

Úloha 3: Železobetonový sloup

Návrh výztuže sloupu

Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (Štefan)

Zadání Úlohy 3

Zadání Úlohy 3

Pro zadaný železobetonový sloup o rozměrech $b \times h \times l$ zatížený normálovou silou F_d na rameni e navrhněte výztuž a průřez sloupu s výztuží posuďte pomocí interakčního diagramu.

$$b = \dots \text{ mm}$$

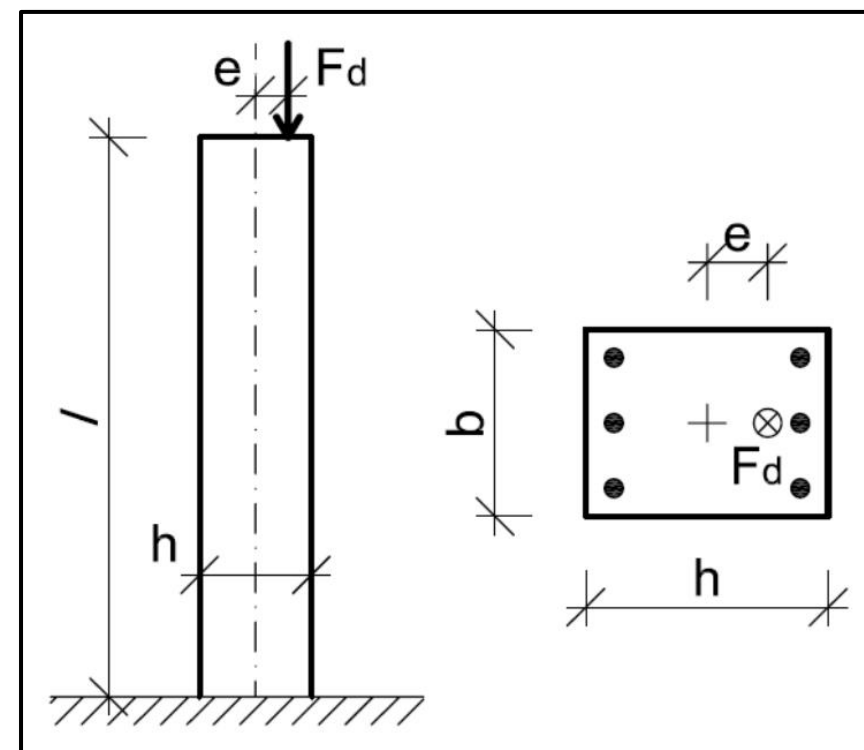
$$h = \dots \text{ mm}$$

$$l = \dots \text{ mm}$$

$$F_d = \dots \text{ kN}$$

$$e = \dots \text{ mm}$$

Materiály a tloušťku krycí vrstvy uvažujeme shodné jako v úloze 2.



Zadání Úkolu 3.1

Zadání Úkolu 3.1

Naším úkolem je

- navrhnout výztuž sloupu tak, aby sloup zvládl ustát zadané namáhání od zatížení (normálovou sílu a ohybový moment) a nedošlo k jeho kolapsu.

Návrh výztuže sloupu

Návrh výztuže sloupu

Do sloupu musíme navrhnout **hlavní nosnou (podélnou) výztuž**. Musíme navrhnout

- průměr prutů
- počet prutů.

























Návrh pak přehledně uvádíme ve tvaru

$$\text{NÁVRH: } n \times \varnothing X \text{ (} A_{s,prov} = Z \text{ mm}^2 \text{)}$$

Průměr prutů

Průměr prutů výztuž \varnothing_s volíme

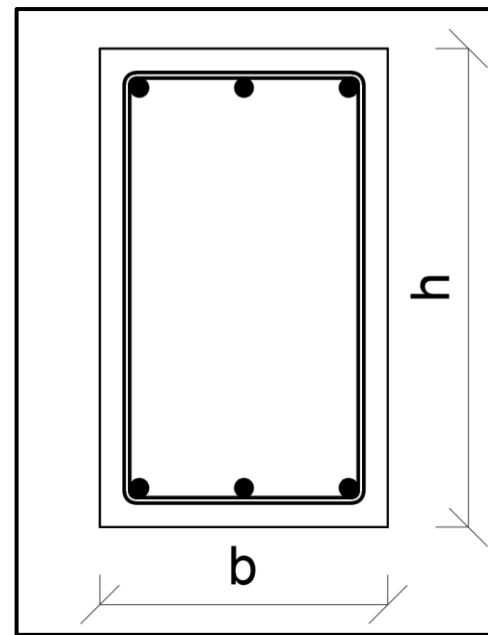
- z běžně dodávaných průměrů,
- minimálně 12 mm.

