



Úloha 2 – Železobetonový trémový strop

Návrh a posouzení výztuže desky

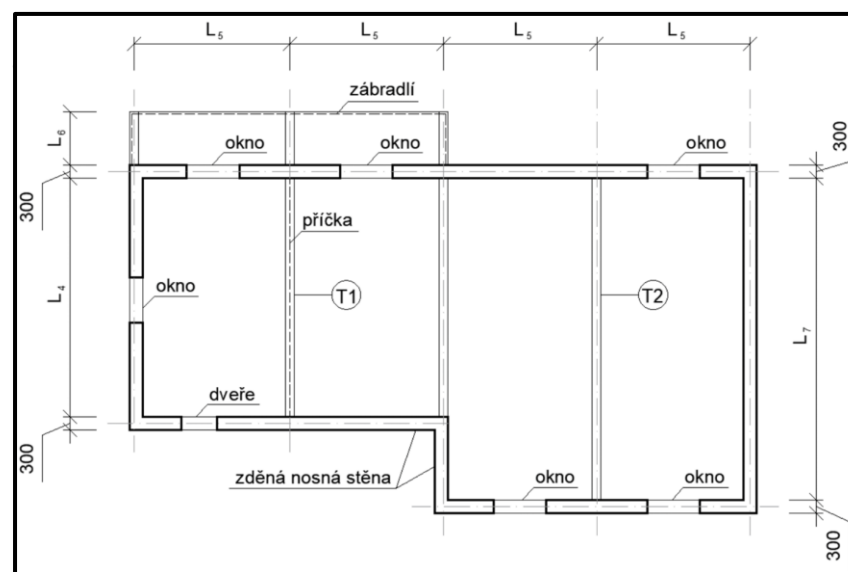
Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (paralelka Štefan)

Zadání Úlohy 2

Zadání Úlohy 2

V rámci úlohy 2 vypracujeme

- návrh rozměrů stropních prvků (desky a trámů T1 a T2) + výpočet zatížení stropních prvků,
- výpočet vnitřních sil na desce a trámech T1 a T2,
- **návrh a posouzení výztuže desky** + výkres výztuže desky,
- návrh a posouzení výztuže trámu T1
- výkres tvaru.



Zadání Úkolu 2.4

Úkol

Naším úkolem je

- **navrhnout výztuž** desky tak, aby deska zvládla přenést veškeré zatížení a **nedošlo ke kolapsu**.

Cíl

Cílem výpočtu je:

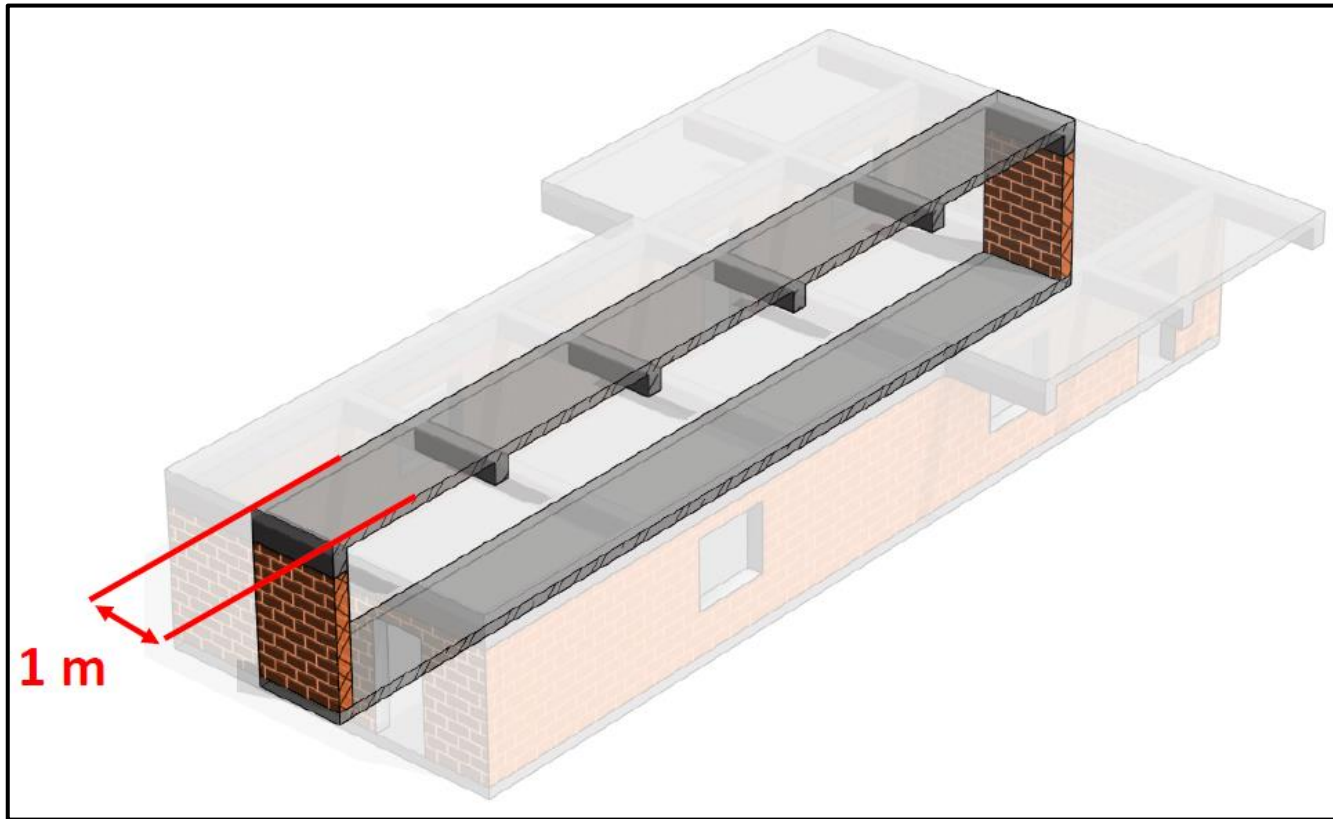
- **navrhnout** vhodné množství hlavní nosné výztuže v desce ($a_{s,prov}$),
 - vypočítat moment únosnosti průřezu s navrženou výztuží (m_{Rd}),
 - **posoudit**, jestli nejvíc namáhaný průřez odolá působící vnitřní síle* ($m_{Ed} \leq m_{Rd}$)
-
- navrhnout „konstrukční výztuž“.

