

BETONOVÉ KONSTRUKCE II/1

1. Železobetonové základy

1.1 Obecně k železobetonovým základům

Úkolem základů je přenést veškeré zatížení ze stavby do základové půdy tak, aby nedošlo ani k poruchám základové půdy (zaboření základu, nadměrnému sedání základu), ani k poruchám vlastního základu. Je tedy potřeba prokázat spolehlivost základu jak z hlediska únosnosti podloží (vnější únosnost základu), tak z hlediska únosnosti vlastního základu (vnitřní únosnost základu).

Spolehlivostí základu z hlediska základové půdy se zabývá především geotechnika. Před zahájením studia této kapitoly tedy doporučuji prostudovat příslušné kapitoly z předmětu Stavební geologie a geotechnika pro 2. ročník studia, týkající se základové půdy a plošných i hlubinných základů. V tomto textu se budeme základy zabývat především z betonářského hlediska – tedy vnitřní únosností základů.

1.2 Druhy základových konstrukcí

Základy staveb lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- Plošné základy
- Hlubinné základy

Plošné základy realizujeme v dobrých základových podmínkách – na únosné základové půdě (skalní a poloskalní horniny, nesoudržné zeminy – štěrky a písky alespoň středně ulehlé). Obecně platí, že na soudržných zeminách měkké konzistence a na nesoudržných kyprých zeminách se bez úprav základové půdy plošně zakládat nedá.

Hlubinné základy volíme obvykle v nepříznivých základových poměrech (soudržné zeminy – hlíny a jíly, nebo neúnosné navážky), popřípadě v některých dalších speciálních případech (viz dále).

V ČR v současné době zhruba platí, že cena 1m^3 betonu je zhruba stejná jak v základové patce, tak v pilotě. Proto platí, že cenově výhodnější je ten prvek (patka x pilota), ve které je méně betonu.

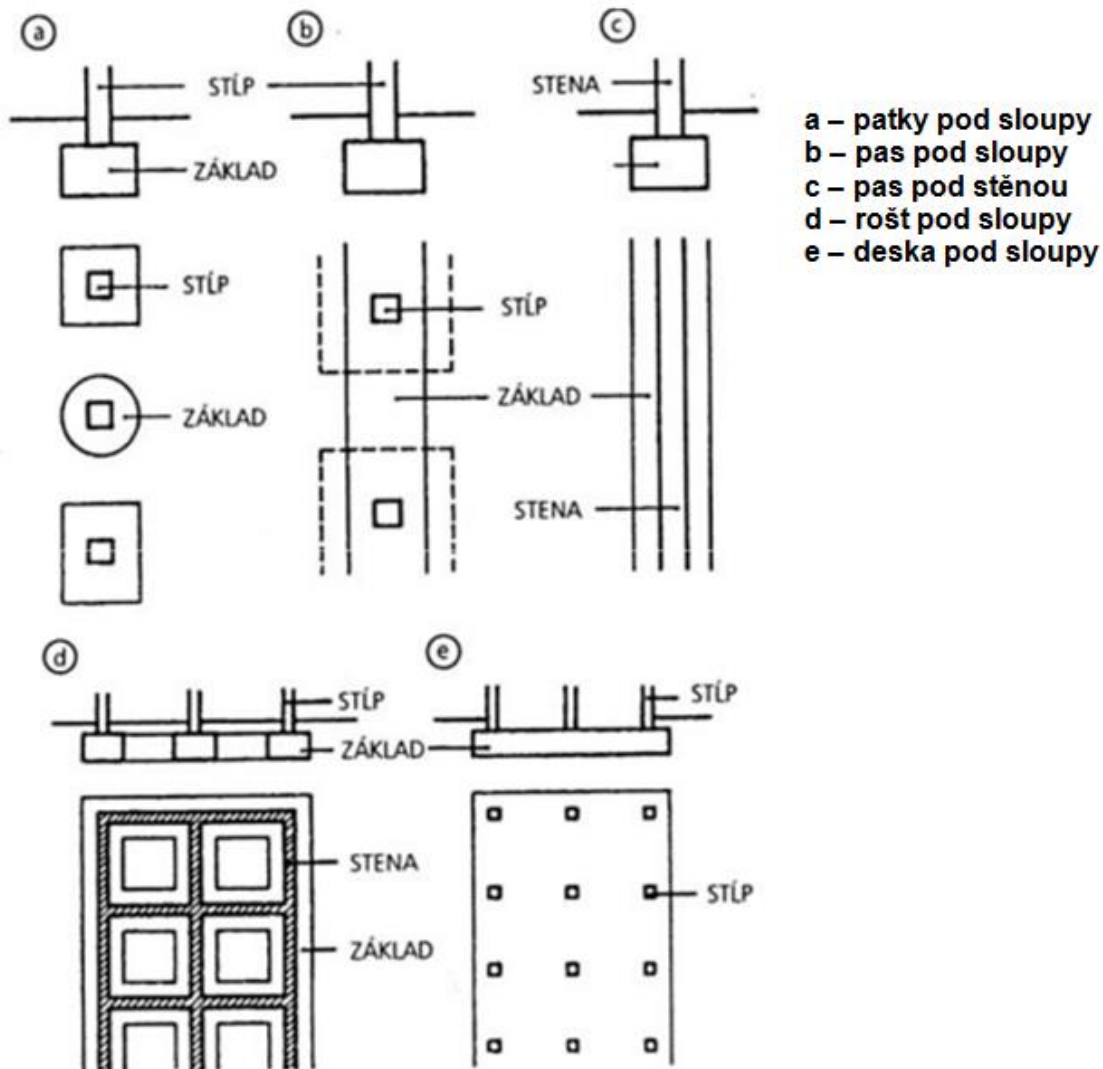
2. Plošné základy

Plošné základy přenášejí zatížení do základové půdy kontaktním napětím v základové spáře. Mezi plošné základy počítáme především základové patky, pasy a základové desky.

2.1 Typy plošných základů

- **Základové patky** – navrhují se pod jednotlivé sloupy
- **Základové pasy** – navrhují se pod jednotlivé stěny, výjimečně pod řadu sloupů
- **Základové rošty** – navrhují se zcela výjimečně pod systém sloupů
- **Základové desky** – navrhují se obvykle u suterénů pod hladinou spodní vody

Druhy plošných základů



2.2 Hloubka založení plošných základů

Základy nechráněné proti promrznání je nutno založit v **nezámrzné hloubce**. Nezámrznou hloubku stanoví dle místních klimatických podmínek a typu základové půdy inženýrský geolog v rámci inženýrskogeologického průzkumu.

Obecně platí, že nezámrazná hloubka je nejméně 800 mm pod úrovní okolního upraveného terénu. Při zakládání na soudržných zeminách, kde hladina podzemní vody je v hloubce menší, než 2 m pod terénem, je nutno hloubku založení zvětšit na 1,20 m. Při zakládání na prokazatelně nenamrzavých skalních horninách u vnitřních zdí lze hloubku založení zmenšit na 0,50 m.

Při zakládání na objemově nestálých zeminách třídy F7 a F8 je nutno volit hloubku založení nejméně 1,60 m, která zajišťuje, že základová půda nebude měnit objem v důsledku změny vlhkosti.