	110100	Ocel betonářská 6mm v tyčích	m	0,22 kg	6,95 / 8,41 Kč	31,59 / 38,22 Kč	 Detail zboží
	110200	Ocel betonářská 8mm v tyčích	m	0,40 kg	12,40 / 15,00 Kč	31,00 / 37,51 Kč	 Detail zboží
	110300	Ocel betonářská 10mm v tyčích	m	0,62 kg	19,13 / 23,15 Kč	30,85 / 37,33 Kč	 Detail zboží
	110400	Ocel betonářská 12mm v tyčích	m	0,89 kg	27,42 / 33,18 Kč	30,81 / 37,28 Kč	 Detail zboží
	110500	Ocel betonářská 14mm v tyčích	m	1,21 kg	37,31 / 45,15 Kč	30,83 / 37,31 Kč	 Detail zboží
	110600	Ocel betonářská 16mm v tyčích	m	1,58 kg	50,05 / 60,56 Kč	31,68 / 38,33 Kč	 Detail zboží
	110700	Ocel betonářská 18mm v tyčích	m	2,00 kg	57,24 / 69,26 Kč	28,62 / 34,63 Kč	 Detail zboží
	110800	Ocel betonářská 20mm v tyčích	m	2,47 kg	70,51 / 85,32 Kč	28,55 / 34,54 Kč	 Detail zboží
	110900	Ocel betonářská 22mm v tyčích	m	2,98 kg	77,67 / 93,98 Kč	26,06 / 31,54 Kč	 Detail zboží
	111000	Ocel betonářská 25mm v tyčích	m	3,85 kg	100,35 / 121,42 Kč	26,06 / 31,54 Kč	 Detail zboží
	111100	Ocel betonářská 28mm v tyčích	m	4,83 kg	125,89 / 152,33 Kč	26,06 / 31,54 Kč	 Detail zboží
	111200	Ocel betonářská 32mm v tyčích	m	6,31 kg	184,45 / 223,18 Kč	29,23 / 35,37 Kč	 Detail zboží

Počet prutů

Počet prutů výztuže

- volíme **sudý**, protože **výztuž průřezu sloupu navrhujeme symetricky***,
- navrhujeme **minimálně 4 pruty**, protože **umístujeme prut do každého rohu**.



Návrh výztuže sloupu

Výztuž v průřezu sloupu (průměr a počet) můžeme navrhnout jakkoliv. Nejčastěji se však používá **jeden z následujících postupů**.

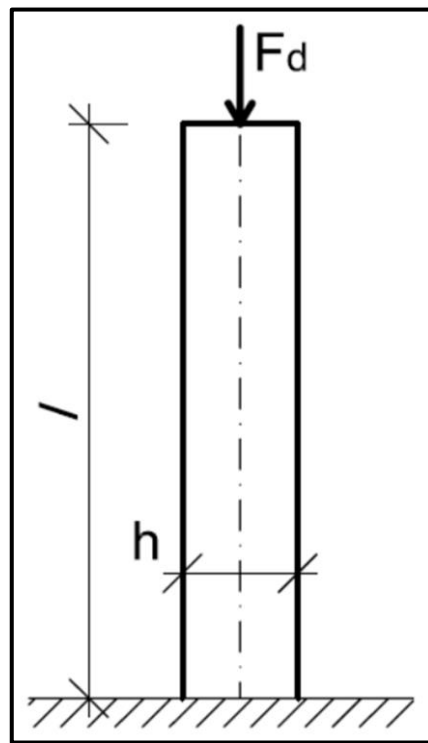
- 1) Stanovení potřebné plochy výztuže z **předpokladu dostředného tlaku**.
- 2) Stanovení potřebné plochy výztuže pomocí **nomogramů**.
- 3) Návrh výztuže iterační metodou (**pokus omyl**) ve vlastním Excelu nebo pomocí programu.

Návrh výztuže sloupu

Návrh z předpokladu dostředného tlaku

Předpoklad dostředného tlaku

Při návrhu z předpokladu dostředného tlaku vycházíme z nebezpečného* **předpokladu**, že na průřez sloupu působí **pouze dostředná (centrická) normálová síla**†.

