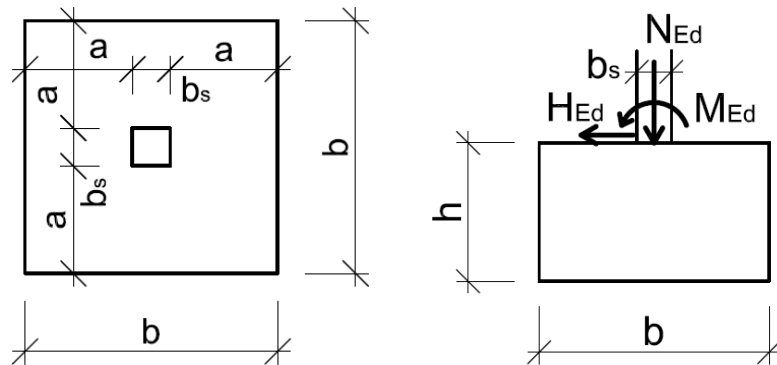


12. cvičení – Základová patka

- Navrhne základovou patku pro zadané reakce z horní stavby (N_{Ed} , H_{Ed} , M_{Ed}).
- Návrh provedeme **ve dvou variantách** – prostý beton a železobeton. Obě patky budou navrženy ve stejném půdorysném tvaru a rozměrech (čtvercový půdorys $b \times b$), budou se lišit výškou h a vyztužením.



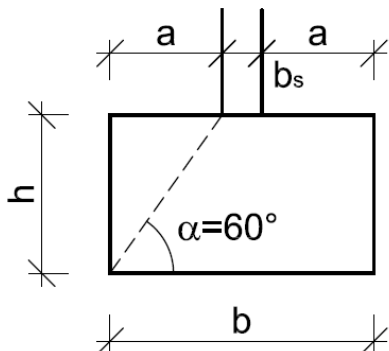
POZN.: Pro velké excentricity může být vhodné navrhnout patku obdélníkového půdorysu, příp. patku s excentrickou polohou sloupu. Pak by bylo nutné dále uvedený postup patřičně upravit (místo jednoho rozměru b bychom měli rozměry b_x a b_y , resp. hodnota vyložení patky za líc sloupu a bude na každé straně od sloupu jiná).

Půdorysné rozměry patek

- Odhadneme vlastní tíhu patky jako: $G_0 = 0,1 \cdot N_{Ed}$
- **Výstřednost zatížení patky** lze vyjádřit jako:

$$e = \frac{M_{Ed} + H_{Ed} \cdot h}{N_{Ed} + G_0}$$

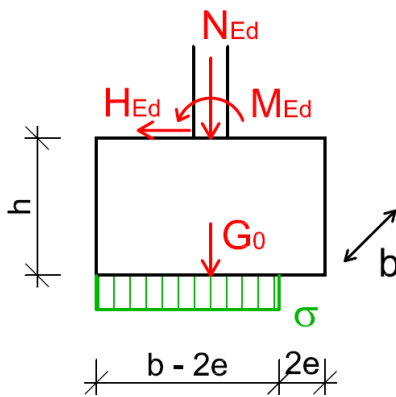
- Výšku patky h v této fázi výpočtu neznáme. Na začátku lze vycházet z předpokladu, že roznášecí úhel zatížení v prostém betonu by měl být cca 60° . Pak platí **odhad výšky patky**:



$$h = a \cdot \operatorname{tg} \alpha = \left(\frac{b - b_s}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Bohužel ani půdorysný rozměr patky b v této fázi není známý.

- Pro návrh rozměrů patky b jsou tak možné následující postupy:
 - vyjádření excentricity e v závislosti na neznámé šířce patky b (výška h vyjádřená pomocí b - viz vztah výše) a následné užití **implicitního vztahu pro výpočet b**
 - iterační návrh rozměru patky: počáteční volba $b \Rightarrow$ výpočet $h \Rightarrow$ výpočet $e \Rightarrow$ výpočet b
 \Downarrow
 konečný výpočet $b \Leftrightarrow$ oprava $e \Leftrightarrow$ oprava h
 - rozumný prvotní odhad výšky patky h - ve cvičení cca 0,8 až 1,3 m
- Pro návrh patky budeme uvažovat založení na zemině o pevnosti R_d dle zadání.
- Budeme uvažovat zjednodušený model rozložení napětí v základové spáře - rovnoměrné napětí σ na ploše $A_{\text{eff}} = b \cdot (b - 2 \cdot e)$.