2.3 Únosnost plošného základu

Únosnost plošného základu z hlediska odolnosti základové půdy lze obecně stanovit z rovnic, uvedených v normách pro navrhování geotechnických konstrukcí, popřípadě v odborné literatuře. Tato únosnost obecně závisí na následujících faktorech:

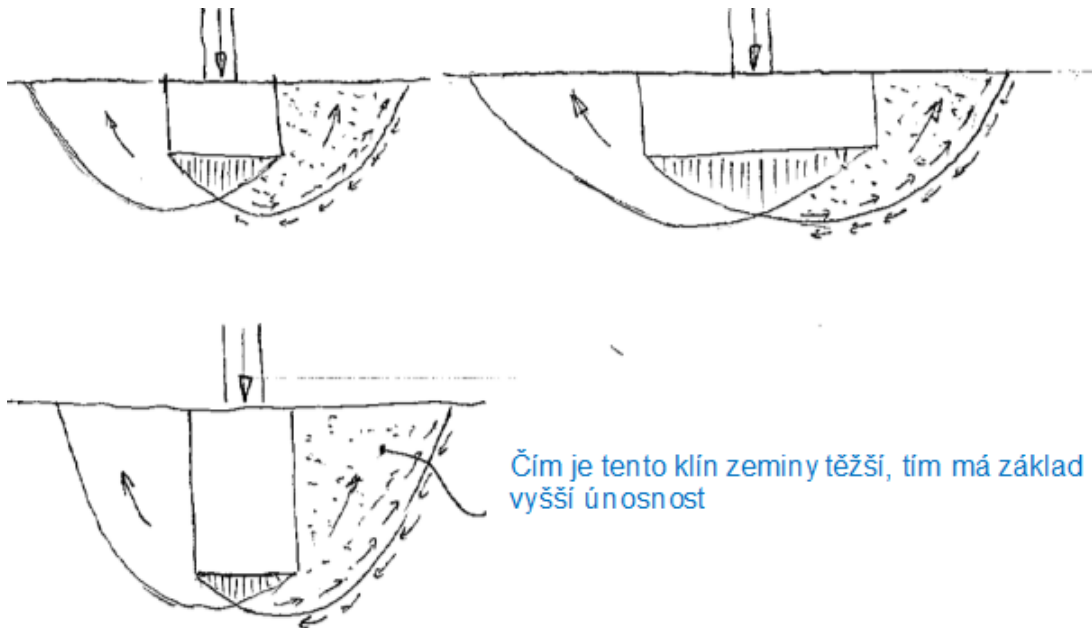
- Na druhu základové půdy
- Na šířce a tvaru základové patky
- Na hloubce založení
- Na úrovni hladiny spodní vody

Čím kvalitnější je základová půda, tím základ více unese.

U nesoudržných základových půd platí, že čím je základová spára širší, tím půda pod základem unese větší napětí – souvisí to s délkou třecí plochy, na které se usmykne klín zeminy pod patkou.

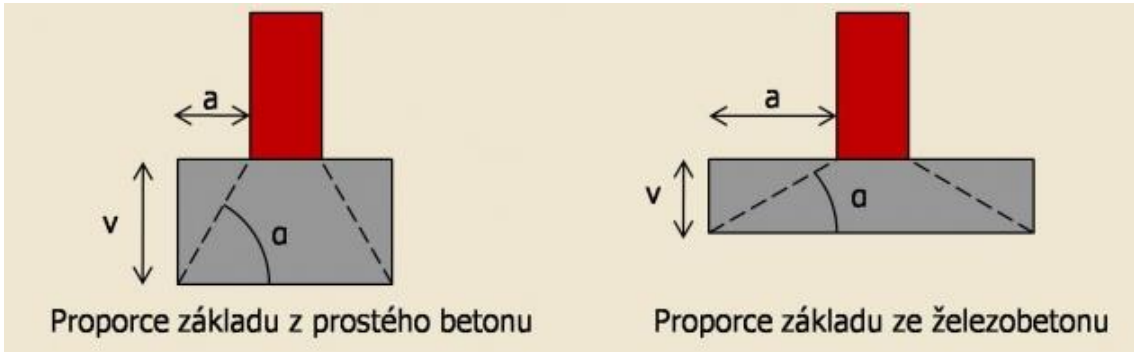
Obdobně, čím je větší hloubka založení, tím je únosnost základu vyšší.

Při spodní vodě v blízkosti pod základem dochází jednak ke zhoršení smykové pevnosti základové půdy a dále k nadlehčení půdy v důsledku Archimédova zákona a tím i ke snížení únosnosti základu.



2.4 Základová patka

Základové patky pod sloupy a pilíře se navrhují buď z prostého betonu, nebo ze železobetonu. Orientační proporce obou typů patek jsou na následujícím obrázku.



U každé základové patky je třeba posoudit její vnější a vnitřní únosnost.

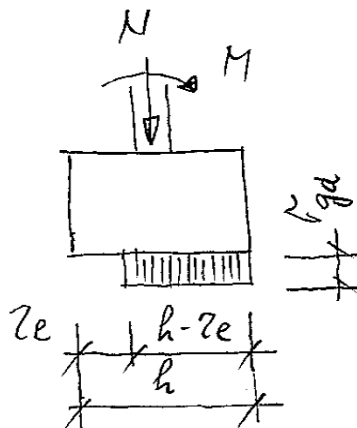
2.5 Vnější únosnost – únosnost základové půdy pod patkou

Základová patka je typicky zatížená excentricky působícím tlakem, kde normální síla N působí s excentricitou e od těžiště patky, což je totéž, jako kombinace zatížení normální silou N v těžišti a ohybovým momentem $M = N \cdot e$

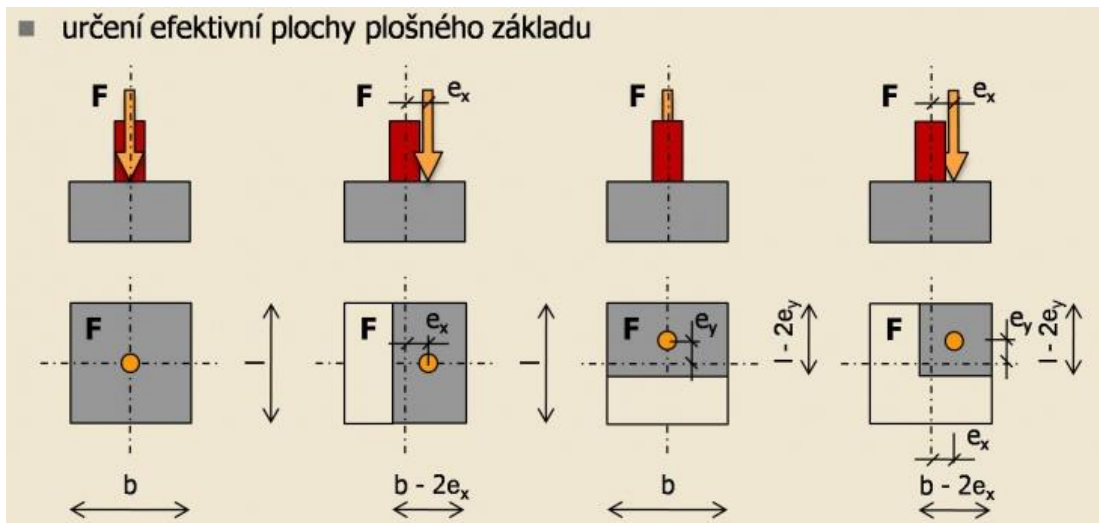
Podle norem pro navrhování geotechnických konstrukcí lze pak v základové spáře uvažovat s rovnoměrným kontaktním napětím σ na efektivní šířce $h_{ef} = h - 2e$

Potom kontaktní napětí v základové spáře σ_{max} lze vypočítat podle následujícího vztahu. Kontaktní napětí v základové spáře nesmí překročit únosnost základové půdy R_{dt} .

$$\sigma_{max} = \frac{N}{b \cdot (h - 2 \cdot e)} \leq R_{dt}$$



Určení efektivní plochy základové spáry při obecné poloze působíště výslednice tlakové síly F na základovou patku je na následujícím obrázku.