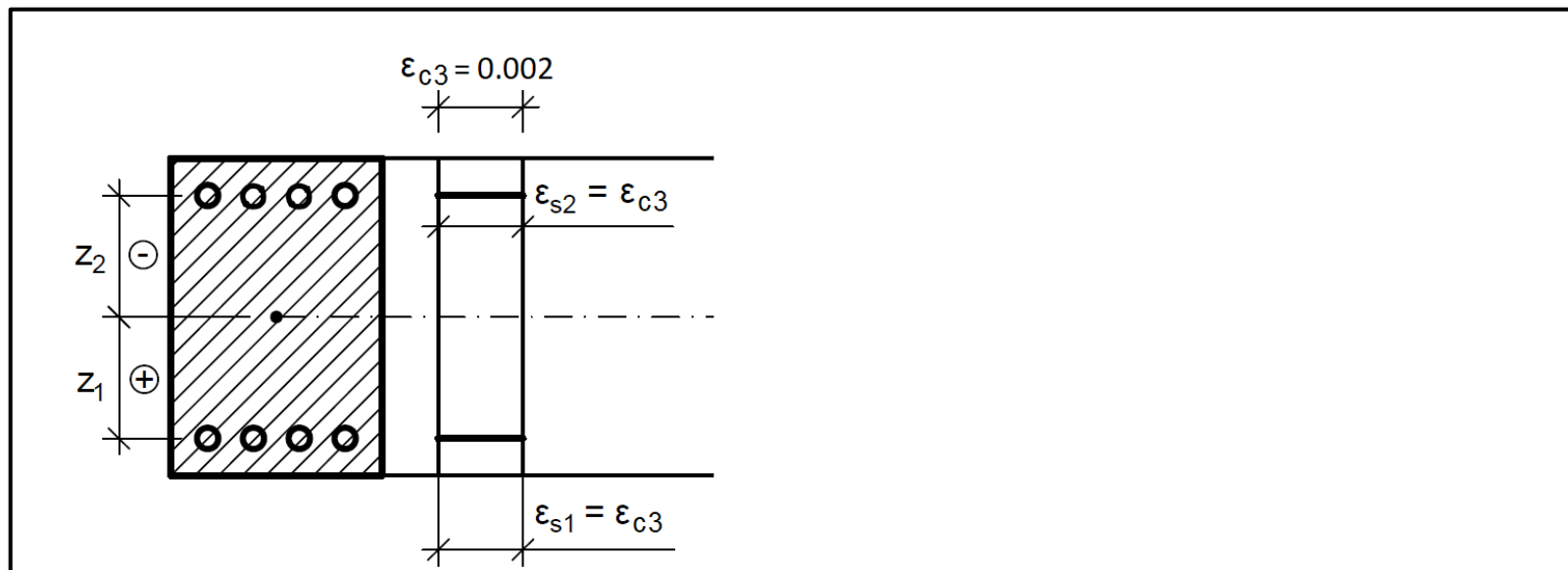


* Je tedy možné, že nám pak posouzení nevyjde.

† Tj. zanedbáváme, že síla působí na excentricitě $e > 0$, která vyvozuje moment $M_{Ed} > 0$.

Předpoklad dostředného tlaku

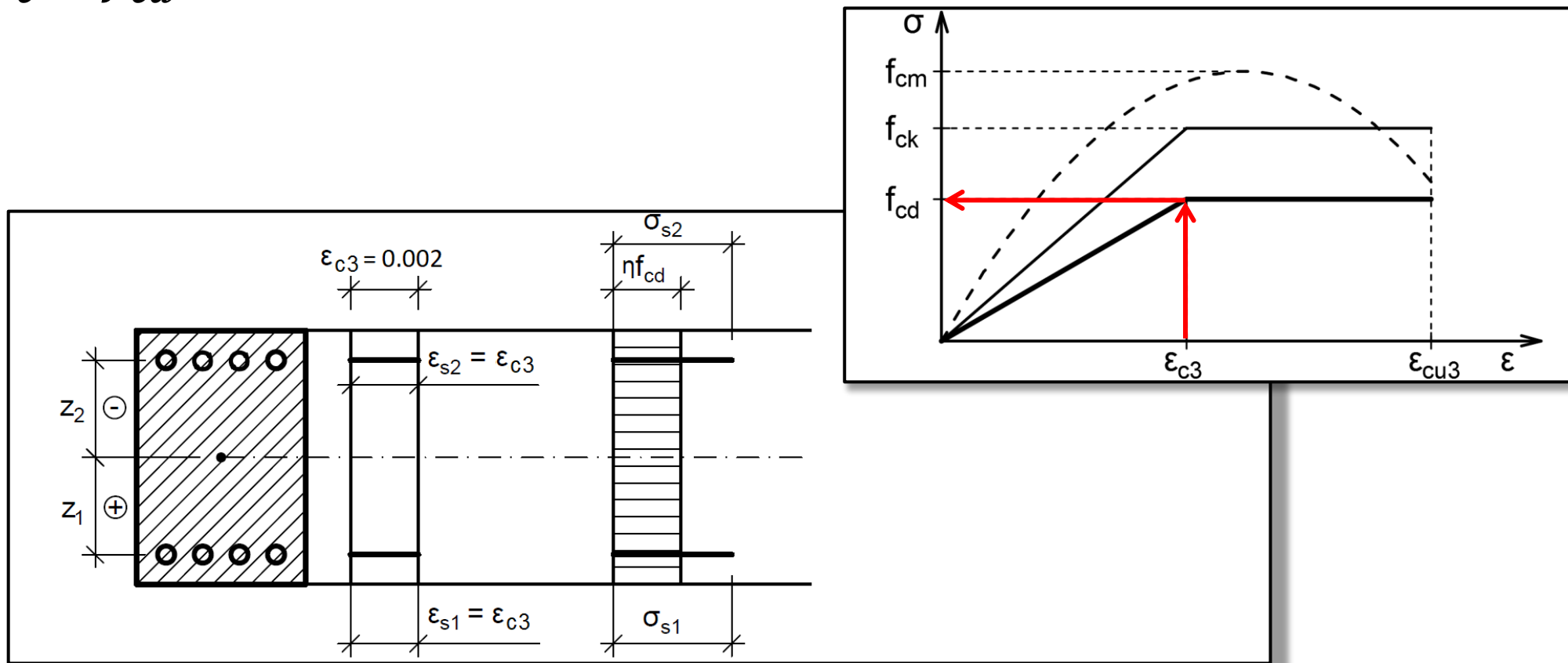
Při dostředném tlakovém namáhání je průřez rovnoměrně stlačován a **při dosažení únosnosti** je **všude v průřezu** dosaženo maximálního dovoleného poměrného přetvoření $\varepsilon_{c3} = 0.002$.



