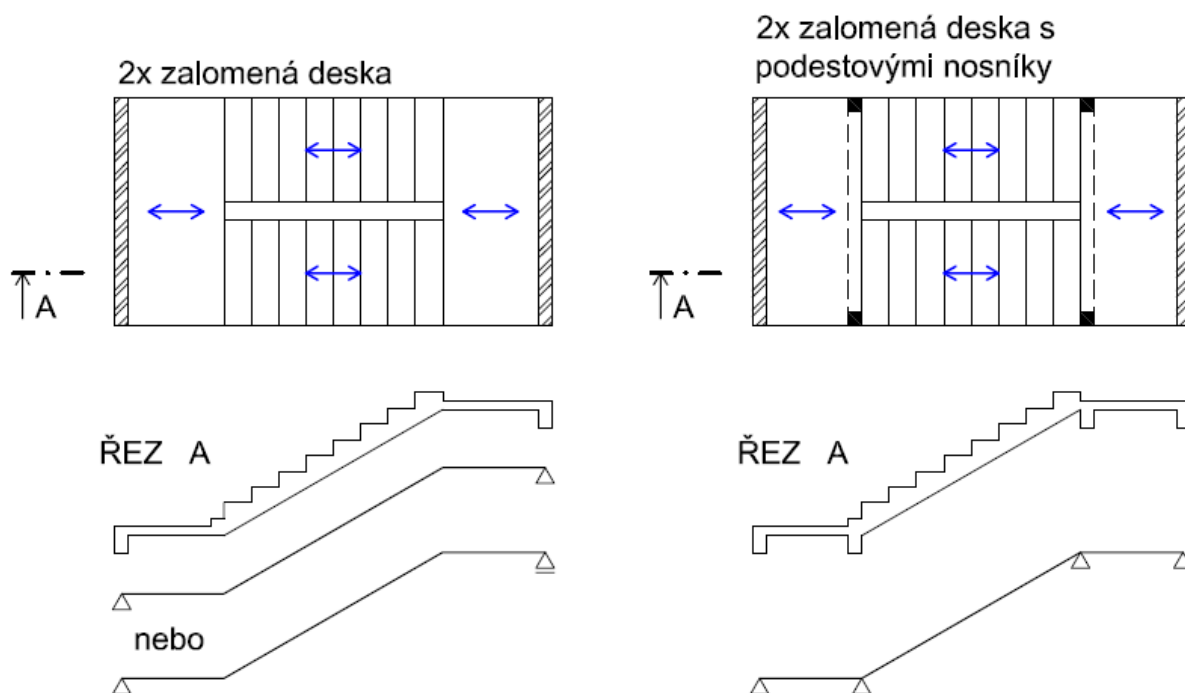
Monolitické deskové schodiště je tvořeno deskovými podestami a mezipodestami a mezi nimi jsou pnutá desková schodišťová ramena. Typickým znakem tohoto typu schodišť je monolitické spojení všech konstrukčních prvků. Přesto nejsou statická schémata vždy jednoznačná a při návrhu je nutné hledat optimální kompromis.



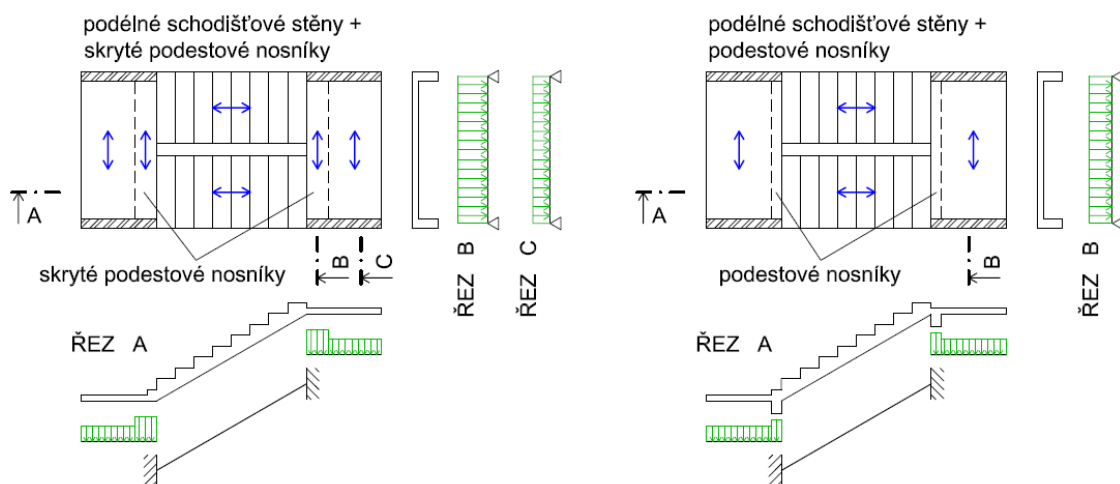
Obr. 14 Statická schémata deskových schodišť

Variant uspořádání monolitických deskových schodišť je celá řada a každému odpovídá jiné statické schéma. Pro ukázkou jsou uvedeny alespoň některé :

- příčné schodišťové stěny + 2x zalomená deska bez podestových nosníků
- příčné schodišťové stěny + 2x zalomená deska s podestovými nosníky
- podélné schodišťové stěny + skryté podestové nosníky
- podélné schodišťové stěny + podestové nosníky