Příklad – navrhnete velikost základové patky založené na hlinitém písku S4 při zatížení základové spáry normální svislou silou $N_{Ed} = 1000 \text{ kN}$ a ohybovým momentem $M_{Ed} = 50 \text{ kNm}$

Vypočteme excentricitu zatížení $e = \frac{M}{N} = \frac{50}{1000} = 0,05 \text{ m}$

Návrh:

Tabulkovou únosnost písku S4 vyhledáme z tabulky únosností základových půd R_{dt} na předchozích stranách. Tato hodnota závisí na šířce patky a je $R_{dt} = 225 \text{ kPa}$ pro šířku patky 1,0 m a $R_{dt} = 300 \text{ kPa}$ pro šířku patky 3,0 m.

Odhadneme únosnost základové půdy na $R_{dt} = 250 \text{ kPa}$.

Odhadneme potřebnou plochu základové spáry za předpokladu centrického tlaku jako

$$A_{rqd} = \frac{N}{R_{dt}} = \frac{1000}{250} = 4,0 \text{ m}^2$$

Tomu by odpovídala základová patka o půdorysu 2,0 x 2,0 m. Protože na patku ve skutečnosti působí excentrický tlak, volíme patku 2,05 x 2,05 m.

Posouzení:

Skutečné napětí v základové spáře patky o půdorysu 2,05 x 2,05 m je:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{(h - 2e)b} = \frac{1000}{(2,05 - 2 \cdot 0,05)2,05} = 250,15 \text{ kPa}$$

interpolací z tabulky pro R_{dt} hlinitého písku S4 zjistíme únosnost písku pro patku šířky 2,05 m jako $R_{dt} = 264,4 \text{ kPa}$.

Platí $\sigma_{max} = 250,15 \text{ kPa} < R_{dt} = 264,4 \text{ kPa}$ a základová patka tedy vyhoví.

2.6 Vnitřní únosnost – únosnost vlastní základové patky

Základová patka z prostého betonu musí mít dostatečnou výšku, aby nedošlo k jejímu porušení – rozlomení. Obvykle se výpočtem neposuzuje, podle ČSN EN 1992-1-1 vyhoví v případě, že pro výšku patky h_f platí:

$$h_f \geq 1,176 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{gd}}{f_{ctd}}}$$

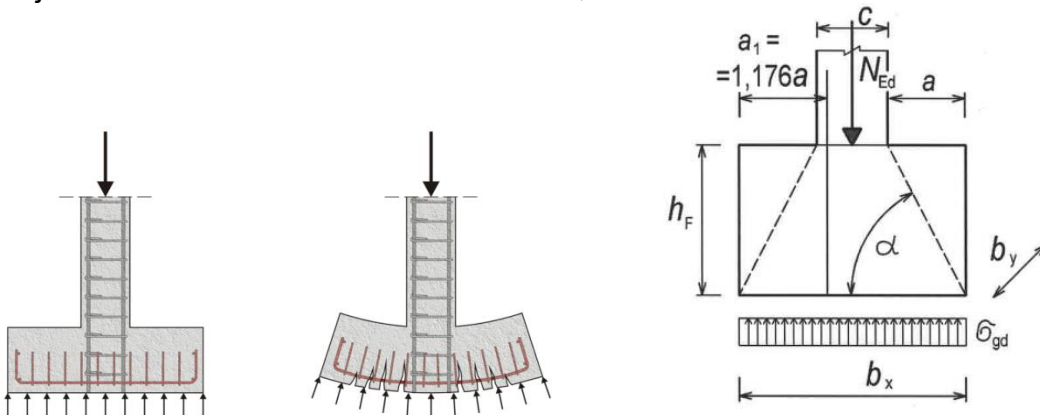
kde h_f je výška patky
 a je šířka odstupku patky
 σ_{gd} je kontaktní napětí v základové spáře
 f_{ctd} je návrhová pevnost betonu patky v tahu

Konzervativně lze použít $h_f \geq 2 \cdot a$
 To odpovídá úhlu α zhruba 63°

Železobetonovou základovou patku je potřeba posoudit na ohyb a na protlačení. Posouzení na protlačení bylo popsáno ve studijním textu BK1/9 v zimním semestru v kapitole Smykové porušení protlačení.

Na ohyb se patka posoudí jako obrácená konzola vetknutá do sloupu, zatížená zdola kontaktním namáháním v základové spáře. Líc vetknutí se uvažuje ve vzdálenosti $0,176 \cdot a$ od okraje patky – viz obrázek.

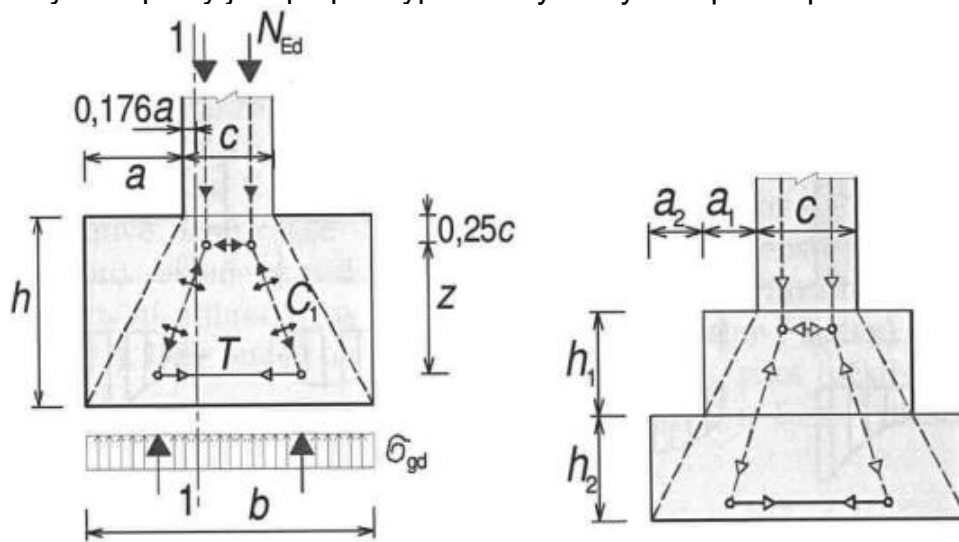
Protože patka z hlediska svých proporcí často nesplňuje požadavky na to, aby ji bylo možno považovat za desku (rozpětí – vyložení alespoň 3 x větší, než tloušťka desky), uvažuje se rameno vnitřních sil maximálně $0,85 \cdot d$.