Předpoklad dostředného tlaku

Pro poměrném přetvoření $\epsilon_{c3} = 0.002$ je v betonu napětí

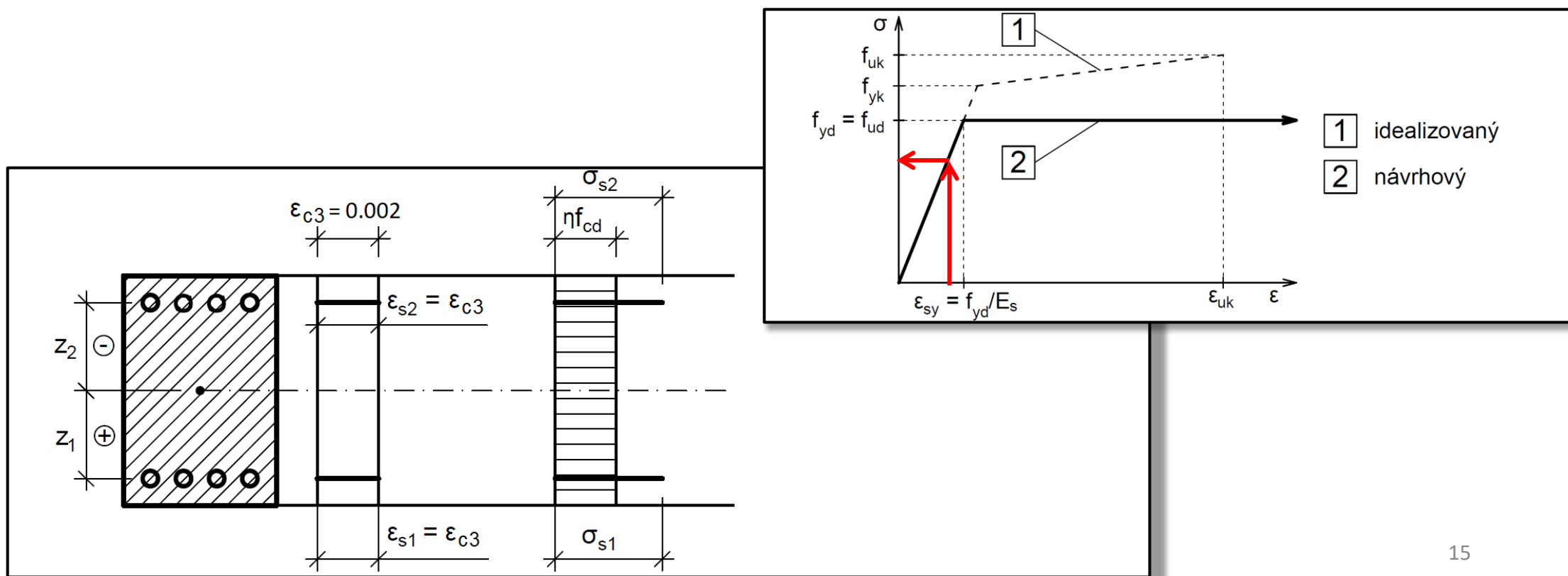
$$\sigma_c = f_{cd}$$



Předpoklad dostředného tlaku

Při poměrném přetvoření $\varepsilon_s = \varepsilon_{c3} = 0.002$ je napětí ve výztuži

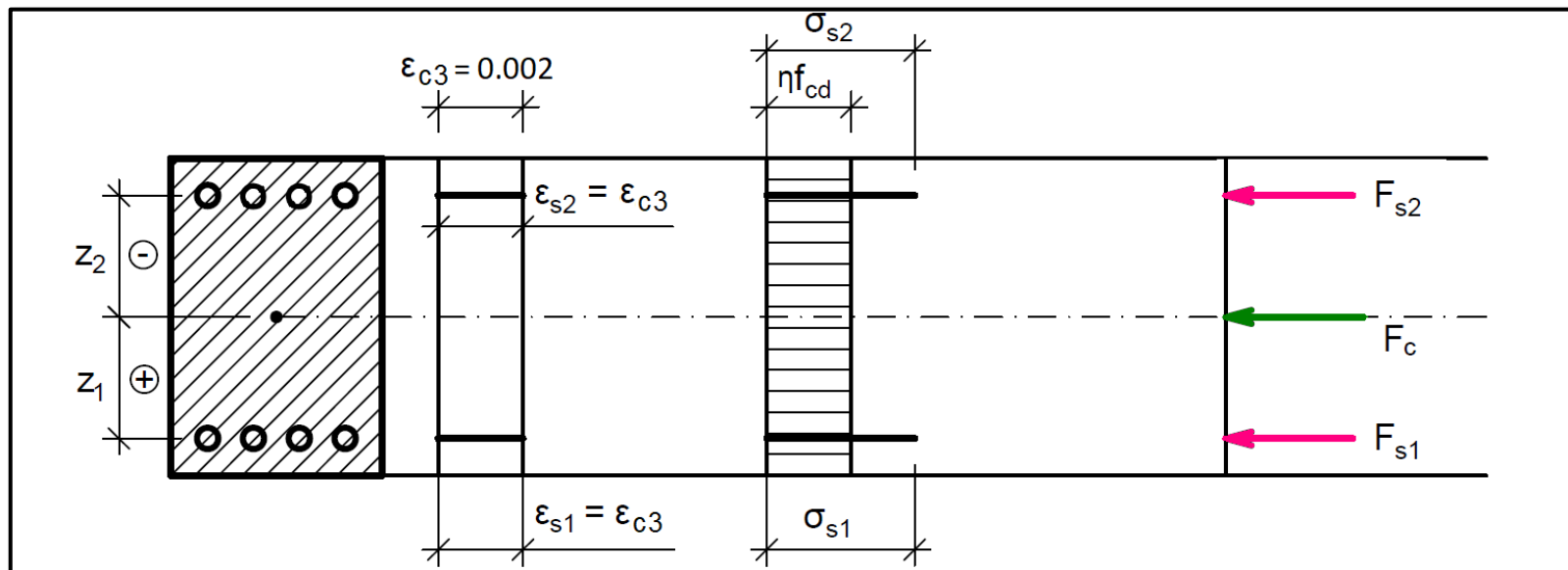
$$\sigma_s = 400 \text{ MPa} = 0.002 \cdot 200000 = 0.002 E_s = \varepsilon_{c3} E_s.$$



Předpoklad dostředného tlaku

Síly v průřezu při dosažení únosnosti jsou tedy

- v tlačném betonu: $F_c = bhf_{cd} = bh\sigma_c$,
- ve výztužích: $F_{s,i} = A_{s,i} \cdot 400 \text{ MPa} = A_{s,i}\sigma_s$.