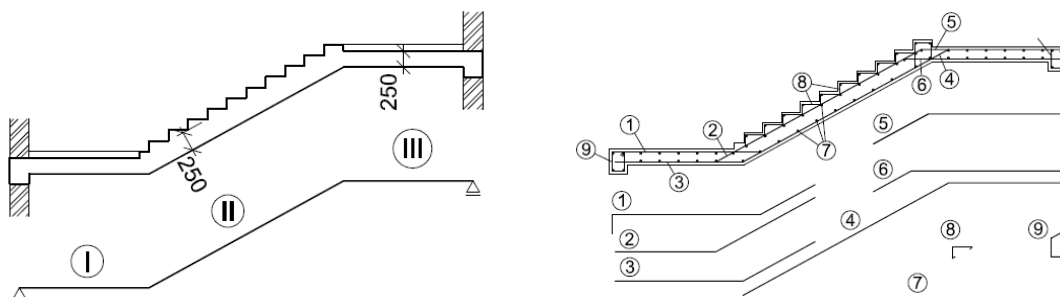


Obr. 15 Desková schodiště s příčnými schodišťovými stěnami



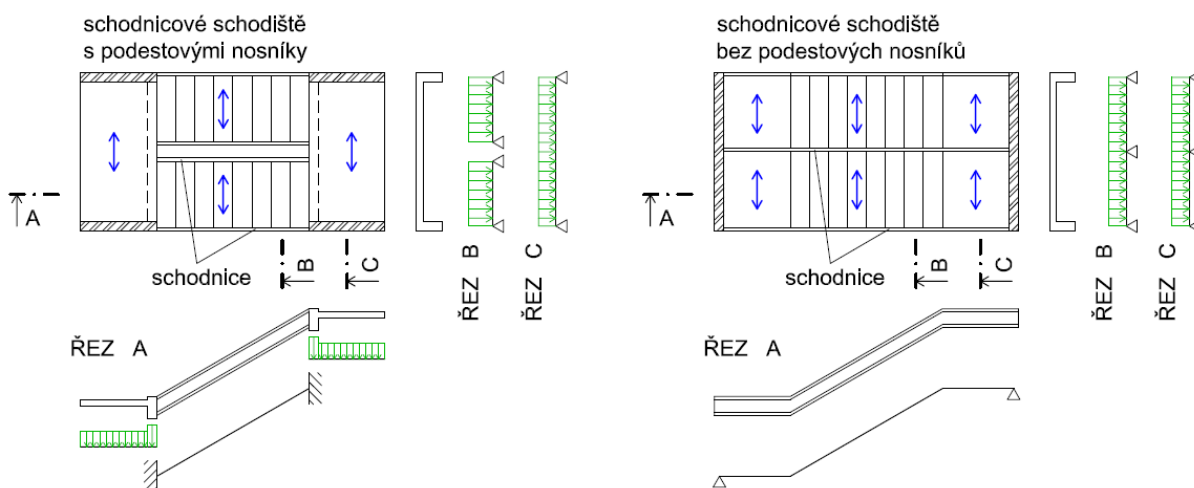
Obr. 16 Desková schodiště s podélnými schodišťovými stěnami

Pro vyztužení monolitických schodišť je typické provázání schodišťových ramen s podestami. Podle zvoleného statického schématu (např. posuvné či neposuvné podpory - viz **Obr. 14**) se liší průběhy vypočítaných vnitřních sil. Z důvodu nejistoty správnosti této volby bývá obvyklé konzervativní vyztužování schodišťové konstrukce u obou povrchů.



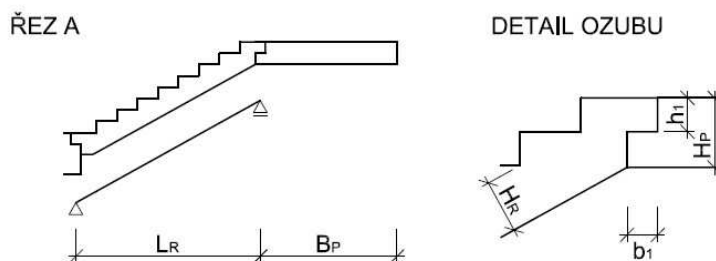
Obr. 17 Vyztužení 2x zalomeného deskového schodiště

Schodnicové schodiště je tvořeno schodnicemi, mezi kterými je pnutá schodišťová deska (rameno, příp. podesta). Schodnice mohou být uloženy na podestavé nosníky nebo na příčné schodišťové stěny.



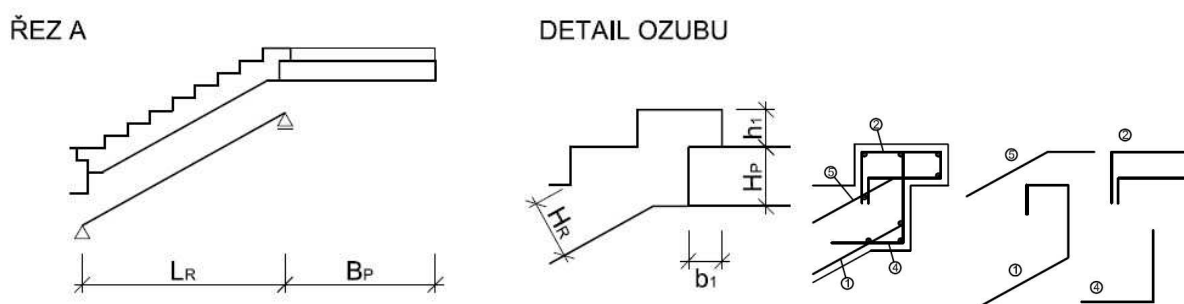
Obr. 18 Varianty schodnicových schodišť

Montované deskové schodiště představuje konstrukci sestavenou z jednotlivých prefabrikovaných dílců. Podesty a mezipodesty jsou obdobně jako stropní panely osazeny na liniové nosné prvky v případě skeletu nebo na stěny v případě stěnového systému, schodišťová ramena jsou přes ozuby uložena a pnutá mezi podestami (prostý nosník).



Obr. 19 Uspořádání prefabrikovaného schodiště

Obdobou popsaného typu schodiště je kombinace monolitických podest s prefabrikovaným schodišťovým ramenem. Tato varianta se používá v případě, že celý objekt je monolitický, ale konstrukce schodišťového ramene by byla v podmínkách staveniště značně obtížná. V takovém případě bývají ramenní prefabrikáty osazovány přes ozuby na monolitickou podestu, přičemž výškový rozdíl ozubu vyrovnává podlahová vrstva podesty (konstrukce monolitického ozubu by byla technicky příliš náročná).



