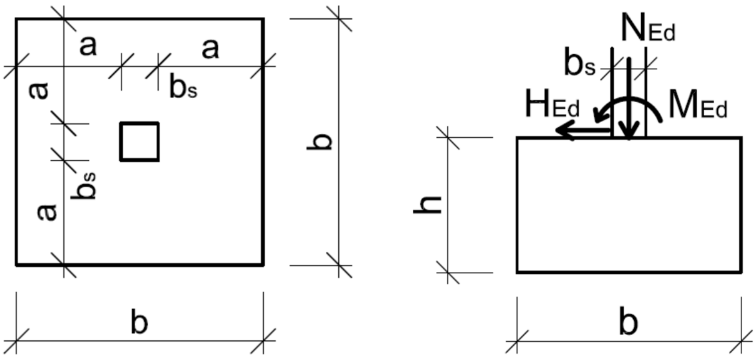
12. cvičení – Základová patka

- Navrhneme 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.



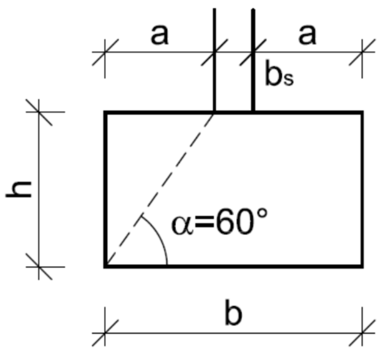
POZN.: Pro velké excentricity může být vhodné navrhnout patku obdélníkového půdorysu, příp. patku s excentrickou polohou sloupu. Pak by bylo nutné dále uvedený postup patřičně upravit (místo jednoho rozměru b bychom měli rozměry b_x a b_y, resp. hodnota vyložení patky za líc sloupu a by byla na každé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

Půdorysné rozměry patek

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

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

- 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**:



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

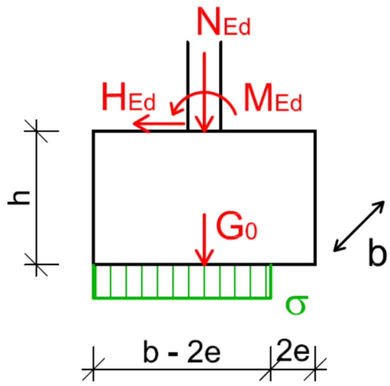
Bohužel ani půdorysný rozměr patky b v této fázi není známý, což vyřešíme dále uvedeným postupem

- Pro návrh patky budeme uvažovat založení na zemině o pevnosti $\boldsymbol{R}_\mathbf{d}$ dle zadání.
- Napětí v základové spáře σ musí být menší než pevnost zeminy. Jednoduchou úpravou spočteme minimální nutnou **efektivní plochu** základové patky A_{eff}:

$$\sigma = \frac{N_{\mathrm{Ed}} + G_0}{A_{\mathrm{eff}}} \leq R_{\mathrm{d}} \quad \Rightarrow \quad A_{\mathrm{eff}} \geq \frac{N_{\mathrm{Ed}} + G_0}{R_{\mathrm{d}}}$$

- Budeme uvažovat zjednodušený model rovnoměrného rozložení napětí v základové spáře. Navrhujeme patku **čtvercového půdorysu**. Patka je výstředně zatížena v jednom směru. Její efektivní rozměry jsou tedy b a $(b - 2e)$. Platí proto:

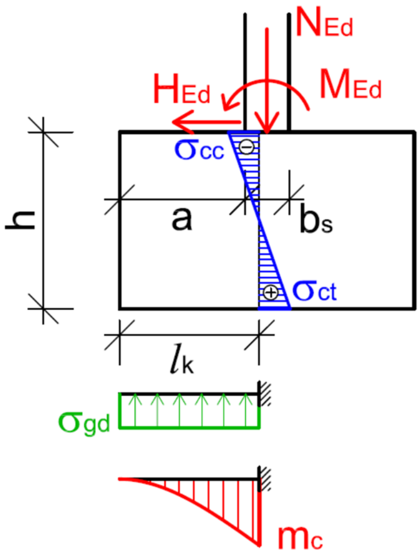
$$A_{\mathrm{eff}} = b \cdot (b - 2e)$$



- Po dosazení výše uvedených vztahů do poslední rovnice (za e dosadíme vztah z druhé odrážky této kapitoly; do něj dosadíme za h vztah ze třetí odrážky této kapitoly; za A_{eff} dosadíme vztah z páté odrážky této kapitoly) dostaneme kvadratickou rovnici o jediné neznámé, kterou je **rozměr patky** b. Vyřešením rovnice obdržíme dva kořeny, z nichž ovšem pouze jeden bude mít fyzikální smysl. **Tento kořen představuje hledanou minimální šířku patky *b*.**
- Podle ní navrhneme **skutečný rozměr patky *b*** (zaokrouhlíme na celých 50 mm nahoru) a dopočteme prozatímní odhad výšky patky h (pomocí vztahu ze třetí odrážky) a výstřednosti e.
- Na základě navržených rozměrů b a h by bylo možné nyní zpřesnit odhadnutou 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.
- Kromě výše uvedeného exaktního postupu jsou možné i tyto alternativy:
  a) iterační návrh rozměru patky: počáteční volba b ⇨ výpočet h ⇨ výpočet e ⇨ výpočet b
  ⇩
  konečný výpočet b ⇦ oprava e ⇦ oprava h

  b) rozumný prvotní odhad výšky patky h – ve cvičení cca 0,8 až 1,3 m

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 obrázek vpravo.
- Patku modelujeme jako **ohýbanou konzolu** s účinnou délkou $l_k = \frac{a}{0{,}85} = 1{,}176 \cdot a$
- 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 (viz předchozí kapitola), směrem dolů pak vlastní tíhou. Výsledkem je zatížení (napětí) σ_{gd}, kde je vlastní tíha eliminována.

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

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

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

$$f_{ctd,pl} = k_{t,pl} \cdot \frac{k_{tt} \cdot f_{ctk,0.05}}{\gamma_c}$$

kde $k_{t,pl} = 0{,}8$ je součinitel vyjadřující menší míru duktility prostého betonu,

k_{tt} je součinitel zohledňující účinky dlouhodobě působícího zatížení a doby zatížení na pevnost betonu v tahu, ve cvičeních uvažujte hodnotu k_{tt} = 0,8 (podrobněji viz norma),

$\gamma_c = 1{,}5$ je dílčí součinitel bezpečnosti pro beton,

$f_{ctk,0.05}$ je charakteristická pevnost betonu v tahu. Tabulka pevností betonu viz podklady pro 1. úlohu. **Pozor,** nespleťte se a neuvažujte hodnotu $\boldsymbol{f_{ctk,0.95}}$.

- Pomocí následujícího vztahu (viz ČSN EN 1992-1-1 vztah (14.13)) navrhneme **skutečnou výšku patky** (zaokrouhlíme na celých 50 mm nahoru):

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

Vztah lze interpretovat jako porovnání tahové pevnosti betonu $f_{ctd,pl}$ s tahovým napětím σ_{ct} v krajních vláknech patky, které je vyvozeno ohybem konzoly od kontaktního zatížení σ_{gd}. 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 $\alpha = 60°$. To v zásadě není problém, ale roznášecí úhel α nesmí klesnout pod 45°. V opačném případě by se musela patka posoudit na protlačení. V domácím úkolu konečnou výšku navrhněte tak, aby roznášecí úhel byl ≥ 45 °.
- Na základě skutečné výšky patky *h* pro posouzení dopočteme **skutečné hodnoty** vlastní tíhy patky $\mathbf{G_0}$ (návrhová hodnota), výstřednosti zatížení $\boldsymbol{e}$, efektivní plochy $\mathbf{A_{eff}}$, napětí $\boldsymbol{\sigma_{gd}}$ a momentu $\boldsymbol{m_c}$.
- **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 $f_{ctd,pl}$ (bude automaticky splněno díky zvolenému způsobu návrhu výšky patky):

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

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

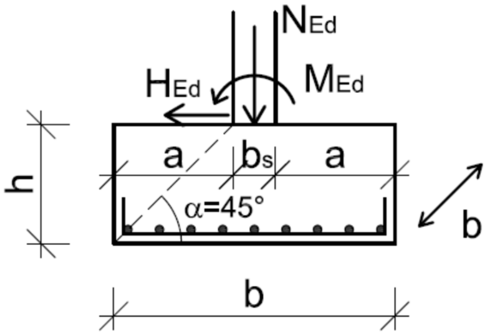
  2) **Napětí v základové spáře** musí být menší než pevnost zeminy:

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

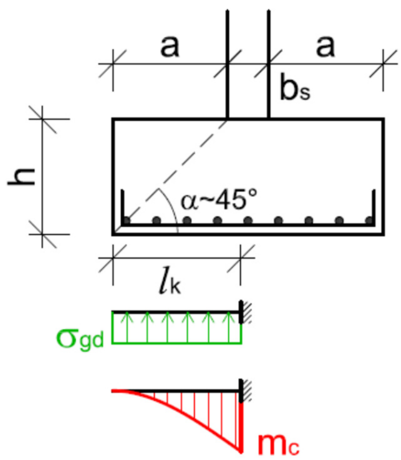
  A_{eff} je **skutečná** efektivní plocha, G_0 je **skutečná** vlastní tíha patky spočtená podle **skutečných** rozměrů *b*, *h* stanovených v předchozím kroku. **Nejsou to odhadnuté hodnoty** A_{eff} a G_0 použité pro návrh rozměrů patky.
- Pokud 2. podmínka nevyhoví, patku už nepřepočítávejte, pouze 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° – 45°. 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 $\alpha < 45°$, měla by se patka posoudit na **protlačení**. Proces posouzení protlačení je stejný jako u lokálně podepřených desek, mění se pouze některé konstrukční zásady. **Ve cvičení není nutné protlačení posuzovat**, ovšem ve statickém výpočtu i na výkrese bude v případě potřeby 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}. Výpočetní vztahy jsou stejné jako u patky z prostého betonu, ale oproti patce z prostého betonu se hodnoty změní v důsledku změny *h*.
- Patku modelujeme jako **ohýbanou konzolu** s účinnou délkou l_k:



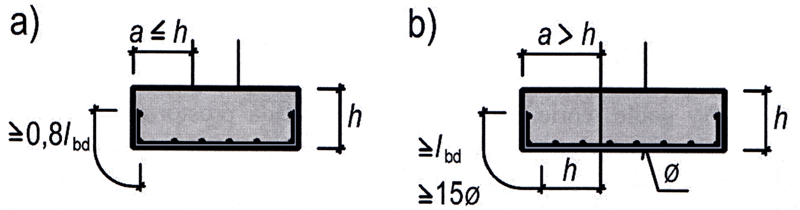
Účinnou délku konzoly pro ŽB patky budeme uvažovat:

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

- Spočteme moment v teoretickém vetknutí konzoly:

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

- Zvolíme předpokládaný profil výztuže – obvykle ∅ **14 – 18 mm**. Platí obecné doporučení, že je lépe navrhnout větší počet prutů menších profilů než menší počet větších profilů.
- Definujeme si hodnotu **krycí vrstvy**: **min. 65 mm** při betonáži na upravené podloží (včetně podkladního betonu), min. 100 mm při betonáži přímo na zeminu.
- **Navrhneme ohybovou výztuž** úplně stejně, jako se navrhuje ohybová výztuž v desce nebo trámu (obdélníkový jednostranně vyztužený průřez). Uvažujeme šířku tlačené oblasti b = 1 m (neboť m_c = [kN.m/m]).
- Kontrola **konstrukčních zásad** (průřez s navrženou výztuží splňuje podmínku $m_{cr} \leq m_{Rd}$, rozteče prutů ohybové výztuže splňují podmínku $s \leq s_{max} = min(2 \cdot h; 250\ \mathrm{mm})$).
- **Posouzení**:
  1) Klasické posouzení ohybové výztuže na MSÚ .
  2) Posouzení únosnosti základové půdy – viz druhá podmínka pro posouzení patky z prostého betonu.
- **Kotevní délka** ohybové výztuže – viz předchozí domácí úkoly, viz skripta příklad 2.



- Návrh výztuže a posouzení únosnosti patky by mělo být obecně provedeno v obou půdorysných směrech. Jelikož ohybový moment M_{Ed} a vodorovná síla H_{Ed} podle zadání působí pouze v jednom směru, lze očekávat, že namáhání patky v kolmém směru bude výrazně menší. Pokud v obou směrech navrhneme stejnou výztuž, měl by i kolmý směr bezpečně vyhovět.
- V místě napojení sloupu na patku dochází účinkem **soustředěného zatížení** ke vzniku příčných tahů. Pokud napětí vyvolané svislou silou N_{Ed} překročí návrhovou odolnost σ_{Rdu} (viz ČSN EN 1992-1-1, kap. 8.6), 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 pro patku z prostého betonu:

$$\sigma_{\mathrm{ct}} = \frac{m_c}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sigma_{\mathrm{gd}} \cdot {l_{\mathrm{k}}}^2}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} \leq f_{\mathrm{ctd,pl}}$$

Uvažujeme-li vyložení konzoly $l_{\mathrm{k}} = \frac{a}{0{,}85} = 1{,}176 \cdot a$, pak získáme vztah ve tvaru:

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

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

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