Návrh nosné výztuže a posouzení desky

Návrh nosné výztuže a posouzení desky
Řešený průřez desky

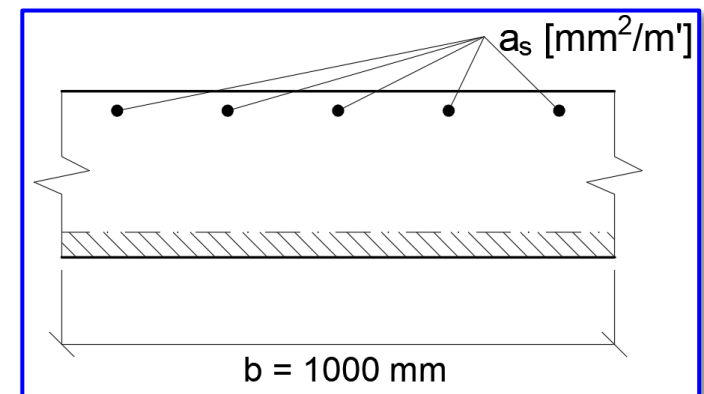
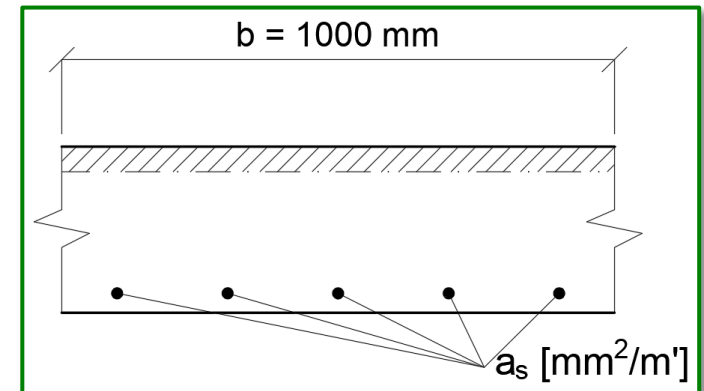
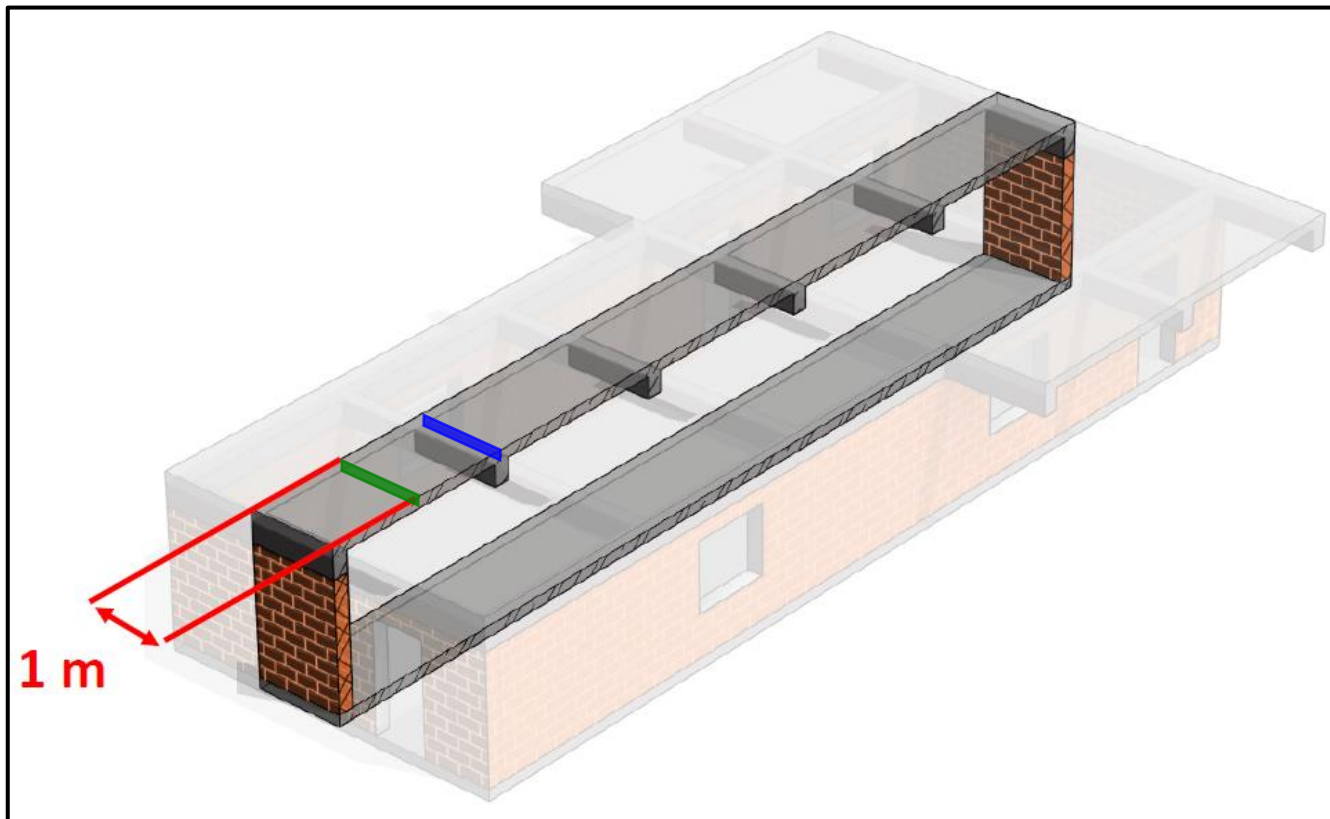
Řešený průřez desky

Stejně jako v případě vnitřních sil řešíme desku na jeden metr šířky desky.