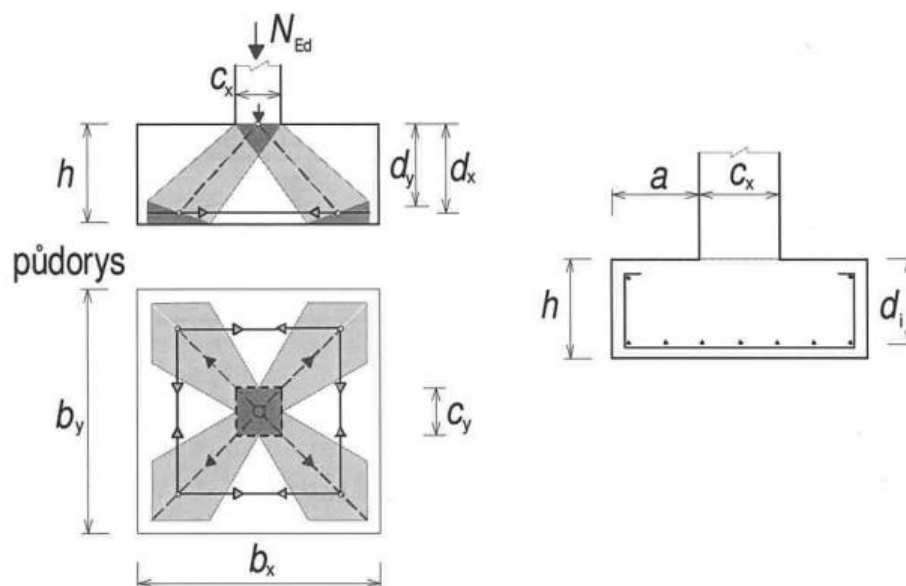
Ohybový moment na patce pak je:

$$M_{Ed} = 0,5 \cdot \sigma_{gd} \cdot b \cdot (1,176 \cdot a)^2$$

V případě vysoké patky je lépe pro výpočet síly ve výztuži použít příhradovou analogii.



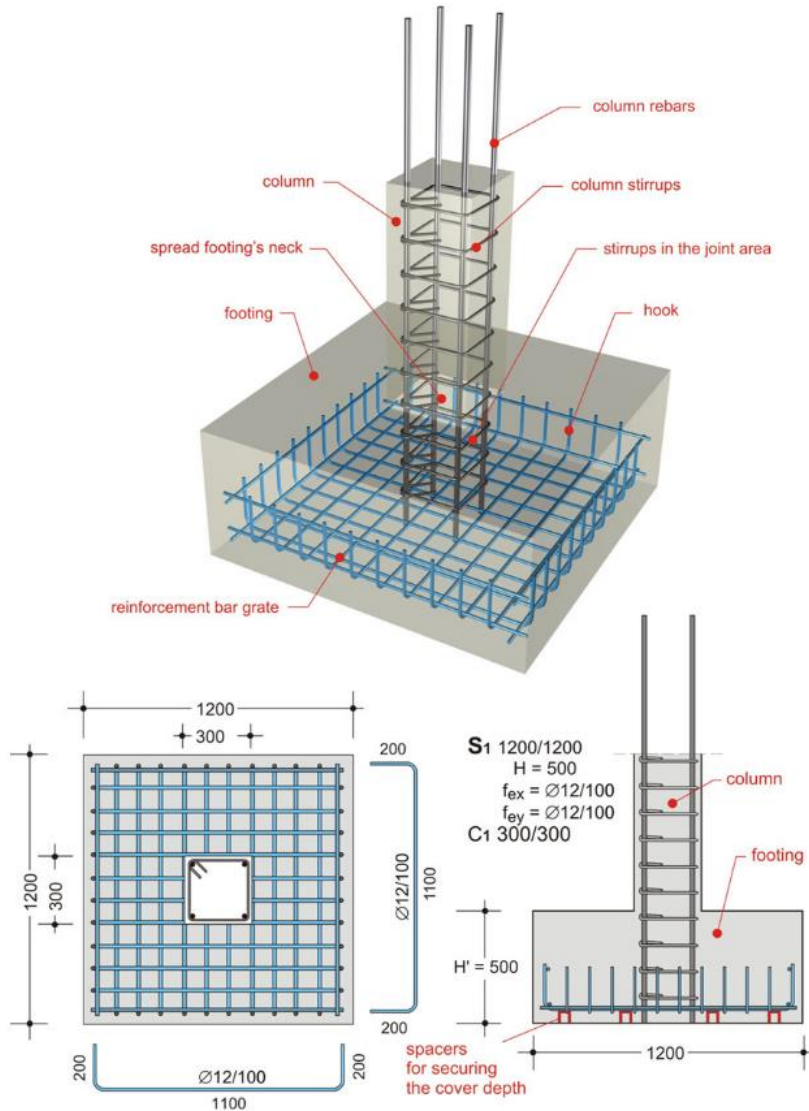
Model příhradové analogie pro patky z prostého betonu



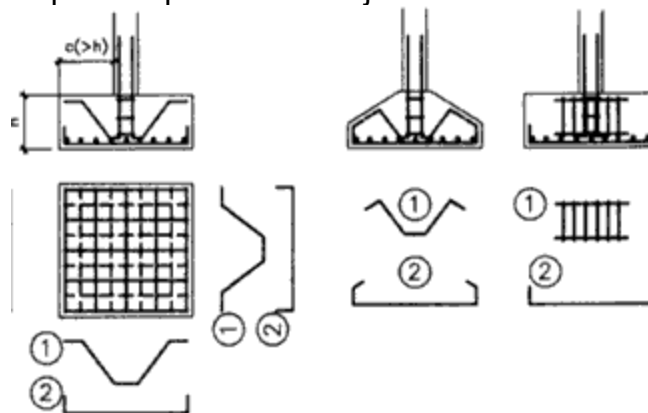
Model příhradové analogie (strut-and-tie) model pro železobetonovou patku

2.7 Vyztužení monolitické železobetonové základové patky

Železobetonová základová patka musí být vždy vyztužena ohybovou výztuží v obou směrech při spodním povrchu patky. Pokud na patku navazuje monolitický železobetonový sloup, ukládá se do patky „startovací“ svislá výztuž, která zasahuje na délku styku přesahem do sloupu. Na svislou výztuž, vyčnívající z patky, se navážou pruty výztuže sloupu a zabetonuje se do sloupu. Typické vyztužení železobetonové monolitické patky je na následujícím obrázku.



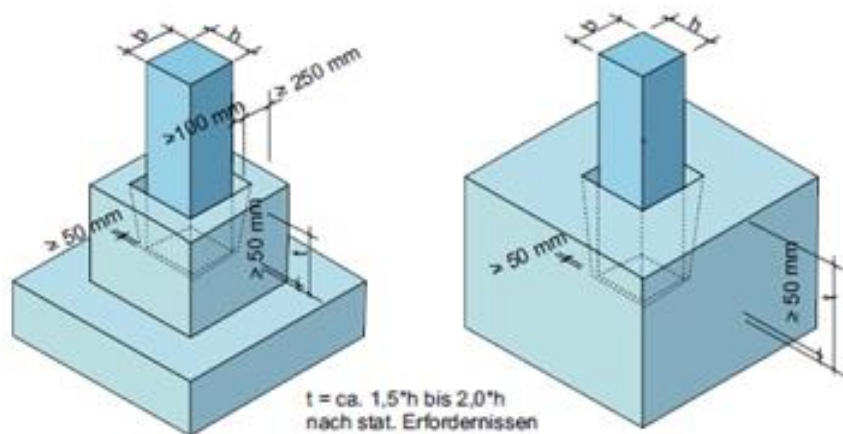
Každou patku je nutno posoudit na smykové porušení protlačením. Pokud patka bez smykové výztuže na protlačení nevyhoví, je nutno buď zvětšit výšku patky, popřípadě volit kvalitnější beton, nebo doplnit do patky smykovou výztuž. Smyková výztuž může být uspořádána některým ze způsobů podle následujícího obrázku.



2.8 Kotvení železobetonového prefabrikovaného sloupu na základovou patku

Železobetonové prefabrikované sloupy lze k základu kotvit buď osazením sloupu do prohlubně („kalicha“) patky, nebo přivařením na vyčnívající trny, popřípadě pomocí šroubovaného spoje na výztuži.