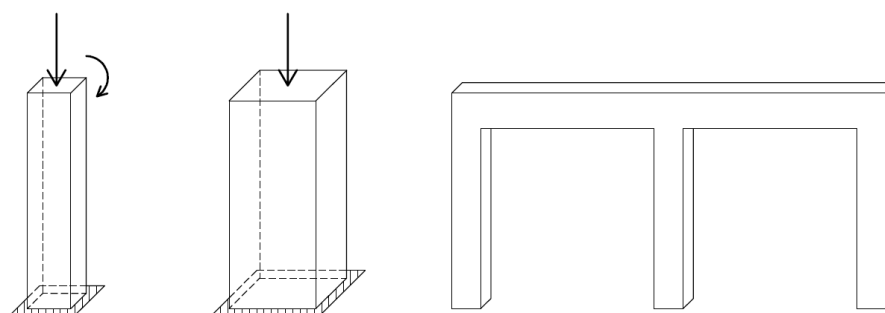
Obr. 20 Osazení prefabrikovaného ramene na monolitickou podestu

3. SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Svislé nosné konstrukce, jak už název napovídá, představují systém svisle nebo šikmo orientovaných konstrukčních prvků, jejichž úkolem je udržovat stabilitu objektu a přenášet zatížení vodorovných nosných konstrukcí a základů a podloží. Společně s konstrukcemi vodorovnými vytvářejí základní nosný systém objektu. Podle tvaru, rozměrů rozdělujeme svislé nosné konstrukce na sloupy, pilíře a stěny.

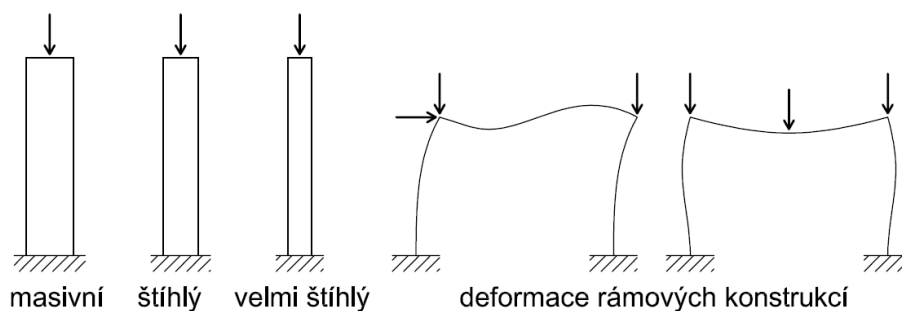
3.1 Sloupy a pilíře

Sloup představuje liniový prvek, jehož výškový rozměr výrazně převyšuje šířku a tloušťku a je zatížený převážně tlakovou normálovou silou (působící ve směru střednice), případně kombinací normálové síly a ohybového momentu. Sloupy mohou být samostatné nebo součástí rámové konstrukce. Sloup s masivnějším průřezem bývá označován jako *pilíř*.



Obr. 21 Varianty svislých liniových nosných prvků

Z hlediska štíhlosti rozlišujeme při navrhování tlacené prvky masivní, štíhlé a velmi štíhlé. Masivní tlacené prvky se porušují dosažením únosnosti v tlaku (centrickém či excentrickém), příp. tlaku za ohybu. Také štíhlé prvky se porušují vyčerpáním únosnosti materiálu, pouze je nutné respektovat rovnováhu na přetvořené konstrukci (zahrnout účinky II. řádu). Typickým způsobem porušení pro velmi štíhlé tlacené prvky je vzpěrný tlak, kdy prvek vybočí ve směru nejmenší tuhosti ještě před dosažením normálové únosnosti.

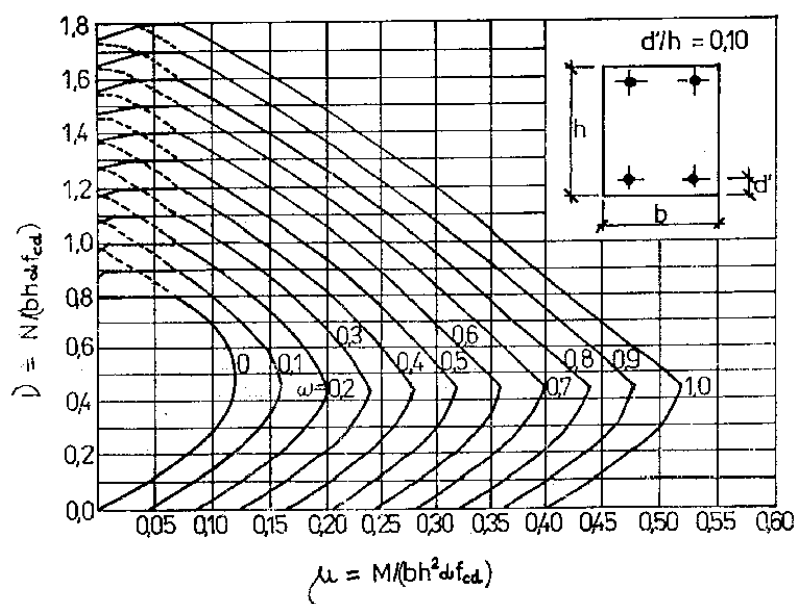


Obr. 22 Štíhlost a deformace sloupů

Při návrhu průřezových rozměrů sloupu lze s výhodou využít vztah z ČSN P ENV 1992-1-1 pro únosnost v dostředném tlaku, při odhadu stupně vyztužení $\rho = 0,015 \div 0,03$ (ponechání rezervy pro případný ohyb) :

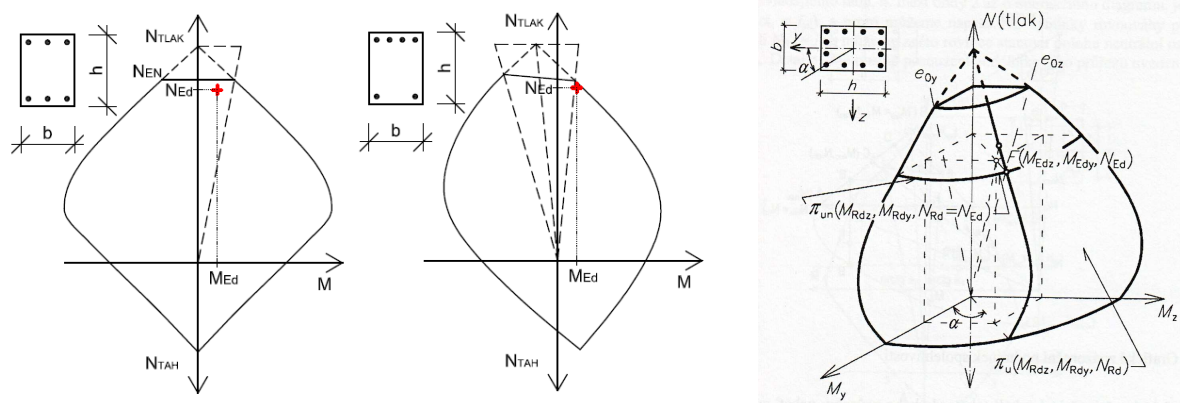
$$\bullet \quad N_{Ed} \leq N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + \rho \cdot A_c \cdot \sigma_s$$