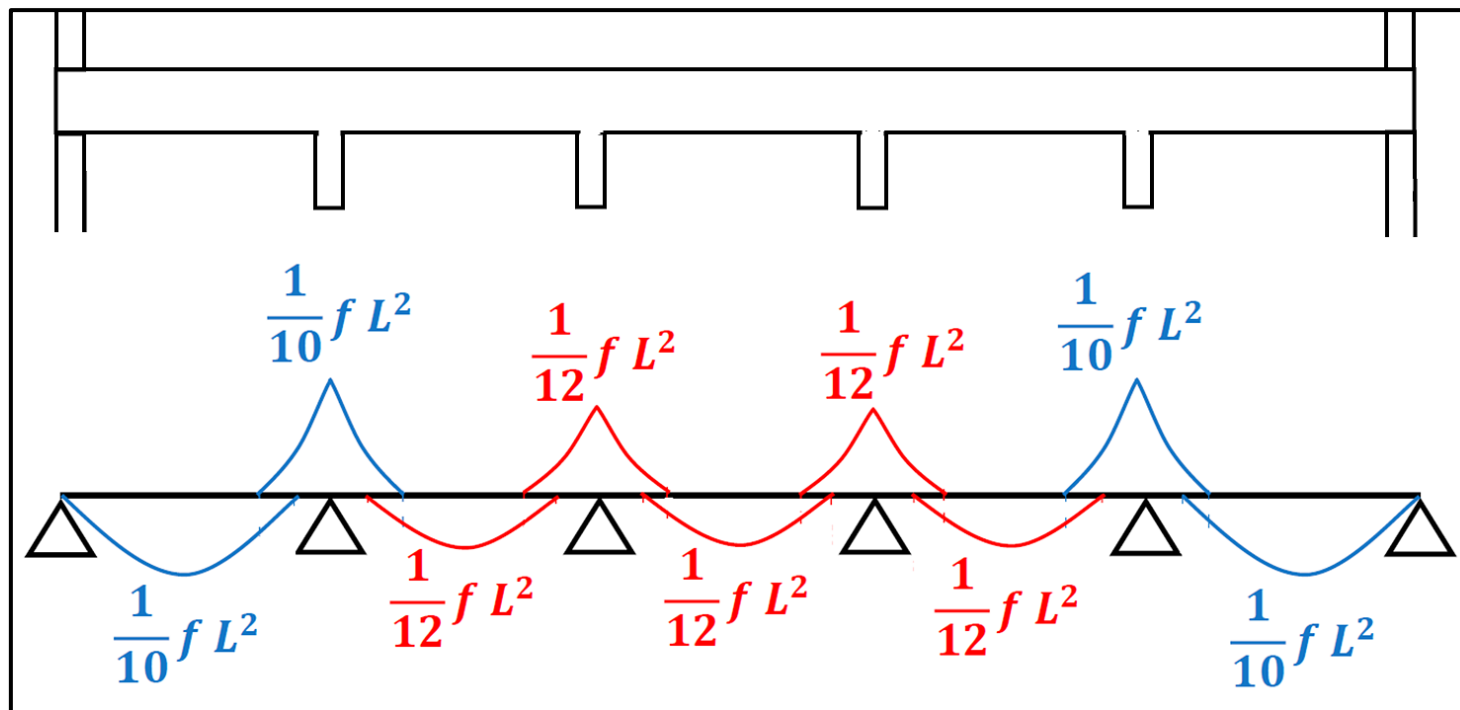
Řešený průřez desky

A do toho jednoho metru šířky budeme navrhovat výztuž.



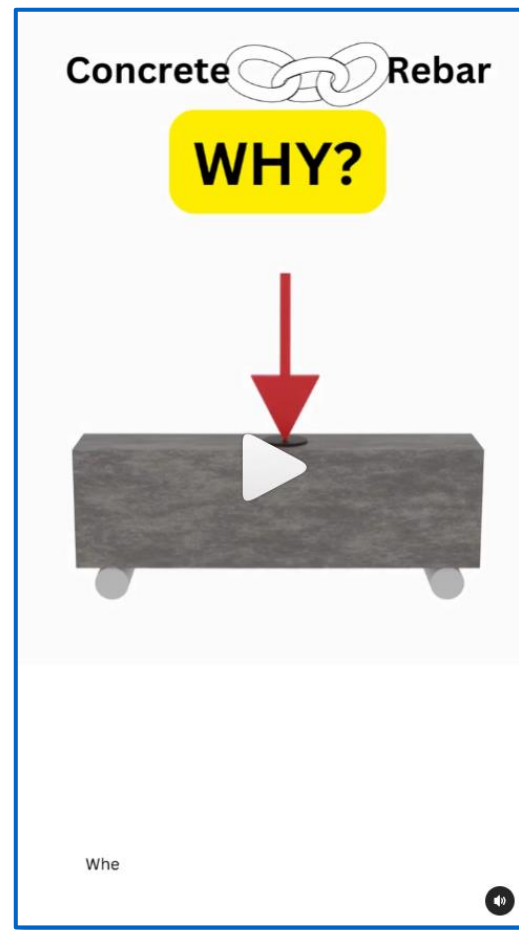
Řešený průřez desky

Na desce nám působí ohybové momenty. Desku musíme vyztužit tak, aby tyto ohybové momenty byla schopná přenést.



Řešený průřez desky

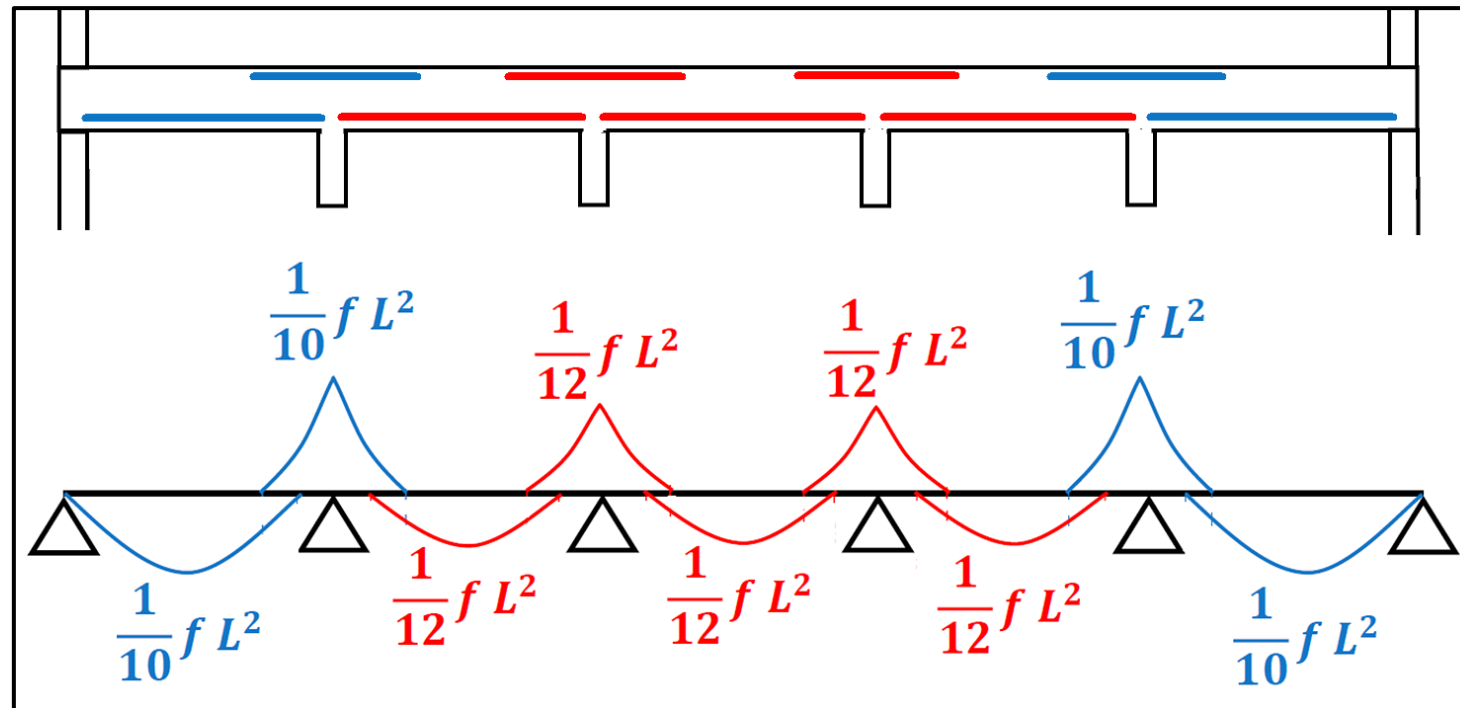
Kam a proč umísťujeme výztuž?