Nejčastěji se prefabrikované sloupy kotví zapuštěním paty sloupu do prohlubně základové patky. Prohlubeň patky je obvykle v dolní části na každé straně sloupu o 50 mm a na horním líci patky o 100 mm širší, než sloup. Po vyrovnání sloupu do svislice se prohlubeň kolem paty sloupu zaleje jemnozrnným betonem. Hloubka zapuštění sloupu do kalichy patky je nejméně 1,5 násobek většího rozměru průřezu sloupu. Tímto kotvením získáme prakticky dokonalé vetknutí sloupu do základu.

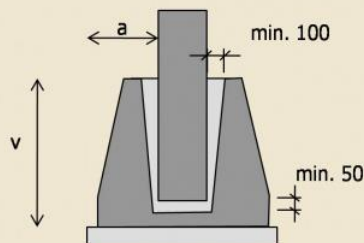


Patky s kalichem pro kotvení sloupů

Často navrhujeme kombinaci prefamonolitické patky s prefabrikovaným kalichem a s monolitickou spodní částí patky, jejíž rozměry se přizpůsobují únosnosti základové půdy.

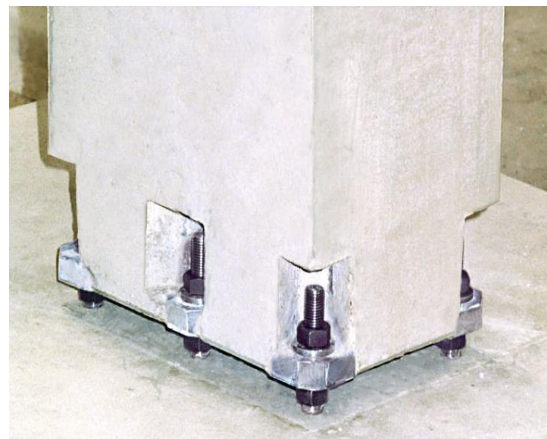
2.1.3.3. Prefabrikované patky

- obvykle u montovaných skeletových konstrukcí
- vždy vyztužené
- rozměry jako patky monolitické
- na prefabrikované podkladní dílce nebo na monolitickou roznášecí desku tl. 100 -150 mm
- jako patka plná nebo kalichová

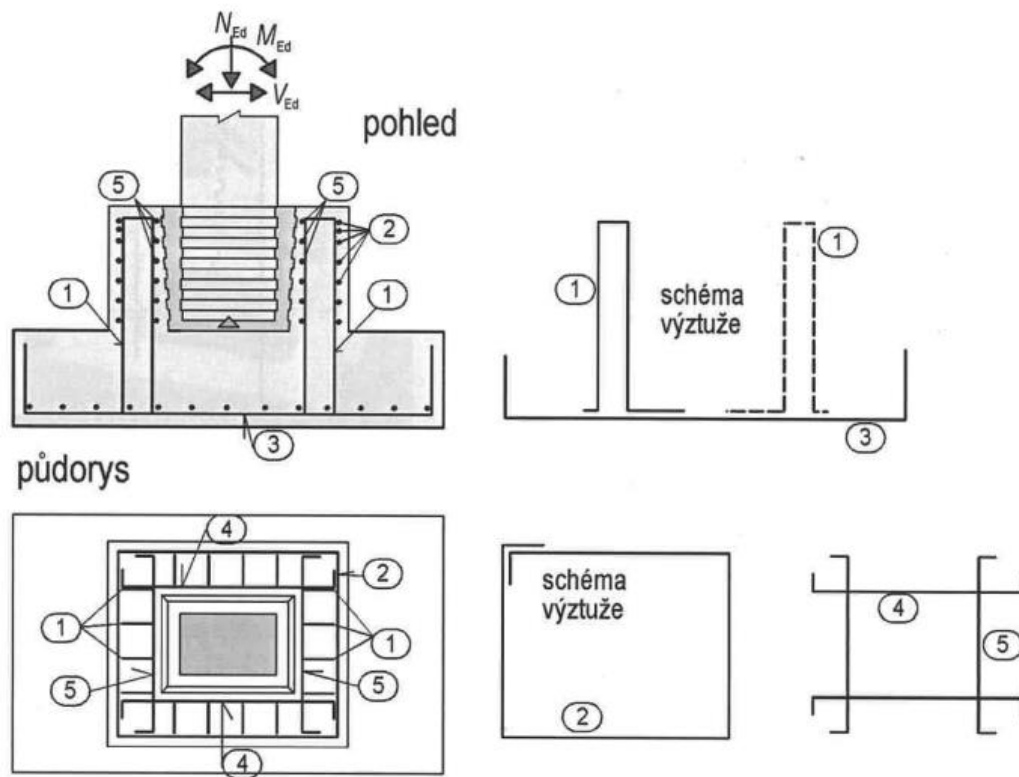


Příklady prefabrikovaných patek

Další možnost kotvení prefa sloupu na základovou patku je na následujícím obrázku. Dříve se používaly téměř výhradně svařované styky výztuže, dnes preferujeme spíše šroubované styky.



Šroubované kotvení prefa sloupu



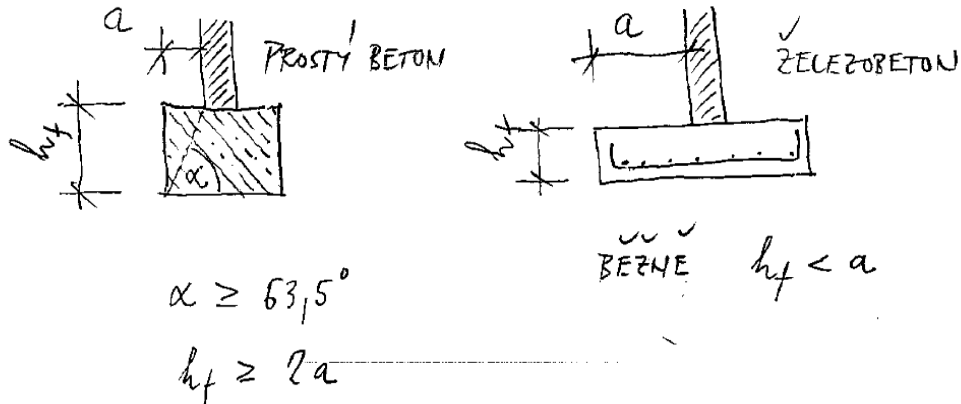
Příklad vyztužení patky s kalichem

2.9 Základové pasy

Je nutno rozlišovat rovnoměrně spojitě zatížené základové pasy pod stěnami (u zděných stěn obvykle z prostého betonu) a bodově zatížené základové pásy pod sloupy.

2.10 Základový pas pod stěnou

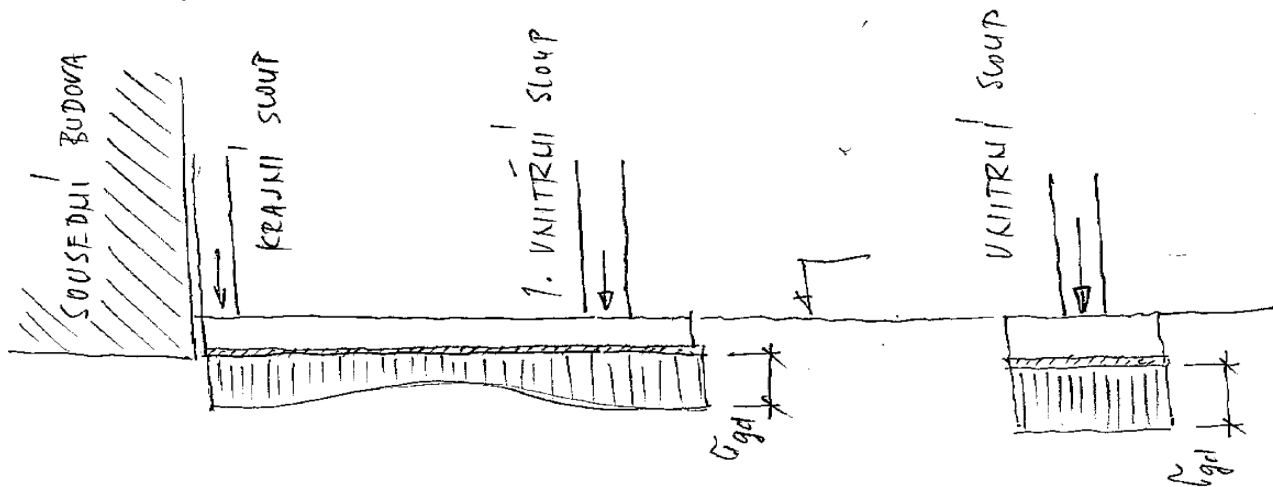
Základový pás pod stěnou je namáhán pouze v příčném směru. Může být buď z prostého, nebo železobetonu a posoudí se podle pravidel, uvedených u základových patek.