Návrh vyztužení sloupu se v případě kombinace tlaku a ohybu provádí pomocí tzv. nomogramů, ze kterých se na základě poměrné normálové síly a poměrného ohybového momentu graficky odečítá mechanický stupeň vyztužení sloupu.



Obr. 23 Návrh vyztužení sloupu pomocí nomogramu

Posuzování únosnosti ŽB sloupů se provádí pomocí tzv. interakčního diagramu. Interakční diagram zobrazuje závislost momentu únosnosti $M_{Rd,i}$ na velikosti vyvolané normálové síly $N_{Rd,i}$. Množina bodů o souřadnicích $[N_{Rd,i}; M_{Rd,i}]$ tak představuje hranici únosnosti daného průřezu ŽB sloupu. Při posuzování je potřeba zohledňovat vliv geometrických imperfekcí a štíhlosti. Interakční diagram může být dvojrozměrný (při kombinaci normálové síly a ohybu ve směru jedné z hlavních os), příp. trojrozměrný (při kombinaci normálové síly a šikmého ohybu).



Obr. 24 Tvary interakčních diagramů

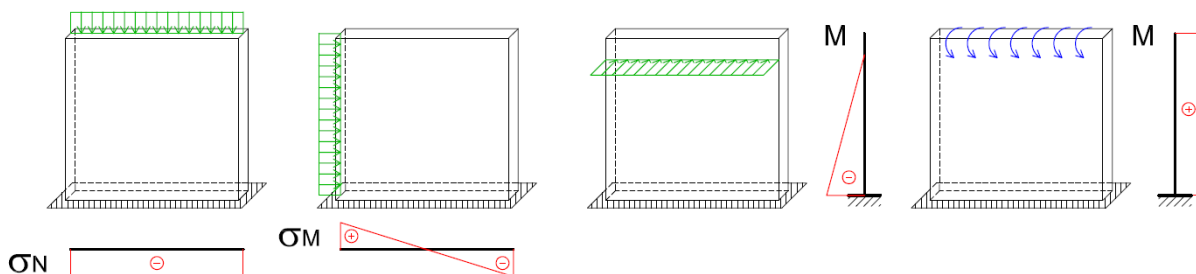
Při dostředném tlaku ŽB sloupů nelze většinou využít plný potenciál výztuže, neboť její napětí je limitováno mezním přetvořením betonu v tlaku. K plnému využití výztuže tak dochází až při kombinaci tlaku a ohybu, nebo tahu.

3.2 Stěny

Stěna představuje svislý nebo mírně skloněný plošný prvek, jehož tloušťka je výrazně menší než délka a výška. V konstrukčním systému plní stěna funkci především nosnou a ztužující. Může být namáhána tlakem, smykem, ohybem nebo libovolnou kombinací výše uvedených. Stejně jako u sloupů hraje klíčovou roli v únosnosti stěny její štíhlost. Oproti sloupům plní stěna navíc často funkci dělicí a izolační, proto je důležité zachování její celistvosti při namáhání.

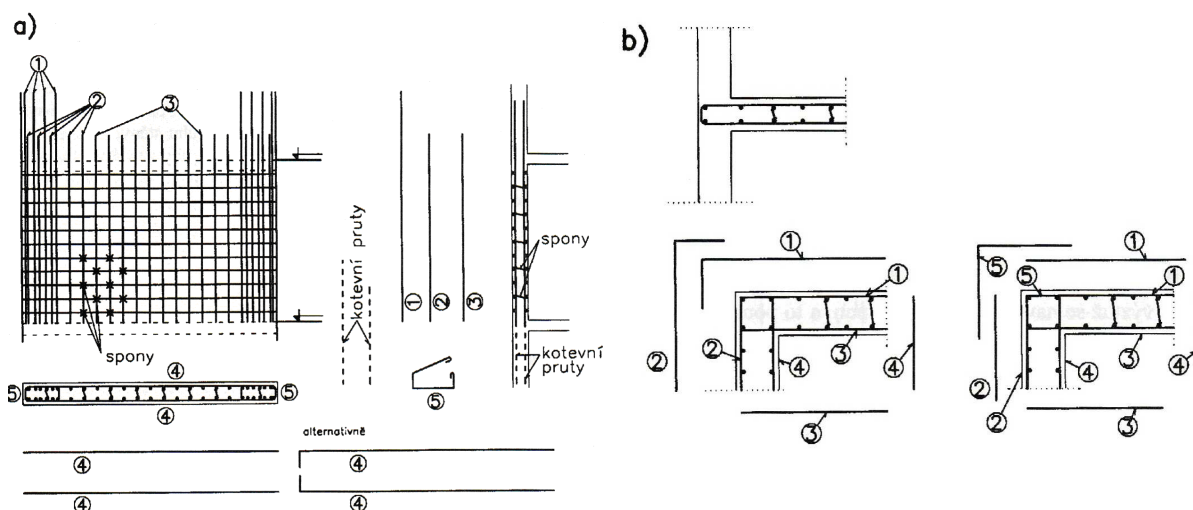
Stěny mohou být vystaveny několikerému způsobu silového namáhání :

- svislé silové zatížení v rovině stěny \Rightarrow centrický nebo excentrický tlak
- vodorovné silové zatížení v rovině stěny \Rightarrow smyk, ohyb v rovině stěny
- vodorovné silové zatížení kolmo na rovinu stěny \Rightarrow ohyb
- momentové zatížení kolmo na rovinu stěny \Rightarrow ohyb
- kombinace předešlých možností



Obr. 25 Způsoby namáhání železobetonových stěn

U stěn používáme 3 druhy výztuže : svislou, vodorovnou a příčnou. Svislá výztuž slouží k přímému přenesení účinků zatížení, vodorovná příčná výztuž plní funkci spíše konstrukční, především stabilizuje výztuž svislou a zabráňuje jejímu vybočení. Stěny obvykle vyztužujeme při obou površích. V místech změn tvaru průřezu, nárožích či v monolitických stycích s jinými konstrukcemi se výztuže vhodným způsobem provazují.