Řešený průřez desky

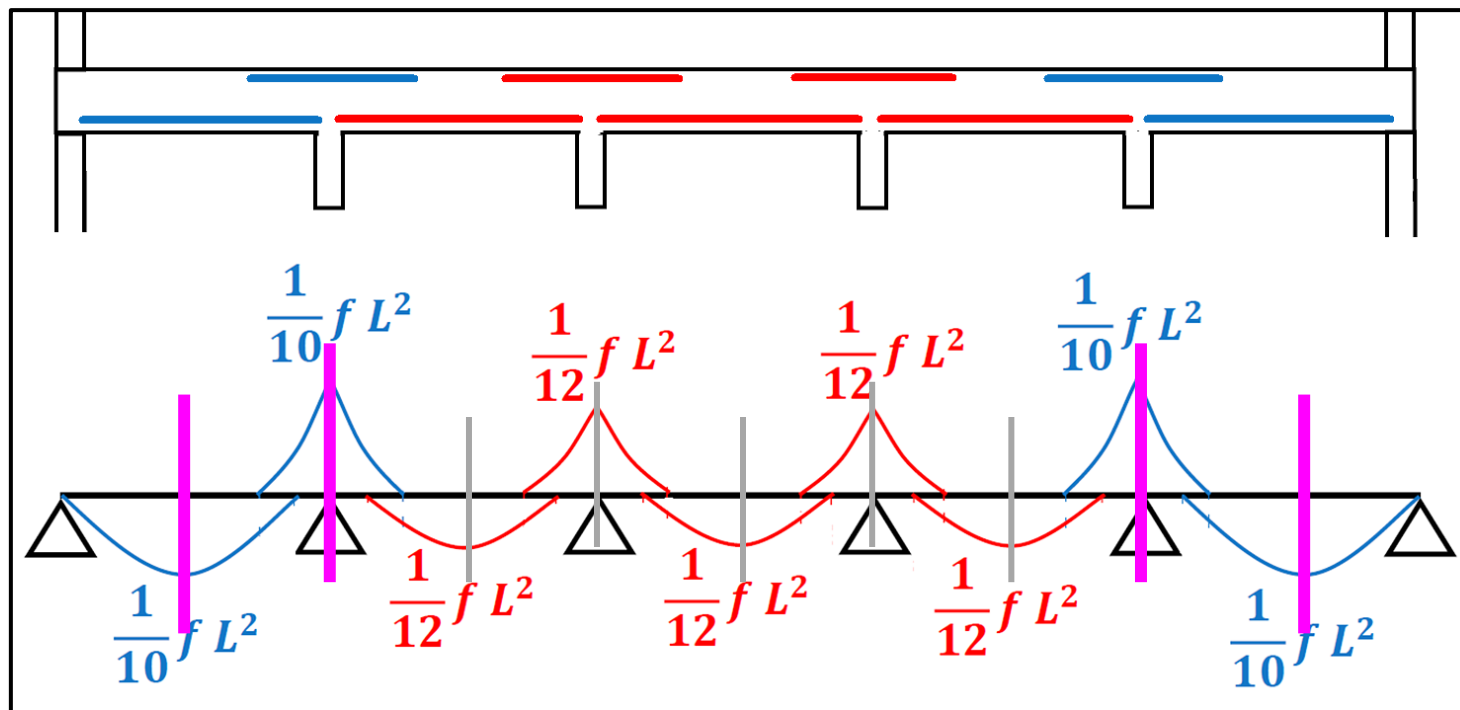
Výztuž musíme dát ke každému taženému* povrchu. Momenty vždy kreslíme na stranu tažených vláken.

→ **Výztuž vždy MUSÍME dát k povrchům, u kterých máme vykreslený moment.**



Průřez desky

Výztuž desky navrhne pro nejvíce namáhaný průřez* desky a průřez s navrženou výztuží posoudíme. (Navrženou výztuž pak použijeme i pro vnitřní pole a podpory, kde jsou momenty menší, takže i tam nám to musí vyhovět.)



Návrh nosné výztuže a posouzení desky
Výpočet

Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Postup výpočtů

- 1) **Definování materiálových vlastností**
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Definování materiálových vlastností

Prvním krokem při výpočtu momentu únosnosti průřezu M_{Rd} je určení materiálových vlastností.

Beton je specifikován třídou pevnosti betonu (např. C30/37), ze které vyčteme pevnost betonu

- charakteristická: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$,
- návrhová: $f_{cd} = f_{ck} / 1.5 = \boxed{20 \text{ MPa}}$.

Výztuž je specifikována třídou výztuže (většinou B 500B), ze které vyčteme hodnotu napětí na mezi kluzu oceli

- charakteristická: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$,
- návrhová: $f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = \boxed{435 \text{ MPa}}$.

Postup výpočtů

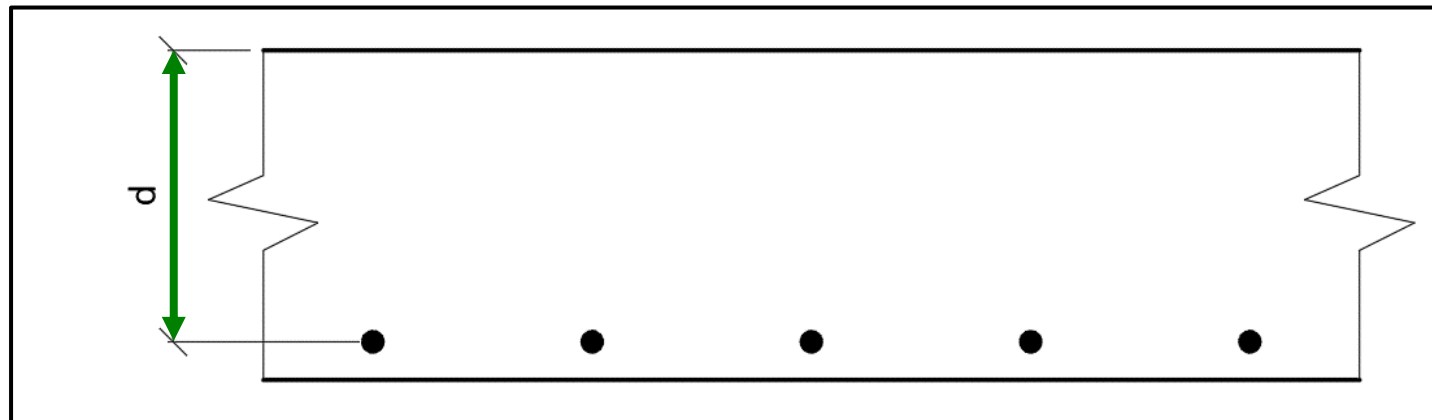
- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu**
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Geometrie průřezu

Tloušťku desky známe (už jsme si ji předběžně navrhli minule).