2.11 Základový pás pod sloupy

Základové pasy pod železobetonovými sloupy se někdy používají v případě málo únosné zeminy, kdy je třeba zatížení od sloupu rozložit na větší plochu. Tato situace se však častěji řeší založením sloupů na pilotách.

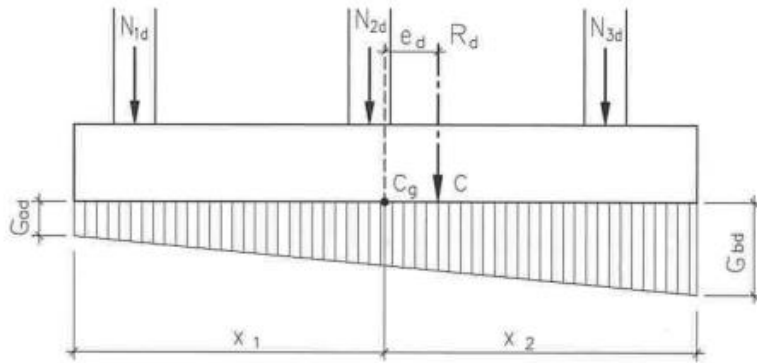
Častější použití základového pasu pod sloupy je případ sloupu na okraji půdorysu stavby (například u styku se štítem sousední budovy), kdy je třeba krajní sloup založit na líc základu bez přesahu základu.



Základový pas pod sloupy je namáhán jak v příčném, tak v podélném směru.

Rozložení napětí po délce pasu v základové spáře pasu zatíženého sloupy závisí na poměru tuhosti vrchní stavby a základu.

U **vyšokého – tuhého základu** v kombinaci s měkkou vrchní stavbou (například staticky určitá střecha z panelů nebo z oceli) lze uvažovat lineárně rozdělené napětí po celé délce základu. Ohybové momenty a posouvající síly v základovém pasu v podélném směru pak lze stanovit jako na prostém nosníku zatíženém zesponu kontaktním napětím v základové spáře a shora silami od sloupů.



$$R_d = N_{1d} + N_{2d} + N_{3d}$$

je výslednice všech sil

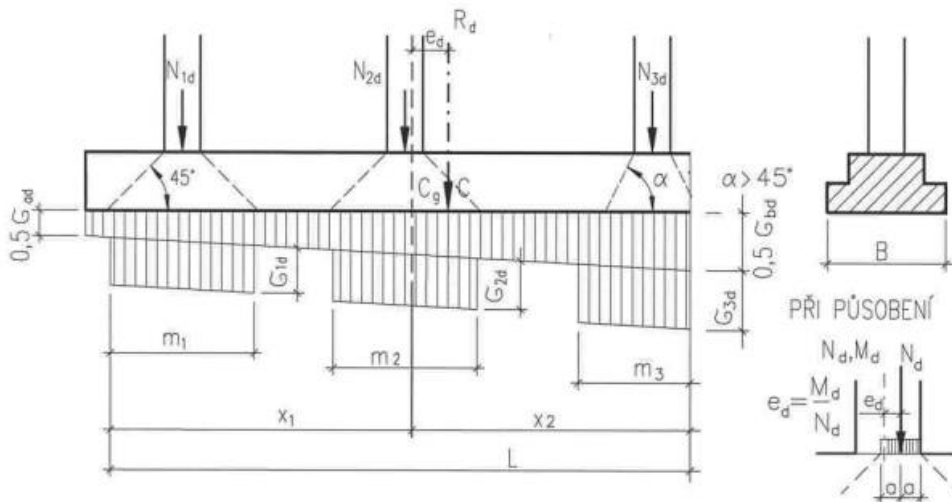
$$\sigma_{a,b} = \frac{R_d}{L \cdot B} \left(1 \mp \frac{6 \cdot e_d}{L} \right)$$

$\sigma_{a,b}$ jsou napětí v základové spáře

$$L = x_1 + x_2$$

B je šířka pasu

U **nížkého - měkkého základu** pod tuhou vrchní stavbou se část zatížení roznáší na celou délku pasu a část zatížení se přenáší přímo do zeminy pod sloupem. Přibližně lze pro předběžný výpočet uvažovat přenos jedné poloviny zatížení do celé délky pasu a druhé poloviny zatížení přímo do základové půdy pod sloupem s roznosem pod úhlem 45° přes výšku pasu.



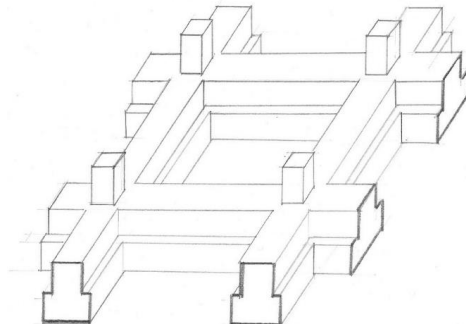
$$\sigma_{a,b} = \frac{R_d}{L \cdot b} \left(1 \mp \frac{6 \cdot e_d}{L} \right) \quad \sigma_{id} = \frac{1 \cdot N_{i,d}}{2 \cdot m_i \cdot B}$$

Celkové maximální kontaktní napětí se získá jako součet obou složek napětí.

Ohybové momenty a posouvající síly v základovém pasu po délce pasu se uvažují jako na spojitém nosníku podepřeném v místě sloupů a zatíženém odzdoła kontaktním napětím v základové spáře.

2.12 Základový rošt pod sloupy

Jsou to obvykle vzájemně kolmé základové pasy, křížící se pod sloupy. V současné době se používají spíše výjimečně, protože případy s nedostatečnou únosností základové půdy se zpravidla řeší hlubinným založením sloupů na pilotách.