Obr. 26 Vyztužení železobetonových stěn

4. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Základové konstrukce přenášejí zatížení z vrchní stavby do základového podloží. Základy musí přenést veškeré zatížení ze stavby na základovou půdu v základové spáře. Základové konstrukce jsou nedílnou součástí nosných konstrukcí všech typů stavebních objektů. Návrh základové konstrukce vyžaduje znalost základové půdy, její fyzikálně mechanické vlastnosti a reakce na zatížení vrchní stavbou. Při návrhu základových konstrukcí je třeba uvažovat nosné konstrukce objektu, vlastní základové konstrukce a základovou půdu komplexně.

Podle způsobu přenášení zatížení ze stavby do základové půdy rozeznáváme dva konstrukční typy základů:

- základy plošné
- základy hlubinné

4.1 Základy plošné

Plošné základy (horizontální základové konstrukce) jsou nejrozšířenějším typem základové konstrukce. Mají zpravidla vodorovnou základovou spáru, velikost základové spáry je dána zatížením vrchní stavby, únosností základové půdy, stlačitelností, aj. Plošné základy roznášejí zatížení z vrchní stavby na větší plochu tak, aby byly splněny požadavky I. a II. skupiny mezních stavů. Za ekonomicky přijatelné lze považovat použití plošných základů do hloubky založení cca 4 m pod upraveným terénem a nevyskytuje-li se do této hloubky podzemní voda. Mezi základy plošné patří základové patky, pásy, rošty a desky.

| ZÁKLADOVÉ PATKY | ZÁKLADOVÉ PÁSY | ZÁKLADOVÉ ROŠTY | ZÁKLADOVÉ DESKY |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Základové patky z lomového kamene | Základové pásy z lomového kamene | | |
| Základové patky z prostého betonu | Základové pásy z prostého betonu | | Základová deska z prostého betonu |
| Základové patky železobetonové monolitické | Základové pásy železobetonové monolitické | Základové rošty železobetonové monolitické | Základová deska železobetonová monolitická |
| Základové patky montované prefabrikované | Základové pásy montované prefabrikované | Základové rošty prefabrikované | |

4.1.1 Základové patky

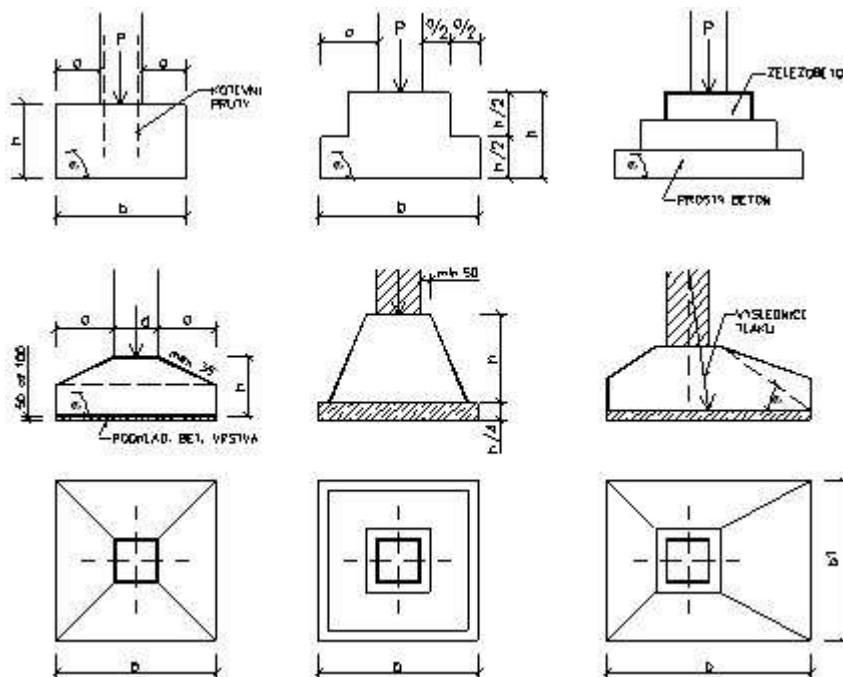
Základové patky se zpravidla navrhují pro skeletové konstrukční systémy; sloupové systémy jsou zpravidla založeny na základových patkách, které účinky svislého zatížení, jež jsou soustředěny do jednotlivých sloupů, roznášejí přímo do základového podloží. Zatížení od svislých prvků, tj. sloupů se přenáší pokud možno centricky na základovou půdu. Založení na patkách vyžaduje málo stlačitelnou základovou půdu o dostatečné a stejnoměrné únosnosti. Patky mají sedat rovnoměrně. Realizace patek (z hlediska technologického i ekonomického) se doporučuje zpravidla do půdorysné plochy 3000 × 3000 mm. Půdorysný tvar patek může být čtvercový, obdélníkový, kruhový. Čtvercové patky se navrhují při centrickém zatížení. Při excentrickém zatížení lze umístit základovou patku vzhledem k ose sloupu nesymetricky, tak, aby těžiště základové spáry bylo totožné se středem působení tlaku. Svislé vnitřní konstrukce,

jako jsou např. schodišťové stěny, požární dělící stěny a obvodové konstrukce se ve skeletových konstrukčních systémech zakládají na základové prahy, které přenášejí zatížení na jednotlivé patky.