Polohu výztuže neznáme a musíme ji stanovit.



Geometrie průřezu

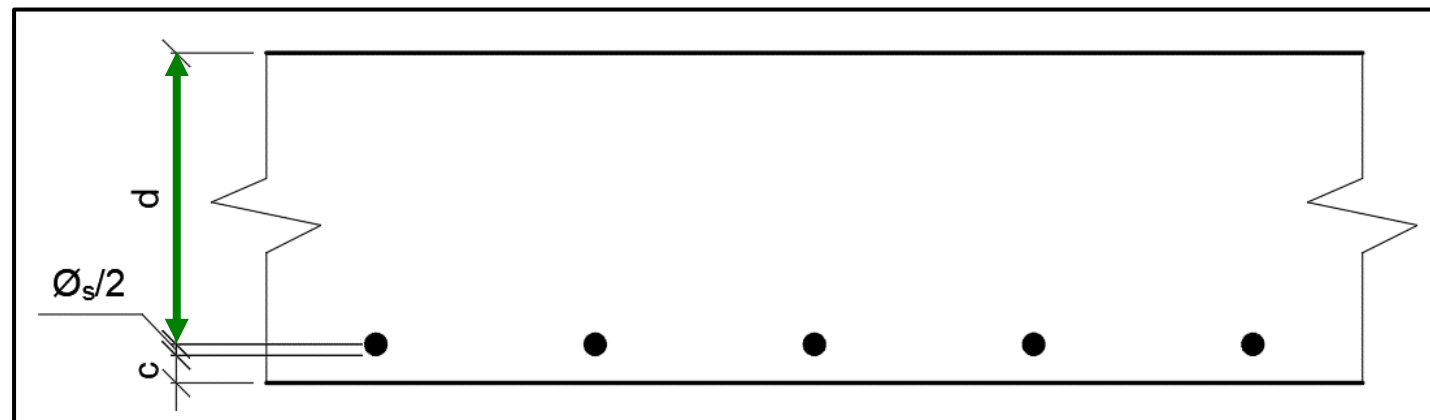
Pro vyjádření polohy výztuže se používá rozměr zvaný **účinná výška průřezu d** , která se určí ze vztahu

$$d = h - c - \varnothing_s/2.$$

kde h je výška průřezu (máme navrženo),

c je krytí výztuže (máme zadáno),

\varnothing_s je průměr výztuže (volíme 8, 10 nebo 12 mm – viz dále).



Průměr prutů výztuže

Průměr prutů výztuže \varnothing_s vždy volíme ze standardně nabízených průměrů.

Pro desku jsou vhodné pruty cca 8 až 12 mm.

Ideálně volíme menší průměry (např. 8 mm)*. Větší průměry volíme pouze pokud by nám pro malý průměr vycházela malá (pod 100 mm) rozteč prutů – viz dále.

| Název produktu | Měrná jednotka (MJ) | Váha MJ | Základní cena za MJ bez/s DPH | |
|-------------------------------|---------------------|---------|-------------------------------|------------------------------|
| Ocel betonářská 6mm v tyčích | m | 0,22 kg | 14,82 / 17,93 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 8mm v tyčích | m | 0,40 kg | 24,36 / 29,48 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 10mm v tyčích | m | 0,62 kg | 35,96 / 43,51 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 12mm v tyčích | m | 0,89 kg | 49,04 / 59,34 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 14mm v tyčích | m | 1,21 kg | 67,36 / 81,51 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 16mm v tyčích | m | 1,58 kg | 87,95 / 106,42 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 18mm v tyčích | m | 2,00 kg | 110,20 / 133,34 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 20mm v tyčích | m | 2,47 kg | 136,10 / 164,68 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 22mm v tyčích | m | 2,98 kg | 164,20 / 198,68 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 25mm v tyčích | m | 3,85 kg | 212,14 / 256,69 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 28mm v tyčích | m | 4,83 kg | 266,13 / 322,02 Kč | Detail zboží |
| Ocel betonářská 32mm v tyčích | m | 6,31 kg | 347,68 / 420,69 Kč | Detail zboží |

* Z hlediska použitelnosti konstrukce (průhyb, šířka trhlin) je vždy lepší navrhovat menší průměry výztuže s menší roztečí (tj. více prutů) než větší průměry výztuže s větší roztečí (tj. méně prutů).

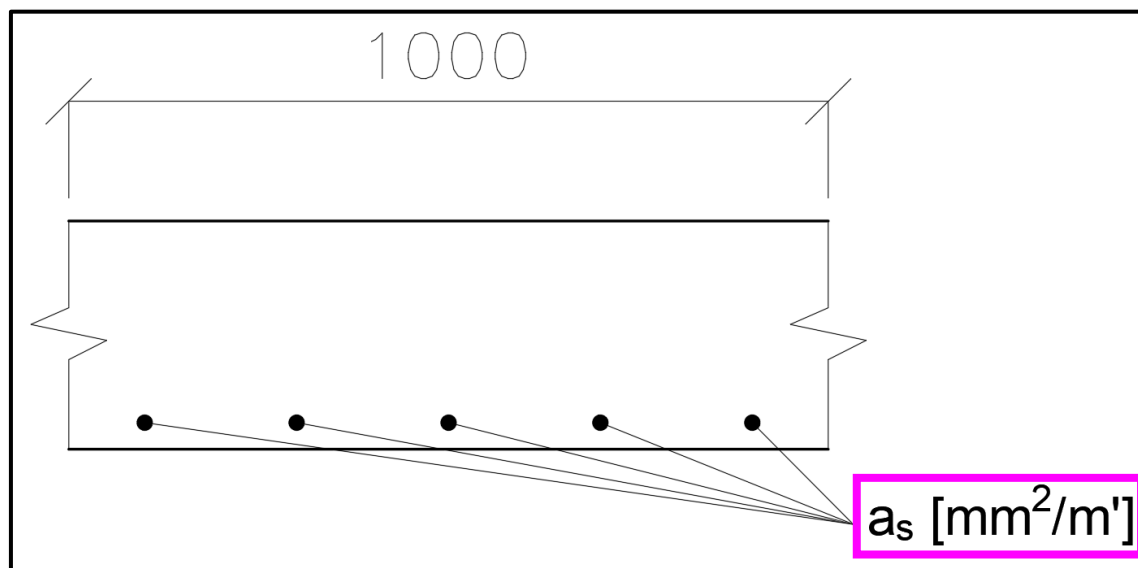
Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže**
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Návrh výztuže

Pro naši desku musíme navrhnout (stanovit) množství výztuže v průřezu desky*, kde množství výztuže udáváme jako celkovou plochu všech prutů výztuže v desce šířky 1 m* – $a_s [\text{mm}^2/\text{m}']$.