Předpoklad dostředného tlaku

Normálová únosnost průřezu je suma sil v průřezu při dosažení únosnosti, kterou získáme pomocí vztahu

$$N_{Rd} = F_c + F_{s1} + F_{s2},$$

$$N_{Rd} = bhf_{cd} + A_{s,1} \cdot 400 \text{ MPa} + A_{s,2} \cdot 400 \text{ MPa},$$

$$N_{Rd} = bhf_{cd} + (A_{s,1} + A_{s,2}) \cdot 400 \text{ MPa},$$

$$N_{Rd} = bhf_{cd} + A_s \cdot 400 \text{ MPa}.$$

Předpoklad dostředného tlaku

Pokud bychom sloup navrhli na 100 % využití, tak pak by platilo, že

$$N_{Ed} = N_{Rd}$$

tedy

$$N_{Ed} = bhf_{cd} + A_s \cdot 400 \text{ MPa}.$$

Pokud budeme zjednodušeně* uvažovat, že $N_{Ed} = F_d$, pak ve výše uvedené rovnici známe všechny parametry kromě A_s , a můžeme si tedy vyjádřit vztah

$$A_s = \frac{N_{Ed} - bhf_{cd}}{400 \text{ MPa}}.$$

Předpoklad dostředného tlaku

Pro získání určité rezervy se většinou uvažuje pouze **80 % únosnosti betonu**.
Úpravou získáme vztah pro návrh potřebné plochy výztuže

$$A_{s,req} = \frac{N_{Ed} - 0.8bh f_{cd}}{400 \text{ MPa}}.$$

Nyní již můžeme **navrhnout průměr prutů \varnothing_s a počet prutů n** tak, aby byla splněna podmínka

$$A_{s,req} \leq A_{s,prov} = n \frac{\pi \varnothing_s^2}{4}.$$

Předpoklad dostředného tlaku

Návrh pomocí předpokladu dostředného tlaku

- je nejjednodušší a nejrychlejší,
- lze použít bez jakýchkoliv pomůcek,
- je nepřesný při velké excentricitě působící síly.

Návrh výztuže sloupu

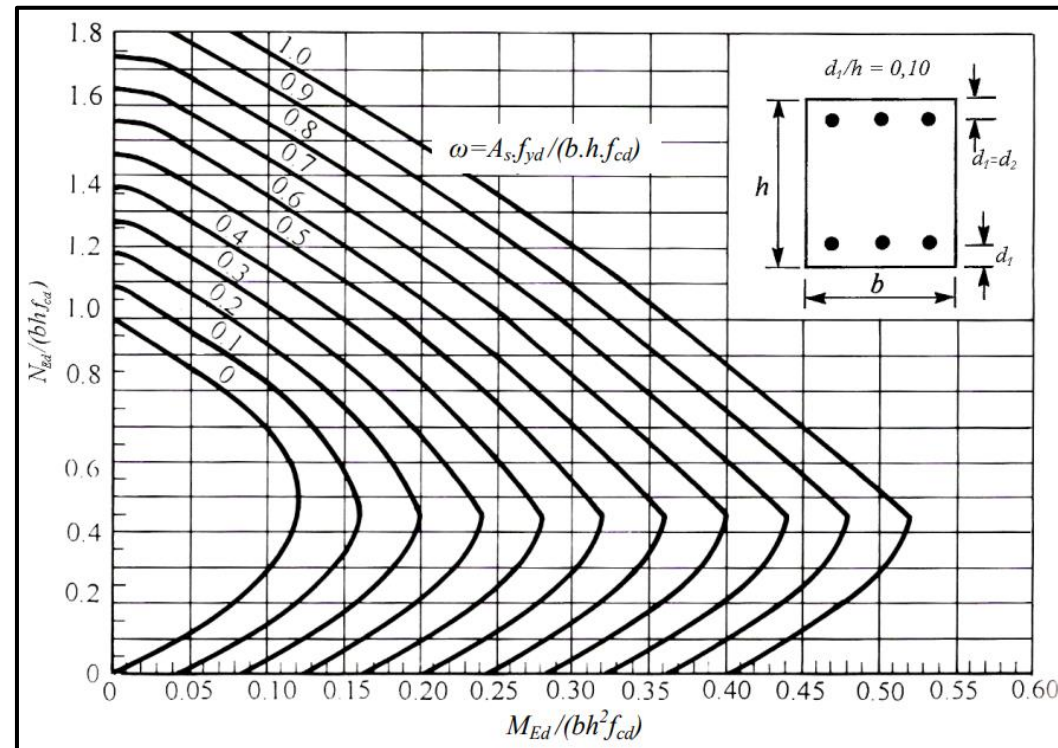
Návrh pomocí nomogramů

Nomogramy

Při návrhu pomocí nomogramů používáme pomocné grafy, které nám umožňují dostatečně přesně odhadnout potřebnou plochu výztuže.