Rozdělení patek podle technologie provádění:

- **monolitické**
 - z prostého betonu
 - železobetonové
- **montované**

Tvarové, materiálové i rozměrové řešení patek může být ovlivněno způsobem kotvení sloupů nebo jiných konstrukcí, které jsou na patce uloženy (technologie provádění základových patek monolitických a montovaných). Patky železobetonové monolitické jsou z hlediska spotřeby betonové směsi úspornější než patky z prostého betonu. V závislosti na úrovni hladiny spodní vody, event. její agresivitě (viz výsledky IGP HGP) je nutné chránit výztuž patky vrstvou betonu. Vrstva betonu vytváří podkladní beton a krycí vrstvu v tl. cca 50-100 mm; proti agresivitě dále můžeme uplatnit aktivní izolace, nátěry, obklady, apod.



Obr. 27 Základové patky

4.1.2 Základové pásy

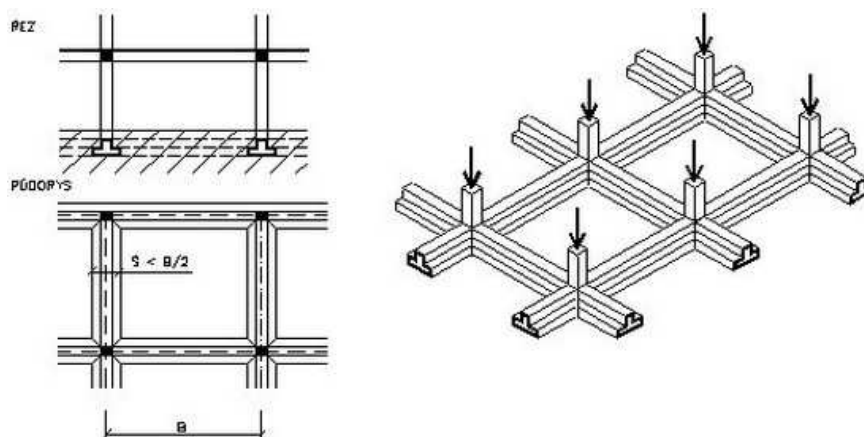
Základové pásy se používají pro založení konstrukčních systémů stěnových i skeletových. Základový pás tvoří souvislý nosník o průřezu, který má tvar obdélníkový, stupňovitý nebo žebrový. Rozměry základových pásů vyplývají ze zatížení, které působí na základovou půdu a z přípustného namáhání základové půdy. Hodnota roznášecího úhlu α je u lomového kamene $\text{tg } \alpha = 2-3$, u prostého betonu $\text{tg } \alpha = 1,5-2,0$, a u železobetonu $\text{tg } \alpha = 0,5-1,0$.

Pod sloupy se základové pásy navrhují v případě různorodých základových podmínek, které by mohly ovlivnit rovnoměrnost sedání, a také v případě, kdy mezery mezi jednotlivými navrženými patkami jsou menší než $1/3$ osové vzdálenosti sloupů.

4.1.3 Základový rošt

Základové rošty se montují z jednotlivých prefabrikovaných dílců. Základové prefabrikáty se vyrábějí pro různá zatížení stavbou a různou únosnost základové půdy. Prefabrikované dílce mají obdélníkový nebo lichoběžníkový průřez, mohou být plné nebo vylehčené. Základové bloky se kladou těsně vedle sebe nebo v určitých rozestupech jako základy pražcové.

Základové prefabrikáty se ukládají do pískového lože v tl. 100-150 mm. Pro zvýšení tuhosti montovaných základových roštů se doporučuje nad nimi vybetonovat železobetonový monolitický věnec.



Obr. 28 Základový rošt

4.1.4 Základová deska

Základové desky roznášejí zatížení na celou plochu půdorysu stavby. Základové desky se používají v nehomogenní, málo únosné půdě, zejména pro výškové a značně zatížené konstrukce v konstrukčním systému stěnovém i skeletovém. Desky se rovněž používají pro zakládání objektů pod hladinou podzemní vody.

Základové desky se provádějí železobetonové monolitické, z prostého betonu; podle tvaru je rozdělujeme na - desky rovné, žebrové (deska se spodními žebry, deska s horními žebry), roštové nebo hříbové.

- **Základová deska rovná:** je neměnné tloušťky, je obvykle železobetonová v tl. 500 až 1200 mm.
- **Základová deska žebrová:** používá se při větší osové vzdálenosti nosných stěn nebo sloupů a při větším zatížení. Dovoluje menší tloušťku vlastní desky, žebra desku ztužují. Žebra mohou probíhat v jednom nebo v obou směrech jako rošt. Pro větší tuhost celé základové konstrukce se žebra zesilují náběhy. Nevýhodou žebrových desek (desky s horními žebry) je nutnost klást podlahu na vyrovnávací násyp nebo samostatnou nosnou konstrukci, v tomto případě lze vzniklý meziprostor využít pro rozvody a vedení instalací. U základových desek se spodními žebry je značně složité provádění izolací.
- **Základová deska hříbová:** princip je prakticky stejný jako u základových desek žebrových.

Mezi zvláštní druhy deskových základů řadíme tzv. nerovné desky, které jsou monolitické tenkostěnné (betonové obrácené klenby nebo lomenice), u kterých se využívají zkušenosti s velkou únosností klenutých konstrukcí a skořepin. Prostorovým uspořádáním lze dosáhnout značné únosnosti základu i celé spodní stavby a roznesení zatížení na velkou plochu. Je však nutné upravit základovou spáru do požadovaného profilu.

4.2 Základy hlubinné

Hlubinné základy (nazýváno též vertikální základy) přenášejí tíhu stavby do hloubky prostřednictvím vertikálních prvků. Hlubinné zakládání se používá při nedostatečné únosnosti povrchových vrstev, nachází-li se únosná půda ve větší hloubce pod základem.

Kromě pilot se používají v základech hlubinných šachtové pilíře, studně a kesony.

4.2.1 Piloty

Piloty železobetonové

Železobetonové piloty se používají do hloubky 20 - 60 m a vyrábějí se v plném nebo dutém průřezu. Plné průřezy jsou tvaru čtvercového se zkosenými hranami rozměru 250 × 250 mm až 600 × 600 mm. Jsou obvykle vyztuženy jako sloupy s podélnou výztuží s třmínky nebo ovínutou výztuží. Špička piloty je chráněna ocelovým hrotem.