Návrh výztuže – požadovaná plocha výztuže

Jako první musíme stanovit požadovanou* plochu výztuže.

*„Požadovaná plocha“ v tomto smyslu znamená „minimální nutná plocha výztuže, kterou musíme dát do desky, aby přenesla působící moment“. Nepoužíváme ale označení „minimální“, protože tohle označení používáme jinde – viz dále.

Návrh výztuže – požadovaná plocha výztuže

Požadovanou plochu výztuže určíme pomocí vztahu*

$$a_{s,req} = \frac{bd f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m_{Ed}}{bd^2 f_{cd}}} \right),$$

- kde b je šířka průřezu (1 m),
 d je účinná výška průřezu (máme navrženo – viz výše),
 f_{cd} je návrhová hodnota pevnosti betonu (máme zadáno),
 f_{yd} je návrhová hodnota meze kluzu oceli (máme zadáno),
 m_{Ed} je návrhová hodnota největšího ohybového momentu na desce (máme vypočteno z minulého cvičení).

Návrh výztuže – skutečná výztuž

Po stanovení potřebné plochy výztuže můžeme navrhnout skutečnou výztuž.

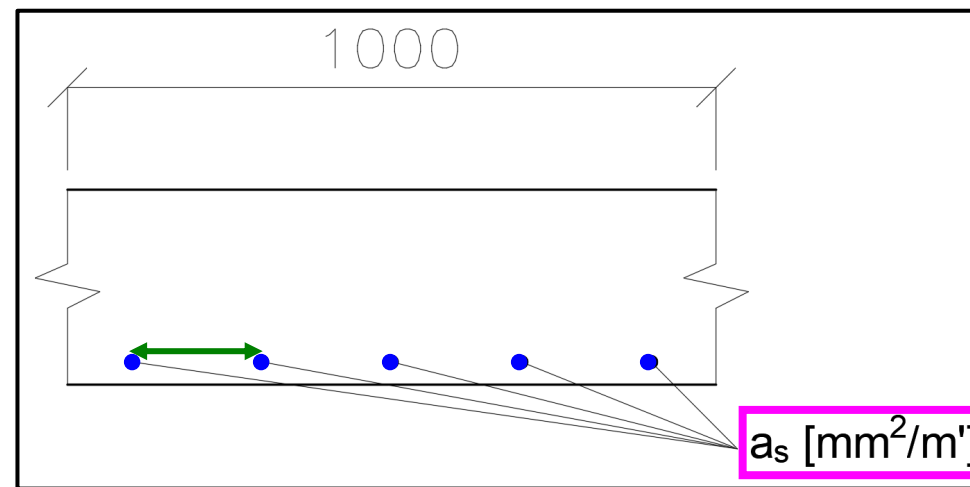
Návrh výztuže – skutečná výztuž

Skutečnou výztuž v desce navrhujeme jako

„Pruty o průměru X mm s roztečí Y mm. (Celková plocha všech prutů v desce šířky 1 m je Z mm²/m'.)“

a zapisujeme ve tvaru

$\varnothing X$ po Y mm ($a_{s,prov} = Z$ mm²/m').



Skutečnou výztuž navrhujeme tak, aby platilo $a_{s,prov} \geq a_{s,req}$.

Návrh výztuže – skutečná výztuž (průměr)

Průměr prutů výztuže \varnothing_s už jsme si zvolili výše (např. 8 mm).

| | | Celková plocha výztuže v závislosti na průměru a rozteči prutů [mm ² /m ²] | | | | | | | |
|-------|-----|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | | průměr | | | | | | | |
| | | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| rozeč | 40 | 707 | 1257 | 1963 | 2827 | 3848 | 5027 | 6362 | 7854 |
| | 50 | 565 | 1005 | 1571 | 2262 | 3079 | 4021 | 5089 | 6283 |
| | 60 | 471 | 838 | 1309 | 1885 | 2566 | 3351 | 4241 | 5236 |
| | 70 | 404 | 718 | 1122 | 1616 | 2199 | 2872 | 3635 | 4488 |
| | 80 | 353 | 628 | 982 | 1414 | 1924 | 2513 | 3181 | 3927 |
| | 90 | 314 | 559 | 873 | 1257 | 1710 | 2234 | 2827 | 3491 |
| | 100 | 283 | 503 | 785 | 1131 | 1539 | 2011 | 2545 | 3142 |
| | 110 | 257 | 457 | 714 | 1028 | 1399 | 1828 | 2313 | 2856 |
| | 120 | 236 | 419 | 654 | 942 | 1283 | 1676 | 2121 | 2618 |
| | 130 | 217 | 387 | 604 | 870 | 1184 | 1547 | 1957 | 2417 |
| | 140 | 202 | 359 | 561 | 808 | 1100 | 1436 | 1818 | 2244 |
| | 150 | 188 | 335 | 524 | 754 | 1026 | 1340 | 1696 | 2094 |
| | 160 | 177 | 314 | 491 | 707 | 962 | 1257 | 1590 | 1963 |
| | 170 | 166 | 296 | 462 | 665 | 906 | 1183 | 1497 | 1848 |
| | 180 | 157 | 279 | 436 | 628 | 855 | 1117 | 1414 | 1745 |
| | 190 | 149 | 265 | 413 | 595 | 810 | 1058 | 1339 | 1653 |
| | 200 | 141 | 251 | 393 | 565 | 770 | 1005 | 1272 | 1571 |
| | 210 | 135 | 239 | 374 | 539 | 733 | 957 | 1212 | 1496 |
| | 220 | 129 | 228 | 357 | 514 | 700 | 914 | 1157 | 1428 |
| | 230 | 123 | 219 | 341 | 492 | 669 | 874 | 1106 | 1366 |
| 240 | 118 | 209 | 327 | 471 | 641 | 838 | 1060 | 1309 | |
| 250 | 113 | 201 | 314 | 452 | 616 | 804 | 1018 | 1257 | |
| 260 | 109 | 193 | 302 | 435 | 592 | 773 | 979 | 1208 | |
| 270 | 105 | 186 | 291 | 419 | 570 | 745 | 942 | 1164 | |
| 280 | 101 | 180 | 280 | 404 | 550 | 718 | 909 | 1122 | |
| 290 | 97 | 173 | 271 | 390 | 531 | 693 | 877 | 1083 | |
| 300 | 94 | 168 | 262 | 377 | 513 | 670 | 848 | 1047 | |

Návrh výztuže – skutečná výztuž (rozteč)

Rozteč prutů s volíme v násobcích 10 mm tak, aby **skutečná plocha výztuže**

$$a_{s,prov} = \frac{\pi \phi_s^2}{4} \cdot \frac{1000}{s}$$

byla **větší (ideálně cca o 10 % až 30 %)** než požadovaná plocha výztuže $a_{s,req}$.