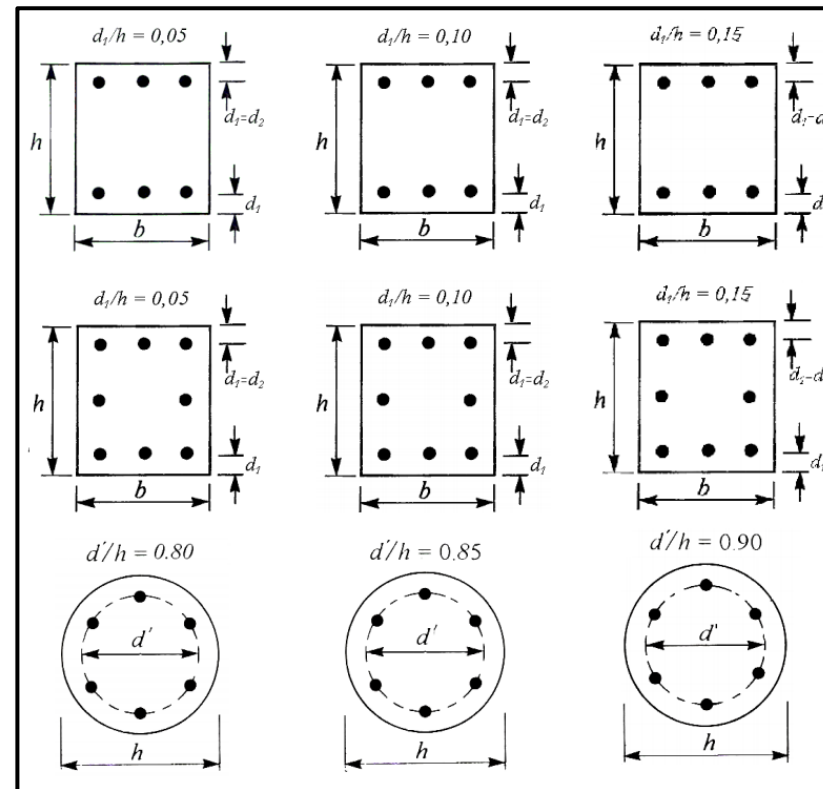
Nomogramy

Nomogram je graf s různými křivkami, který lze použít pro relativně přesný návrh výztuže průřezu sloupu*.



Nomogramy

Nomogramy jsou vytvořené pro různé typy průřezů – musíme tedy při návrhu vždy zvolit správný nomogram (viz odkaz níže).



Nomogramy

Při použití nomogramu

1) Vypočítáme poměrné vnitřní síly:

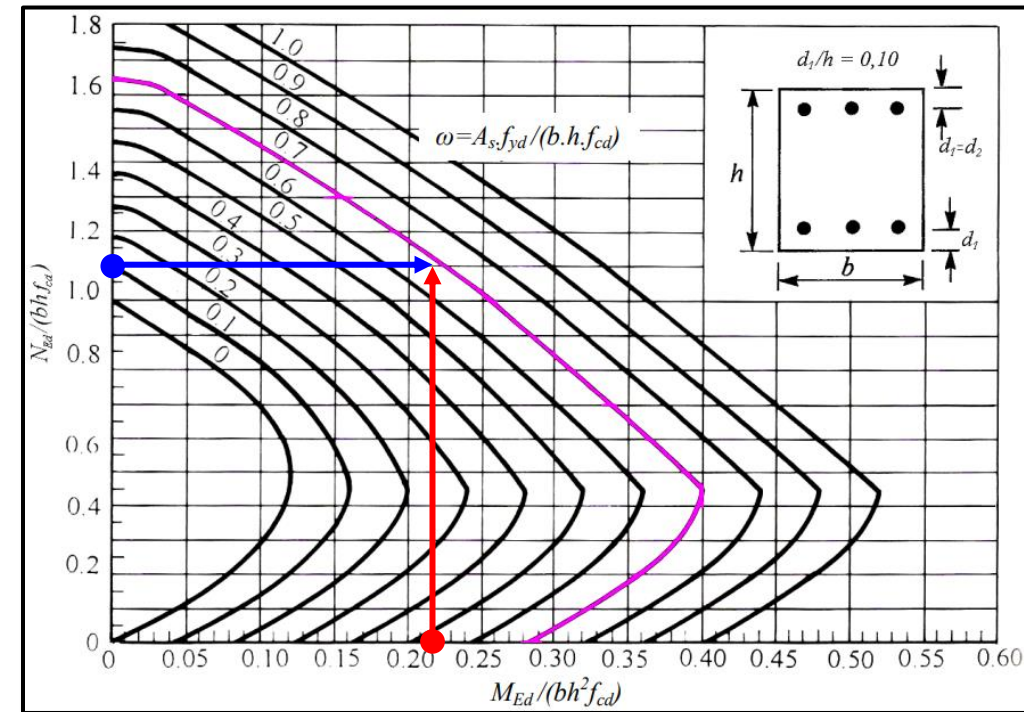
$$N_{Ed}/(bh f_{cd}),$$

$$M_{Ed}/(bh^2 f_{cd}).$$

2) Pro vypočtené poměrné síly z grafu odečteme odpovídající křivku udávající součinitel ω .

3) Vypočteme potřebnou plochu výztuže jako

$$A_{s,req} = \left(\omega \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) bh.$$



Nomogramy

Návrh pomocí nomogramů

- je dostatečně přesný,
- je středně časově náročný,
- nelze použít bez pomocných grafů,
- nelze použít pro automatický návrh na počítači,
- je zastaralý.