Piloty z předpjatého betonu

Piloty z předpjatého betonu se vyrábějí obvykle jako trubní piloty, jsou duté, vnějšího průměru 350 - 800 mm s tl. stěny 40 - 150 mm. Jejich špička je ukončena ocelovým břitem a hlava piloty ocelovým prstencem. Délka předpjaté piloty je 6 - 15 m a nastavují se pomocí ocelových přírub.

Piloty monolitické

Monolitické piloty se betonují do vyhloubených vrtů s výpažnicí nebo bez výpažnice. Zhotovují se jako betonové nebo železobetonové monolitické. Betonové piloty se používají při namáhání tlakem, železobetonové při namáhání i tahem s ohybem.

5. OPĚRNÉ KONSTRUKCE

5.1 Opěrné stěny

Základní funkcí opěrné konstrukce je udržet zeminu ve sklonu pod větším úhlem, než je její přirozený úhel sklonitosti.

Opěrné zdi z betonu můžeme rozlišit do dvou základních typů:

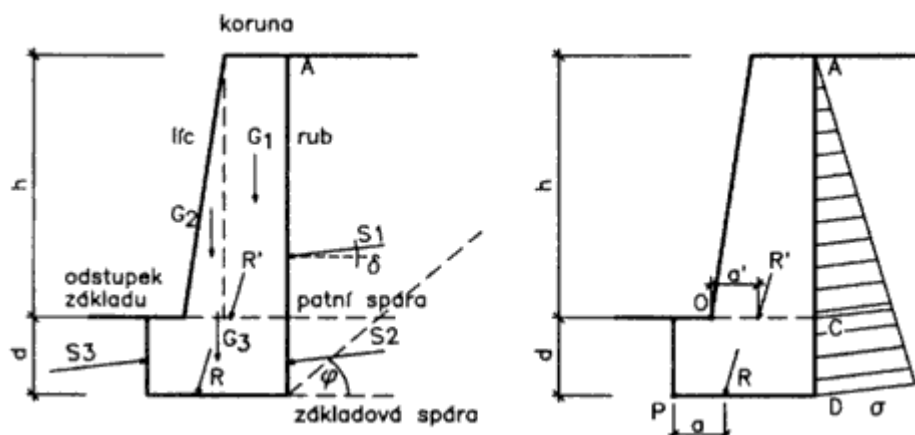
- gravitační stěna z prostého betonu
- opěrné železobetonové stěny

5.1.1 Gravitační stěna z prostého betonu

Gravitační zeď působí proti zemnímu tlaku pouze vlastní tíhou, proto jsou často rozměry této stěny značné a tím je i vysoká spotřeba betonu. Pro zvýšení účinku se v některých případech využívá náklonu zdi směrem do země.

U gravitační stěny posuzujeme:

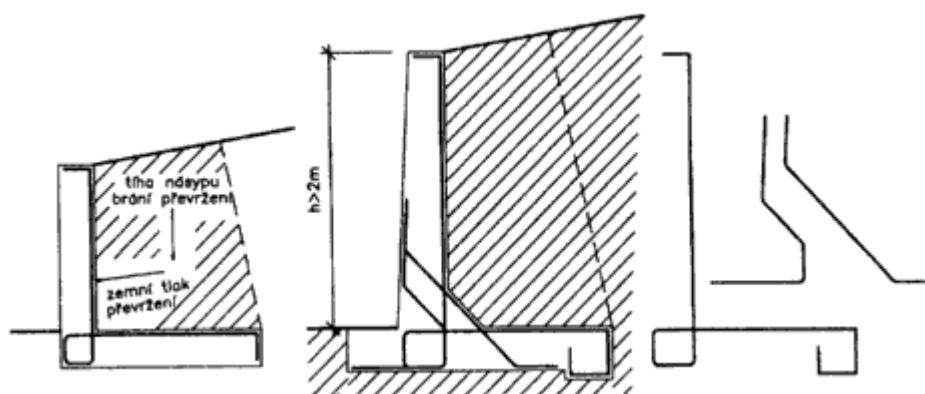
- ztrátu celkové stability, tzv. překocení kolem bodu P
- porušení konstrukce zdi, tj. mimostředný tlak a posunutí v patní spáře zdi
- založení konstrukce : mimostředný tlak a posunutí v základové spáře, ohyb odstupku, zaboření do zeminy a sedání



Obr. 29 Statické působení gravitační zdi

5.1.2 Opěrné železobetonové stěny

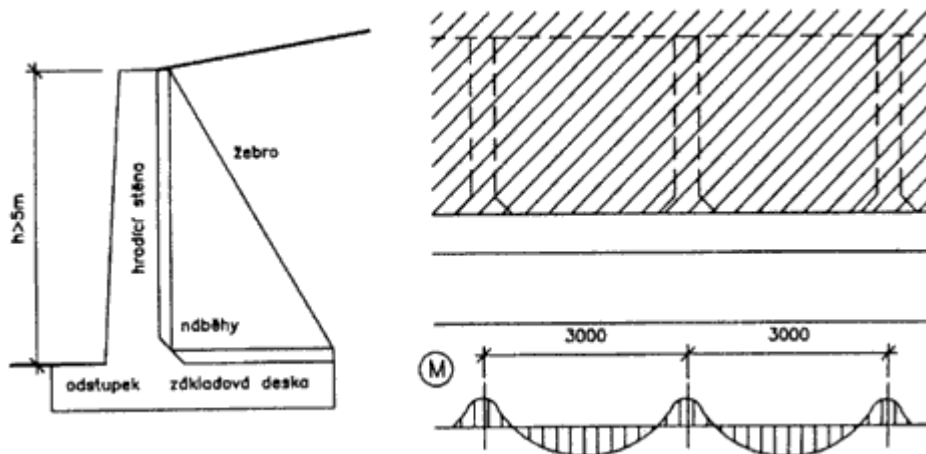
Železobetonové opěrné stěny (též úhlové stěny) řeší stabilitu prodloužením odstupku nebo přitížením vodorovné části konstrukce přilehlou zeminou. Protažení odstupku zvětšuje rameno síly, na které stabilizační tíhová síla působí proti překlopení, v druhém případě stabilizuje stěnu tíha zeminy.