Například pro $a_{s,req} = 600 \text{ mm}^2/\text{m}' \rightarrow$

| | | Celková plocha výztuže v závislosti na průměru a rozteči prutů [mm ² /m'] | | | | | | | |
|--------|-----|--|------|------|------|------|------|------|------|
| | | průměr | | | | | | | |
| | | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| rozteč | 40 | 707 | 1257 | 1963 | 2827 | 3848 | 5027 | 6362 | 7854 |
| | 50 | 565 | 1005 | 1571 | 2262 | 3079 | 4021 | 5089 | 6283 |
| | 60 | 471 | 838 | 1309 | 1885 | 2566 | 3351 | 4241 | 5236 |
| | 70 | 404 | 718 | 1122 | 1616 | 2199 | 2872 | 3635 | 4488 |
| | 80 | 353 | 628 | 982 | 1414 | 1924 | 2513 | 3181 | 3927 |
| | 90 | 314 | 559 | 873 | 1257 | 1710 | 2234 | 2827 | 3491 |
| | 100 | 283 | 503 | 785 | 1131 | 1539 | 2011 | 2545 | 3142 |
| | 110 | 257 | 457 | 714 | 1028 | 1399 | 1828 | 2313 | 2856 |
| | 120 | 236 | 419 | 654 | 942 | 1283 | 1676 | 2121 | 2618 |
| | 130 | 217 | 387 | 604 | 870 | 1184 | 1547 | 1957 | 2417 |
| | 140 | 202 | 359 | 561 | 808 | 1100 | 1436 | 1818 | 2244 |
| | 150 | 188 | 335 | 524 | 754 | 1026 | 1340 | 1696 | 2094 |
| | 160 | 177 | 314 | 491 | 707 | 962 | 1257 | 1590 | 1963 |
| | 170 | 166 | 296 | 462 | 665 | 906 | 1183 | 1497 | 1848 |
| | 180 | 157 | 279 | 436 | 628 | 855 | 1117 | 1414 | 1745 |
| | 190 | 149 | 265 | 413 | 595 | 810 | 1058 | 1339 | 1653 |
| | 200 | 141 | 251 | 393 | 565 | 770 | 1005 | 1272 | 1571 |
| | 210 | 135 | 239 | 374 | 539 | 733 | 957 | 1212 | 1496 |
| | 220 | 129 | 228 | 357 | 514 | 700 | 914 | 1157 | 1428 |
| | 230 | 123 | 219 | 341 | 492 | 669 | 874 | 1106 | 1366 |
| | 240 | 118 | 209 | 327 | 471 | 641 | 838 | 1060 | 1309 |
| | 250 | 113 | 201 | 314 | 452 | 616 | 804 | 1018 | 1257 |
| | 260 | 109 | 193 | 302 | 435 | 592 | 773 | 979 | 1208 |
| | 270 | 105 | 186 | 291 | 419 | 570 | 745 | 942 | 1164 |
| | 280 | 101 | 180 | 280 | 404 | 550 | 718 | 909 | 1122 |
| | 290 | 97 | 173 | 271 | 390 | 531 | 693 | 877 | 1083 |
| | 300 | 94 | 168 | 262 | 377 | 513 | 670 | 848 | 1047 |

Návrh výztuže – skutečná výztuž (rozteč)

Pokud **největší použitelná rozteč pro zvolený průměr je menší než 100 mm**, je **lepší*** zvolit větší průřez prutů tak, aby **rozteč prutů byla co nejmenší, ale větší než 100 mm**.

| | | Celková plocha výztuže v závislosti na průměru a rozteči prutů [mm ² /m ²] | | | | | | | |
|--------|-----|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | | průměr | | | | | | | |
| | | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| rozteč | 40 | 707 | 1257 | 1963 | 2827 | 3848 | 5027 | 6362 | 7854 |
| | 50 | 565 | 1005 | 1571 | 2262 | 3079 | 4021 | 5089 | 6283 |
| | 60 | 471 | 838 | 1309 | 1885 | 2566 | 3351 | 4241 | 5236 |
| | 70 | 404 | 718 | 1122 | 1616 | 2199 | 2872 | 3635 | 4488 |
| | 80 | 353 | 628 | 982 | 1414 | 1924 | 2513 | 3181 | 3927 |
| | 90 | 314 | 559 | 873 | 1257 | 1710 | 2234 | 2827 | 3491 |
| | 100 | 283 | 503 | 785 | 1131 | 1539 | 2011 | 2545 | 3142 |
| | 110 | 257 | 457 | 714 | 1028 | 1399 | 1828 | 2313 | 2856 |
| | 120 | 236 | 419 | 654 | 942 | 1283 | 1676 | 2121 | 2618 |
| | 130 | 217 | 387 | 604 | 870 | 1184 | 1547 | 1957 | 2417 |
| | 140 | 202 | 359 | 561 | 808 | 1100 | 1436 | 1818 | 2244 |
| | 150 | 188 | 335 | 524 | 754 | 1026 | 1340 | 1696 | 2094 |
| | 160 | 177 | 314 | 491 | 707 | 962 | 1257 | 1590 | 1963 |
| | 170 | 166 | 296 | 462 | 665 | 906 | 1183 | 1497 | 1848 |
| | 180 | 157 | 279 | 436 | 628 | 855 | 1117 | 1414 | 1745 |
| | 190 | 149 | 265 | 413 | 595 | 810 | 1058 | 1339 | 1653 |
| | 200 | 141 | 251 | 393 | 565 | 770 | 1005 | 1272 | 1571 |
| | 210 | 135 | 239 | 374 | 539 | 733 | 957 | 1212 | 1496 |
| | 220 | 129 | 228 | 357 | 514 | 700 | 914 | 1157 | 1428 |
| | 230 | 123 | 219 | 341 | 492 | 669 | 874 | 1106 | 1366 |
| 240 | 118 | 209 | 327 | 471 | 641 | 838 | 1060 | 1309 | |
| 250 | 113 | 201 | 314 | 452 | 616 | 804 | 1018 | 1257 | |
| 260 | 109 | 193 | 302 | 435 | 592 | 773 | 979 | 1208 | |
| 270 | 105 | 186 | 291 | 419 | 570 | 745 | 942 | 1164 | |
| 280 | 101 | 180 | 280 | 404 | 550 | 718 | 909 | 1122 | |
| 290 | 97 | 173 | 271 | 390 | 531 | 693 | 877 | 1083 | |
| 300 | 94 | 168 | 262 | 377 | 513 | 670 | 848 | 1047 | |

Návrh výztuže – skutečná výztuž

Ve statickém výpočtu musí být vždy **přehledně zdůrazněn finální návrh** ve tvaru

$\varnothing X$ po Y mm ($a_{s,prov} = Z$ mm²/m').

Způsoby návrhu výztuže

Návrh výztuže můžete provést jakkoliv – norma udává pouze postup pro posouzení průřezu, návrh neřeší*.