Návrh výztuže sloupu

Návrh iterační metodou

Iterační metoda

Při návrhu iterační metodou postupujeme tak, že

- 1) Od oka odhadneme plochu výztuže.
- 2) [Posoudíme průřez](#).
- 3) Podle posouzení zhodnotíme, zda návrh vyhovuje, a jak moc je ekonomický.
- 4) **Opakujeme kroky 1 až 3** dokud není návrh optimální.

Tento postup návrhu je pro ruční výpočet příliš časově náročný, a proto ho používáme jen za pomoci výpočetních pomůcek – Excelové pomůcky nebo různé [programy](#).

Iterační metoda

Pro návrh* (tj. kroky 2 a 3) můžeme použít např. program [InDiOn](#).

InDiOn - Interakční Diagram Online

Program pro vykreslení interakčního diagramu průřezu

Charakteristiky průřezu

b = mm

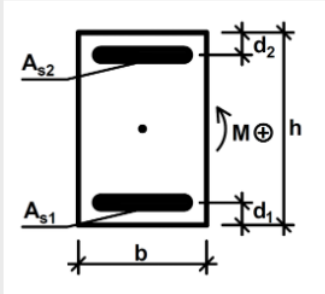
h = mm

d₁ = mm

d₂ = mm

A_{s1} = mm²

A_{s2} = mm²



Materiály

f_{ck} = MPa

f_{yk} = MPa

E_s = GPa

Působící vnitřní síly

N_{Ed} = kN

M_{Ed} = kNm

Vypočítat

Iterační metoda

Do programu zadáme

- geometrii průřezu,
- použité materiály,
- navrženou výztuž,
- působící vnitřní síly.

InDiOn - Interakční Diagram Online

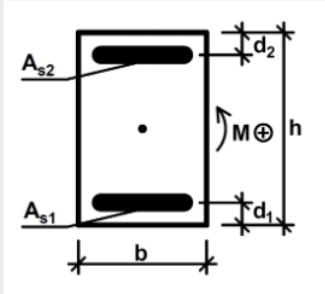
Program pro vykreslení interakčního diagramu průřezu