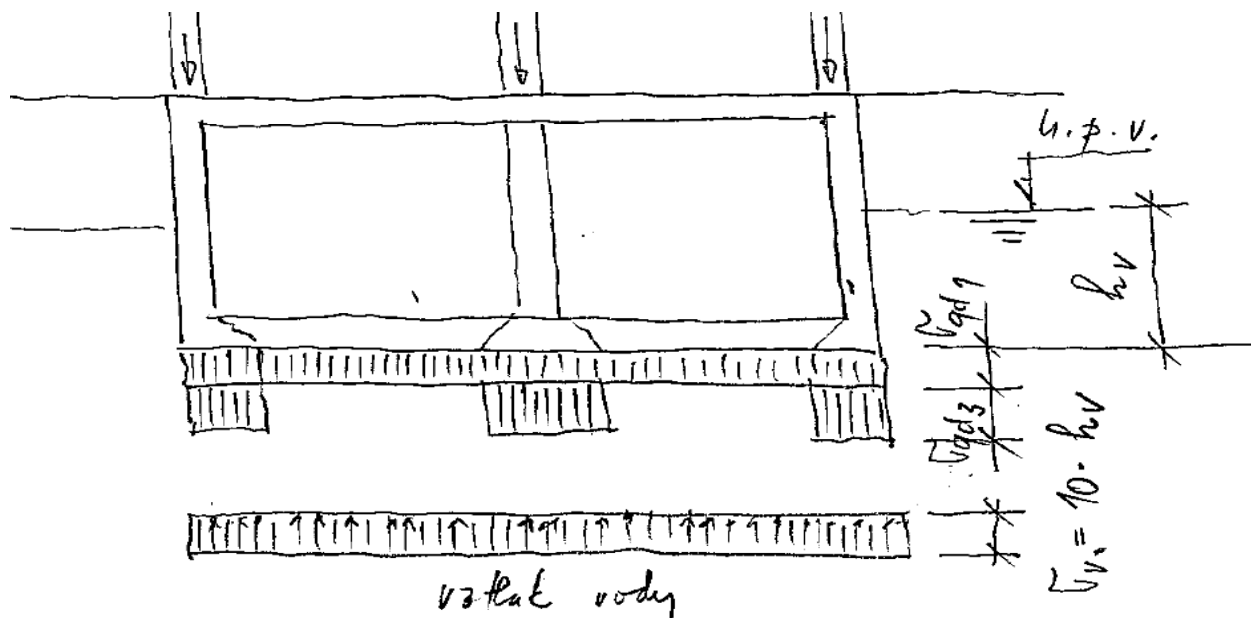


2.13 Základová deska

Základové desky se používají v případech, kdy je třeba rozložit zatížení na celý půdorys stavby – například u výškových staveb.

V některých případech (například u lehkých dřevostaveb) může být založení objektu na tenké základové desce (orientačně tloušťky 150 mm) výhodné s ohledem na jednoduchost a rychlost výkopových a betonářských prací.

Typické použití základové desky je u suterénů pod hladinou spodní vody. V tom případě je základová deska často součástí bílé vany suterénu. Bílým vanám je věnována samostatná kapitola těchto přednášek. Základová deska suterénu pod hladinou spodní vody je zatížena zespoda jednak kontaktním napětím zeminy v základové spáře a za druhé vztlakem spodní vody, který lze stanovit z Archimédova zákona.





Příklad vyztužení základové desky

3. Hlubinné základy

Mezi hlubinné základy počítáme

- Vrtané piloty
- Ražené piloty
- Mikropiloty
- Tryskovou injektáž
- Studny a kesony

3.1 Vrtané piloty

Vrtané piloty představují nejčastější způsob hlubinného založení. Dnes se používají velmi často i v podmínkách, které by umožňovaly i plošné založení, pro svoji rychlost při provádění, menší citlivost na klimatické podmínky i příznivou cenu v porovnání s plošným základem v méně příznivých podmínkách.

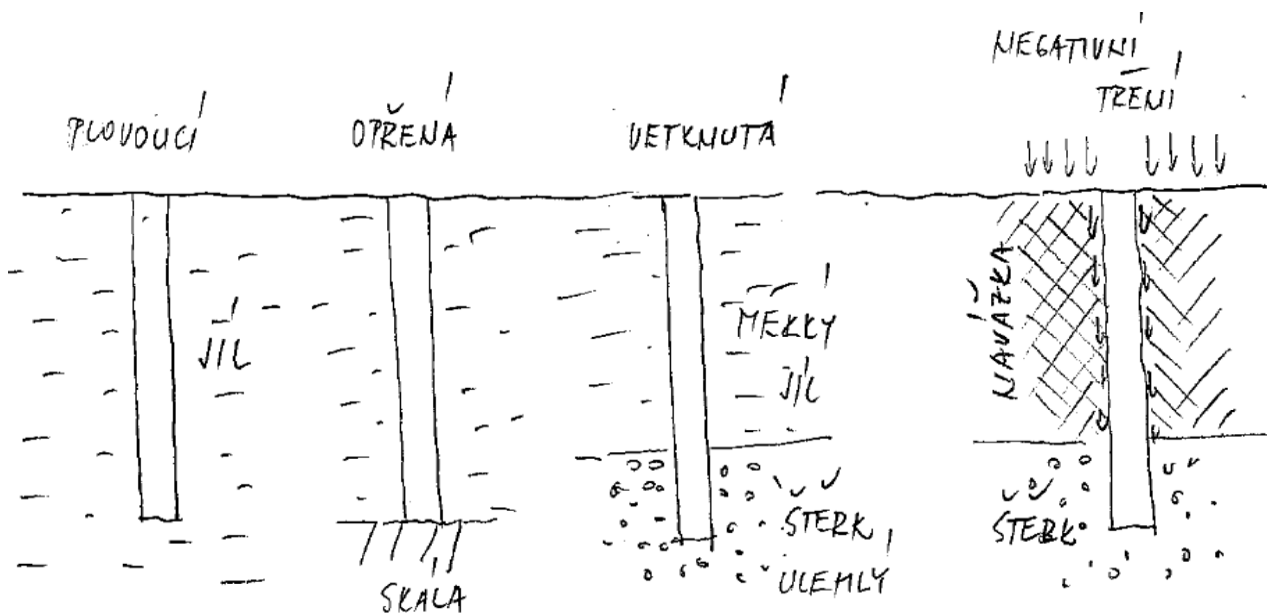
Běžné profily vrtaných pilot jsou (500), 600, 700, 800, 900, 1000, 1200 a výjimečně i 1500 mm.

Piloty lze obecně rozdělit na:

- **Plovoucí** (například v celé délce zabudované v tuhém jílu) – přenáší většinu zatížení třením na plášti piloty.
- **Opřené** (pilota v jílu v patě opřená o skalní podloží) – přenáší většinu zatížení na kontaktu v patě jako u plošného základu.
- **Vetknutá** – například pilota v měkkém jílu ve spodní části vetknutá do ulehlého štěrku – přenáší zatížení jak třením na plášti, tak opřením paty.

V případě, kdy je pilota zabudována do stlačitelného prostředí (například nekonso-lidované navázky, u kterých může po zabudování piloty nastat jejich sedání), může být pilota zatížena na plášti **negativním třením**, které zatlačuje pilotu do podloží.

Piloty mohou působit jako **osamělé piloty**, nebo mohou tvořit **skupinu pilot**. Minimální osová vzdálenost osamělých pilot jsou obvykle $2 \varnothing$ piloty.



Ve stabilních soudržných (jíly) zeminách a v poloskalních horninách lze piloty vrtat bez pažení, v nesoudržných zeminách je nutno piloty pažit. Podrobněji viz přednášku Hlubinné základy v předmětu Stavební geologie a geotechnika.

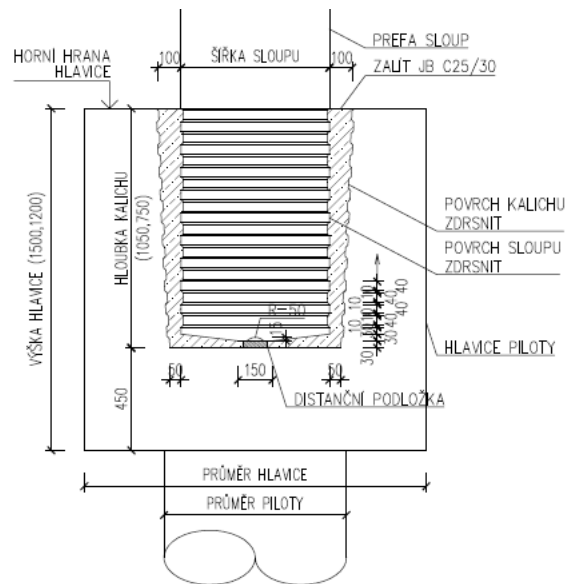
V horní části se pilota zpravidla opatřuje hlavicí, do které se kotví sloup stavby. Hlavice mohou mít buď kruhový půdorys (vrtají se společně s pilotou vrtákem o větším průměru), nebo obdélníkový půdorys (betonují se do bednění jako patky).