- Napětí v základové spáře σ musí být menší než pevnost zeminy. Jednoduchou úpravou spočteme **minimální nutnou efektivní plochu** základové patky A_{eff} :

$$\sigma = \frac{N_{\text{Ed}} + G_0}{A_{\text{eff}}} \leq R_d \quad \Leftrightarrow \quad A_{\text{eff}} \geq \frac{N_{\text{Ed}} + G_0}{R_d}$$

- Navrhujeme patku **čtvercového půdorysu**. Patka je výstředně zatížena v jednom směru, její efektivní rozměry jsou tedy b a $(b - 2e)$. Platí proto:

$$A_{\text{eff}} = b \cdot (b - 2e)$$

- Získáváme kvadratickou rovnici, ve které je po dosazení jediná neznámá – **rozměr patky b** . Vyřešením rovnice obdržíme 2 kořeny, z nichž ovšem pouze jeden bude mít fyzikální smysl:

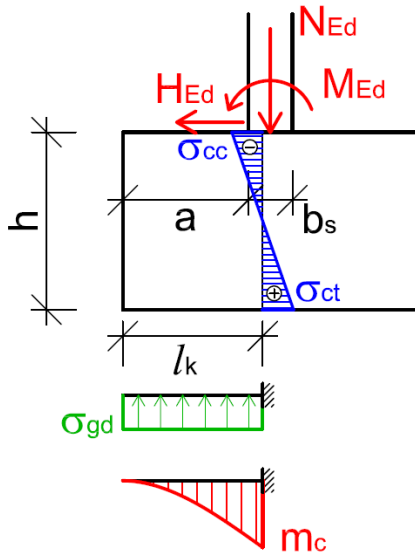
$$b = e + \sqrt{e^2 + A_{\text{eff}}}$$

- Podle něj navrhujeme **skutečný rozměr patky b** (zaokrouhlíme na celých 50 mm nahoru).

POZN.: Na základě známých (navržených) půdorysných rozměrů by bylo možné nyní zpřesnit vlastní tíhu patky G_0 a přepočítat hodnoty e a následně A_{eff} . Jelikož ale výška patky není definitivní, budeme prozatím pokračovat s původními hodnotami.

Patka z prostého betonu

- Únosnost patky z prostého betonu je limitovaná pevností betonu v tahu, která nesmí být překročena v krajních tažených vláknech kritického průřezu ($\sigma_{ct} \leq f_{ctd}$) - viz OBR.



- Patku modelujeme jako **ohýbanou konzolu** s účinnou délkou l_k .
- Napětí (zatížení), kterým podloží působí na patku, spočteme jako:

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}}$$

Vlastní tíha patky se zde neuvažuje - patka je směrem nahoru ohýbána zatížením σ včetně vlastní tíhy (předchozí kapitola), směrem dolů pak vlastní tíhou. Výsledkem je zatížení (napětí) $\sigma_{gd} \Rightarrow$ vlastní tíha je eliminována.

- Od tohoto napětí vznikne v teoretickém vetknutí konzoly **jednotkový ohybový moment**:

$$m_c = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot l_k^2 \quad [\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}]$$

- Spočteme **návrhovou tahovou pevnost** prostého betonu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}$$

Dílčí součinitel bezpečnosti pro beton je $\gamma_c = 1,5$. Součinitel $\alpha_{ct} = 0,8$ zohledňuje nepříznivé účinky zatížení na pevnost betonu v tahu (patka není namáhána čistým ohybem, nepříznivě se projevuje vliv spolupůsobícího smyku). Pozor, f_{ctd} počítáme z $f_{ctk,0.05}$, nikoliv z $f_{ctk,0.95}$!!! Tabulka pevností betonu viz podklady pro 2. úlohu.

- Pomocí následujícího vztahu (viz ČSN EN 1992-1-1) navrhne **skutečnou výšku patky** (zaokrouhlíme na celých 50 mm nahoru):

$$h \geq \frac{a}{0,85} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{gd}}{f_{ctd}}}$$

Vztah lze interpretovat jako porovnání tahové pevnosti betonu f_{ctd} s tahovým napětím σ_{ct} v krajních vláknech patky, vyvozeným ohybem konzoly při kontaktním zatížení σ_{gd} . Rozpětí konzoly je v tomto případě uvažováno jako:

$$l_k = \frac{a}{0,85} = 1,176 \cdot a$$

Podrobnější odvození vztahu je uvedeno na konci návodu.