Charakteristiky průřezu

$b =$ mm
 $h =$ mm
 $d_1 =$ mm
 $d_2 =$ mm
 $A_{s1} =$ mm²
 $A_{s2} =$ mm²

Materiály

$f_{ck} =$ MPa
 $f_{yk} =$ MPa
 $E_s =$ GPa



Působící vnitřní síly

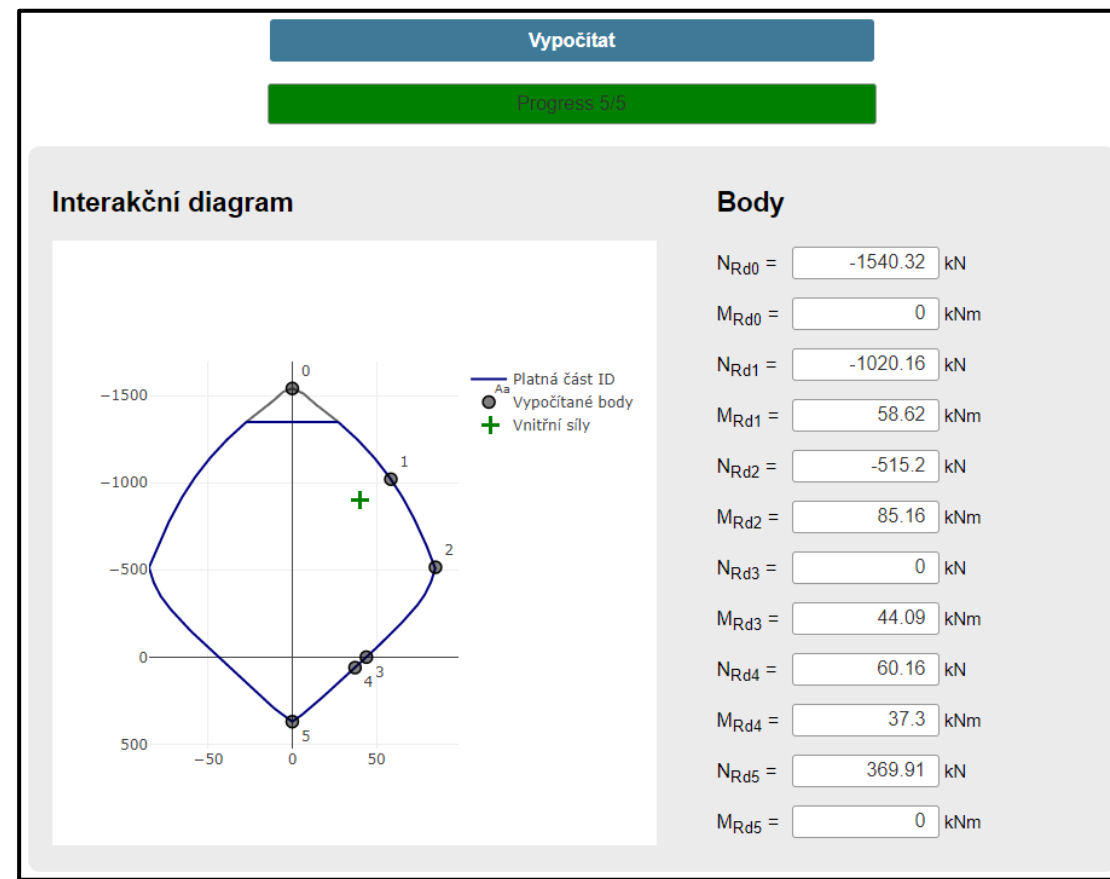
$N_{Ed} =$ kN
 $M_{Ed} =$ kNm

Vypočítat

Iterační metoda

Program poté vykreslí

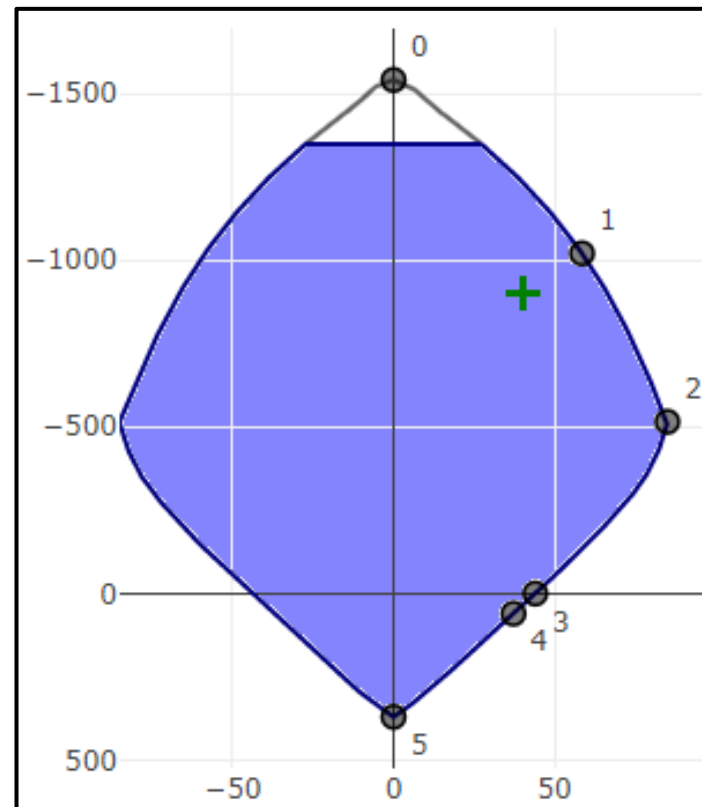
- křivku únosnosti,
- bod vyjadřující působící vnitřní síly.



Iterační metoda

Návrh je **bezpečný**, pokud **bod** leží **uvnitř oblasti** dané **křivkou únosnosti**.

Návrh je **ekonomický**, pokud **bod** leží **blízko křivky únosnosti**.



Iterační metoda

Návrh iterační metodou

- je nejpřesnější,
- je zároveň i posouzením návrhu,
- je při použití počítače velice rychlý,
- je bez počítače velmi zdlouhavý.

Návrh výztuže sloupu

Shrnutí metod

Shrnutí metod

	Přesnost návrhu	Rychlost návrhu	Vhodné pro		Používání v praxi
			ruční výpočet	počítač	
Předpoklad dostředného tlaku	Orange	Green	Green	Green	Yellow
Nomogramy	Yellow	Yellow	Green	Red	Red
Iterační metoda	Green	Yellow	Red	Green	Green

Návrh výztuže sloupu

Další informace

Další informace

Pokud nám při návrhu výztuže vyjde, že nepotřebujeme žádnou výztuž (nebo stačí hodně málo), znamená to, že máme zbytečně velký průřez a je vhodné rozměry průřezu zmenšit.

Konstrukční zásady výztuže sloupu

Konstrukční zásady výztuže sloupu

Námi navržená výztuž musí splňovat konstrukční zásady vyztužování pro sloup

- podmínka minimální plochy výztuže $A_{s,min}$,
- podmínka maximální plochy výztuže $A_{s,max}$.

Minimální plocha výztuže

Navržená výztuž musí splňovat podmínku pro minimální plochu výztuže

$$\max \left(0.1 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0.002A_c \right) \leq A_{s,prov},$$
$$A_{s,min} \leq A_{s,prov}.$$

Pokud podmínka nevyhoví, znamená to jednu ze dvou věcí:

- máme velké normálové zatížení – je nutné zvětšit plochu výztuže,
- máme zbytečně velký průřez – je vhodné rozměry průřezu zmenšit a znovu navrhnout výztuž.

Minimální plocha výztuže

Navržená výztuž musí splňovat podmínku pro maximální plochu výztuže

$$A_{s,prov} \leq 0.04A_c,$$

$$A_{s,prov} \leq A_{s,max}.$$

Pokud podmínka nevyhoví, znamená to, že máme moc malý průřez a musíme rozměry průřezu zvětšit.

Doporučení pro návrh výztuže

Doporučení pro návrh výztuže

Při návrhu výztuže je většinou nejlepší

1. nejprve provést návrh pomocí dostředného tlaku (abychom získali první odhad nutné výztuže),
2. následně návrh upravit pomocí iterační metody (abychom si návrh výztuže ověřili a zoptimalizovali).

díky za pozornost

Poděkování

Děkuji **Radku Štefanovi, Tomáši Trtíkovi, Romanu Chylíkovi a Hance Schreiberové** za časté konzultace při vypracovávání prezentace a **Stáňovi Zažirejovi** za poskytnutí vizualizací a obrázků.

Děkuji **Petru Bílému a Martinovi Tipkovi** za vytvoření a udržování oficiálních podkladů, ze kterých vychází tato prezentace.

[a v neposlední řadě, děkuji divákům v poslední řadě](#)