Obr. 30 Působení a vyztužení úhlové zdi

Úhlové stěny snižují oproti gravitačním stěnám spotřebu betonu, vyžadují však pečlivé vyztužení. Přitížení, které vnáší do posouzení na překlopení stabilizační sílu, vnáší do relativně subtilní železobetonové konstrukce ohybové namáhání. Také hradící stěna se stává ohýbanou deskou. Působí jako konzola vetknutá do základové desky. Vyztuž desky je umístěna k vnitřnímu okraji desky a musí být dostatečně zakotvena v základové desce. Schéma vyztužení je patrné z Obr. 30.

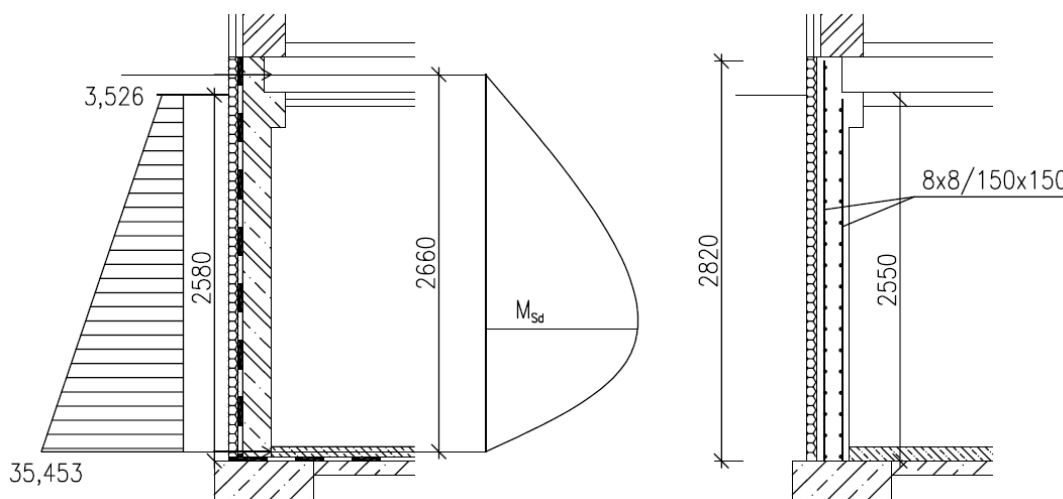
Specifickým typem úhlové stěny je stěna žebrová. Ohybové síly přenáší do základové desky vetknutá žebra (Obr. 31). Mezi těmito žebry je pnutá deska, která vnáší žeber namáhání od zemního tlaku. Žebrové stěny se navrhují při výškách vyšších než 5 m.



Obr. 31 Schéma žebrové zdi

5.2 Železobetonová suterénní stěna

Železobetonové suterénní stěny jsou navrhovány v první řadě na ohybový moment vyvolaný v konstrukci působením zemního tlaku. Nejčastěji je tento moment přenášen ve svislém směru. Stěna je vetknuta do stropní konstrukce (nejčastěji průvlaku) a základové konstrukce, pasu nebo prahu. Posouzení konstrukce provádíme primárně na ohyb.



Obr. 32 Příklad železobetonové suterénní stěny

V případě žebrové suterénní stěny je zatížení desky roznášeno mezi žebry vodorovným směrem nebo lze vytvořit systém dvousměrného roznášení zatížení (po obvodě podepřená deska).

Kromě ohybového momentu je nutné suterénní stěny posuzovat na usmyknutí v patní spáře a jako svislé nosné konstrukce také na vzpěrný tlak.

LITERATURA

Normy

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí, ČSN 03/2004
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí - Obecná zatížení - Část 1-1 : Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov, ČSN 03/2004
- [3] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí - Obecně - Část 1-1 : Obecná pravidla pro pozemní a inženýrské stavby, ČSN 7/2007
- [4] ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb, ÚNMZ Praha 2010
- [5] ČSN 73 1204: Navrhování betonových deskových konstrukcí působících ve dvou směrech, ÚNM Praha 1986

Publikace

- [6] Procházka, J. a kol.: Navrhování betonových konstrukcí - Prvky z prostého a železového betonu, ČBS ČSSI a ČBS Servis, s.r.o., Praha 2006. ISBN 978-80-903807-5-2
- [7] Végh, L., Krátký, J., Procházka, J.: Betonové konstrukce - část B, Ediční středisko ČVUT, Praha 1983
- [8] Nilson, A.H., Darwin, D., Dolan, Ch.W.: Design of Concrete Structures, McGraw-Hill Companies, Inc., New York 2009. ISBN 978-007-131139-7
- [9] Bilčík, J., Fillo, L., Benko, V., Halvonik, J.: Betónové konštrukcie. Navrhovanie podl'a STN EN 1992-1-1, Vydavateľstvo STU v Bratislave, Bratislava 2008. ISBN 978-80-227-2940-6
- [10] Procházka, J., Šmejkal, J., Vítek, J.L., Vašková, J.: Navrhování betonových konstrukcí příručka k ČSN EN 1992-1-1 a 2, Informační centrum ČKAIT, s.r.o, Praha 2010. ISBN 978-80-87438-03-9
- [11] Procházka J. a kolektiv : Betonové konstrukce – Vzorové příklady, ČVUT v Praze, Praha 2008, ISBN 978-80-01-04124-6
- [12] Procházka J. a kolektiv : Betonové konstrukce – textové materiály, ČVUT v Praze, Praha 2008, ISBN 978-80-01-04131-4
- [13] Albrecht U. : Praxisbeispiele Stahlbetonbau: Tragverhalten – Bemessung – Konstruktion, B. G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008
- [14] Skulinová, D. a Peřina, Z.: Základové konstrukce - Pozemní stavitelství I. [Online] Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava, <http://fast10.vsb.cz/perina/ps1/zakladove-konstrukce.html>
- [15] Stavebni komunita - Opěrné zdi [Online] Stavebnikomunita.cz, <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/operne-zdi>

Poděkování :

Tato práce byla zpracována za finanční podpory projektu FRVŠ 294/2012/G1.