- Při návrhu dle výše uvedeného vztahu pravděpodobně vyjde výška patky h výrazně menší, než kolik odpovídalo roznášecímu úhlu $\alpha = 60^\circ$. To v zásadě není problém, ale roznášecí úhel α nesmí klesnout pod 45° - v opačném případě by se musela patka posoudit na protlačení.
- POZN.: O konečné výšce patky mohou v některých případech rozhodovat i jiná kritéria než statická - např. nezámrná hloubka (nepodsklepené objekty).
- Pro finální posouzení dopočteme **skutečné hodnoty** vlastní tíhy patky G_0 (návrhová hodnota), výstřednosti zatížení e , efektivní plochy A_{eff} , napětí σ_{gd} a momentu m_e .

Posouzení:

- Aby patka vyhověla, musí být splněny **dvě podmínky**:
 - 1) **Napětí v tažených vláknech** patky σ_{ct} musí být menší než návrhová tahová pevnost betonu f_{ctd} (bude automaticky splněno díky zvolenému způsobu návrhu výšky patky):

$$\sigma_{ct} = \frac{m_c}{W} = \frac{m_c}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} \leq f_{ctd}$$

Jelikož moment m_c byl vyčíslen v jednotkách [kN.m/m], bereme $b = 1,0$ m, nikoli skutečnou šířku patky.

- 2) **Napětí v základové spáře** musí být menší než únosnost (pevnost) zeminy:

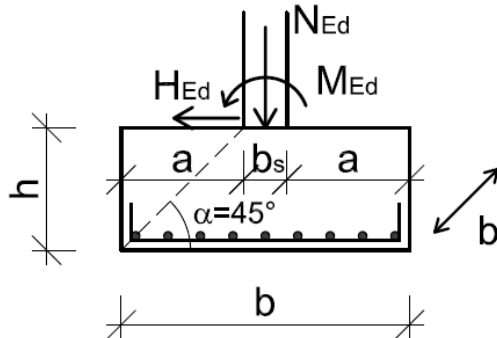
$$\sigma = \frac{N_{Ed} + G_0}{A_{eff}} \leq R_d$$

A_{eff} je skutečná efektivní plocha, G_0 je skutečná vlastní tíha patky spočtená podle skutečných rozměrů b , h – nejsou to odhadnuté hodnoty A_{eff} a G_0 použité pro návrh rozměrů patky!!!

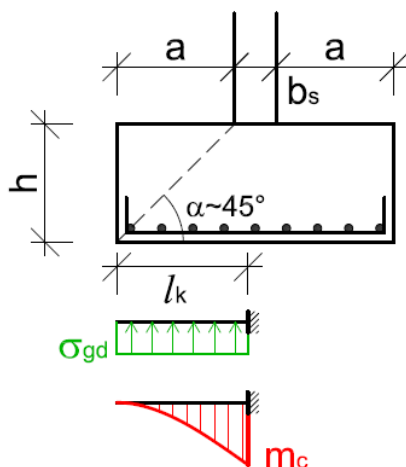
- Pokud 2. podmínka nevyhoví, patku už nepřepočítávejte, pouze odhadněte úpravu půdorysného rozměru patky (větší b).

Železobetonová patka

- Roznášecí úhel zatížení vyplývající z poměru výšky patky h a jejího vyložení a by se měl pohybovat v rozmezí $30^\circ - 45^\circ$. V prvním kroku zvolíme úhel 45° , tj. $h = a$.



- Pokud bude v takovém případě výška ŽB patky velmi blízká výšce patky z prostého betonu, nemělo by použití železobetonu smysl. Výšku patky snížíme tak, aby byla znatelně nižší než výška patky z prostého betonu (pro konstrukci řešenou ve cvičení orientačně o 200 až 300 mm). Roznášecí úhel α by přesto měl zůstat větší než 30° .
- V případě, že je roznášecí úhel $\alpha < 45^\circ$, měla by se patka posoudit na **protlačení**. Proces posouzení protlačení je v principu podobný jako u protlačení desky, ale je iterační, a proto zdlouhavý. Ve cvičení není nutné protlačení posuzovat, ovšem ve statickém výpočtu i na výkrese bude příp. uvedena poznámka, že posouzení na protlačení by bylo potřebné.
- Spočteme vlastní tíhu ŽB patky G_0 (návrhová hodnota), excentricitu zatížení e , plochu A_{eff} a napětí σ_{gd} - stejné výpočetní vztahy jako u patky z prostého betonu, oproti patce z prostého betonu se hodnoty změní v důsledku změny h .
- Patku modelujeme jako **ohýbanou konzolu** s účinnou délkou l_k :



Účinnou délku konzoly budeme tentokrát uvažovat:

$$l_k = a + 0,15b_s \quad \text{kde} \quad a = \frac{1}{2}(b - b_s)$$

- Spočteme moment v teoretickém vetknutí konzoly:

$$m_c = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot l_k^2 \quad [\text{kN} \cdot \text{m/m}]$$