Pro osazení prefabrikovaného sloupu se zpravidla v hlavicí vynechává prohlubeň – kalich. Vnitřní plocha kalicha a spodní část sloupu je zdrsněná. Po osazení sloupu do kalicha se kalich zalije jemnozrnným betonem.

Jinou možností je kotvení prefa sloupu přivařením na železa vyčnívající z horního povrchu hlavice, nebo betonáž monolitického sloupu se stykováním výztuže přesahem



Bednění a výztuž hlavice pro prefa sloup



Typický detail kotvení prefa sloupu do kalichu



Kalich pro osazení prefa sloupu



Pilota pod monolitický sloup
šablona pro osazení výztuže



Výztužné armokoše vrтанých pilot

Únosnost piloty lze přibližně získat jako součet únosnosti zeminy pod patou piloty a tření na plášti

$$N_{Rd} = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot q_0 + \pi \cdot d \cdot h \cdot q_s \quad \text{kde}$$

d je průměr piloty

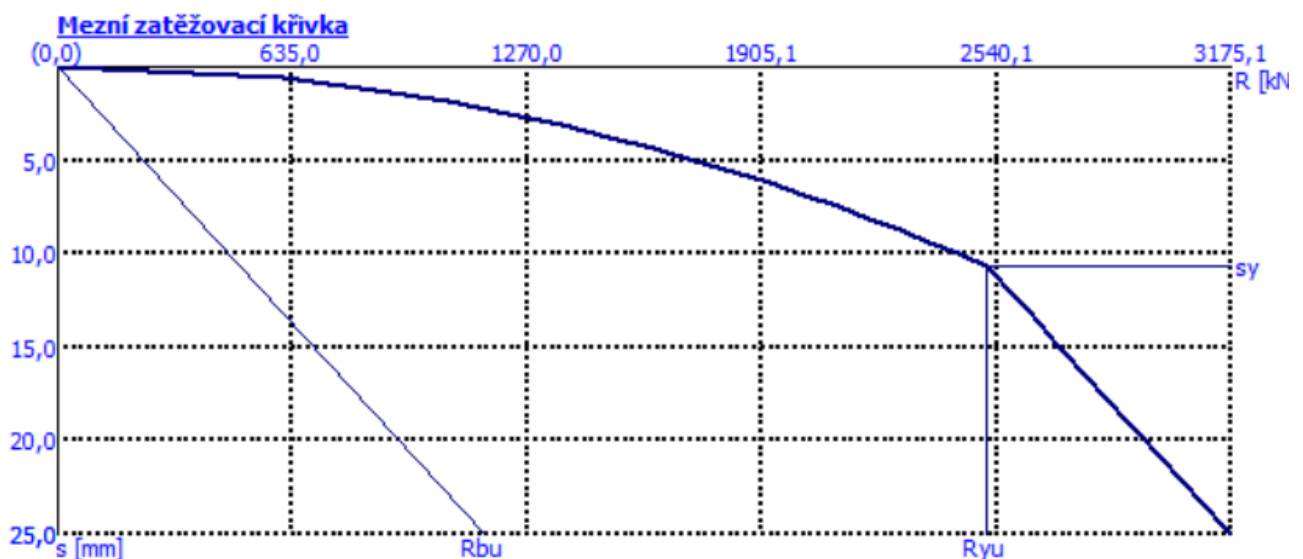
h je délka piloty

q_0 je únosnost zeminy pod patou piloty

q_s je únosnost při tření na plášti

Hodnoty q_0 a q_s lze pro různé typy základových půd získat z norem pro navrhování pilot, nebo z literatury.

Dnes se únosnost pilot stanovuje pomocí specializovaných výpočtových programů z pracovního diagramu piloty (závislost zatížení a sedání piloty) v závislosti na dovoleném sedání hlavy. To se obvykle volí zpravidla do 10 mm. Příklad křivky závislosti zatížení piloty R v kN a sedání piloty s v mm je na následujícím obrázku.



Dnes typicky navrhujeme pod každý sloup jednu pilotu. Ve výjimečných případech velkých zatížení sloupů, kdy je nutno pod sloup navrhnout více pilot, se v hlavicích pilot navrhují patky, jejich výztuž se dimenzuje metodou náhradní příhradoviny.

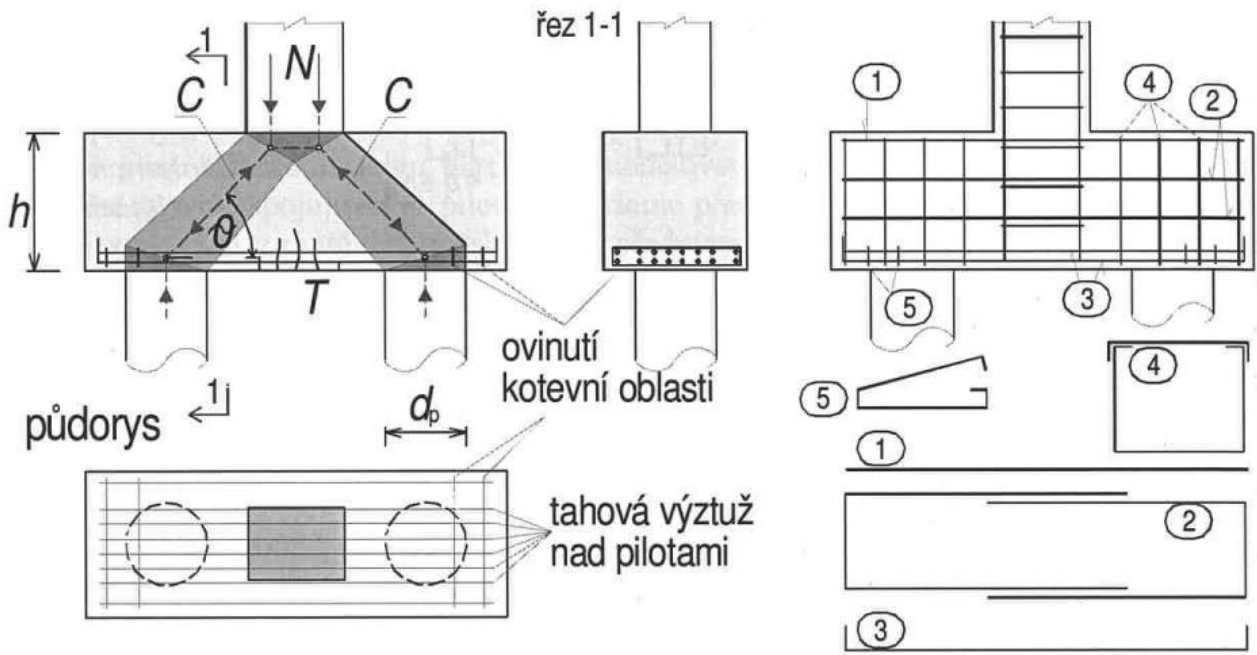


Schéma návrhu patky sloupu podepřeného dvěma pilotami s využitím modelu náhradní příhradoviny