- Zvolíme předpokládaný profil výztuže: obvykle $\varnothing 14 - 18 \text{ mm}$
 - obecně lépe větší počet prutů menších profilů než menší počet větších profilů
- Definujeme si hodnotu **krycí vrstvy**: **min. 40 mm** při betonáži na upravené podloží (včetně podkladního betonu), min. 75 mm při betonáži přímo na zeminu.
- **Navrhujeme ohybovou výztuž** úplně stejně, jako se navrhuje ohybová výztuž v desce nebo trámu (obdélníkový jednostranně vyztužený průřez). Uvažujeme šířku tlačené oblasti $b = 1 \text{ m}$ (neboť $m_c = [\text{kN.m/m}]$).

- **Kontrola konstrukčních zásad:**

$$a_s \geq a_{s,\min,1} = 0,0013 \cdot b \cdot d \quad \dots \text{nedojde ke křehkému lomu}$$

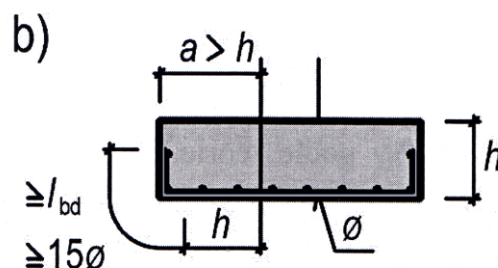
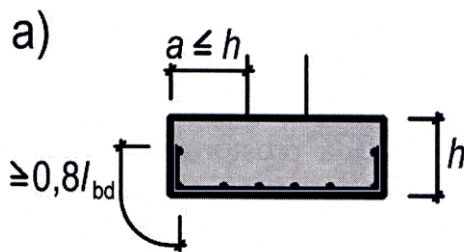
$$a_s \geq a_{s,\min,2} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} \quad \dots \text{nedojde ke křehkému lomu}$$

$$a_s \geq a_{s,\min,3} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} \quad \dots \text{omezení šířky trhlin}$$

$$s \leq s_{\max} = \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm})$$

- **Posouzení:** 1) Klasické posouzení ohybové výztuže na MSÚ
 - 2) Posouzení únosnosti základové půdy - viz druhá podmínka z posouzení patky z prostého betonu.
- **Kotvení ohybové výztuže:**

$$l_{bd} = l_{b,req} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{Ed}}{f_{bd}} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{f_{yd} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_s}}{2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}}$$



POZN.: Návrh výztuže a posouzení únosnosti patky by mělo být teoreticky provedeno v obou půdorysných směrech. Jelikož ohybový moment M_{Ed} a vodorovná síla H_{Ed} jsou zadány pouze v jednom směru, lze očekávat, že namáhání patky v kolmém směru bude výrazně menší. Pokud v obou směrech navrhujeme stejnou výztuž, měl by i kolmý směr bezpečně vyhovět.

POZN.: V místě napojení sloupu na patku může za jistých okolností docházet účinkem **soustředěného zatížení** ke vzniku příčných trhlin. Pokud hodnota svislého zatížení N_{Ed} překročí hodnotu soustředěné síly na mezi únosnosti F_{Rdu} (viz ČSN EN 1992-1-1, kap. 6.7), je nutné navrhnout **výztuž na přenos příčných tahových sil** - ideálně v podobě vrstev kari-sítí.

Ve cvičení výztuž na příčný tah **nenavrhujte**.

Výkresy tvaru a výztuže

- Pro obě varianty budou zpracovány výkresy tvaru a výztuže - vzor na webu.
- **Budou zpracovány i výkazy výztuže.**
- Kromě výztuže samotné patky budou výkresy a výkazy obsahovat i **startovací výztuž pro sloupy**.

Odvození vztahu pro návrh výšky patky z prostého betonu h vychází z první podmínky spolehlivosti:

$$\sigma_{ct} = \frac{m_c}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot l_k^2}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} \leq f_{ctd}$$

Uvažujeme-li rozpětí konzoly $l_k = 1,176 \cdot a$, pak získáme vztah ve tvaru:

$$\sigma_{ct} = \frac{m_c}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot (1,176 \cdot a)^2}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} \leq f_{ctd} \quad \Leftrightarrow \quad h \geq \frac{a}{0,85} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{gd}}{b \cdot f_{ctd}}}$$

V našem případě uvažujeme m_c v [kN.m/m], proto musíme uvažovat $b = 1,0$ m a lze tedy psát:

$$h \geq \frac{a}{0,85} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{gd}}{f_{ctd}}}$$