My ale nechceme riskovat, že výztuž navrhne špatně a posouzení nám nevyhoví, a proto používáme pomůcky při návrhu výztuže, abychom udělali „rozumný“ návrh hned napoprvé.

Způsoby návrhu výztuže

Nejpoužívanější způsoby návrhu výztuže jsou:

- **Přesný návrh výztuže pomocí přesného vzorce pro požadovanou plochu výztuže (viz výše).**
- Přibližný návrh výztuže pomocí odhadu ramene vnitřních sil (viz návod k DÚ).
- Vytvoření Excelu pro posouzení průřezu (tj. stanovení m_{Rd}) a návrh výztuže metodou pokus-omyl (tj. zkoušíme přidávat počet a průměr prutů výztuže dokud nedostaneme pěkný výsledek).
- Pomocí tabulek – dnes již zastaralé a v praxi málo používané (viz návod k DÚ).

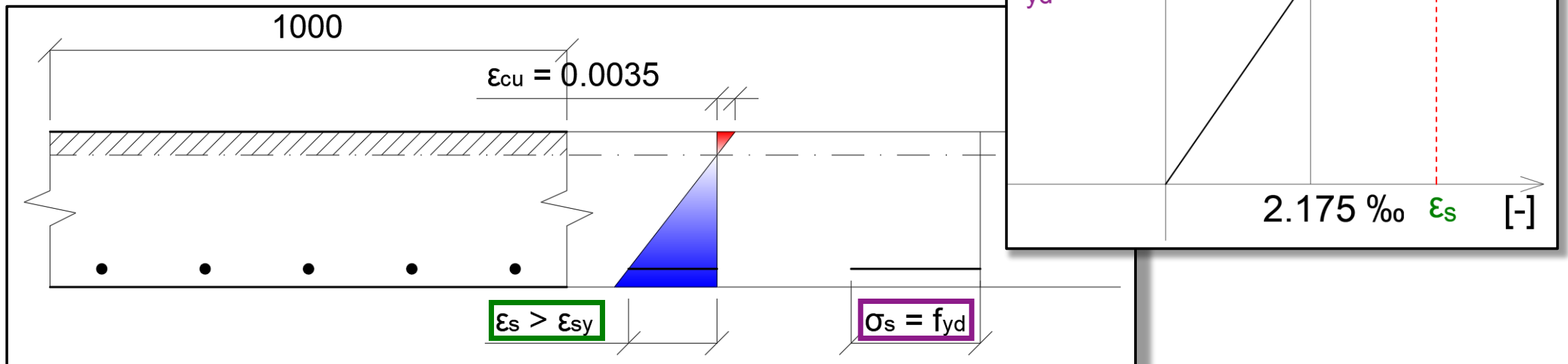
Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu**
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Napětí ve výztuži

Pro zjednodušení dalšího výpočtu uvažujeme, že **výztuž je za mezí kluzu** a **napětí ve výztuži je tedy rovno f_{yd}** .



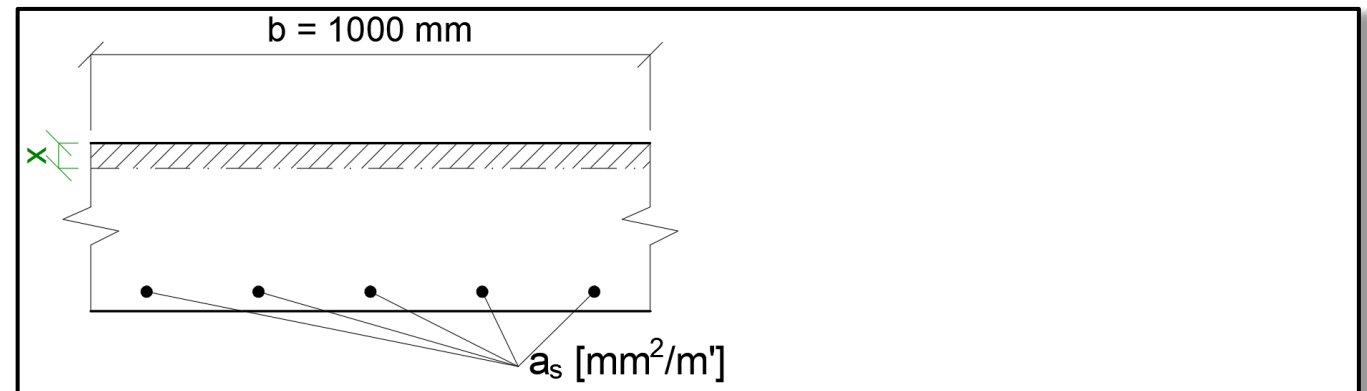
Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti**
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Výška tlačené oblasti

Prvním nutným krokem výpočtu je stanovení výšky tlačené oblasti.



Výška tlačené oblasti

Vycházíme z toho, že řešíme prostý ohyb, tzn. normálová síla v průřezu se rovná 0

$$N = 0.$$

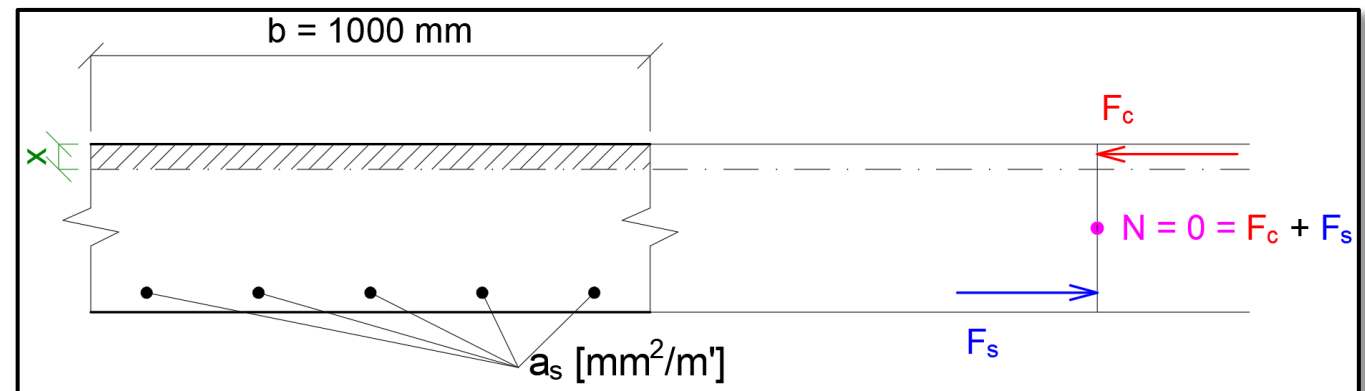
Zároveň víme, že normálová síla v průřezu je sumou všech vnitřních sil v průřezu

$$N = F_c + F_s.$$

A při uvážení směru sil můžeme rovnici vyjádřit jako

$$F_c = F_s,$$

a tedy platí rovnost vnitřních sil*.



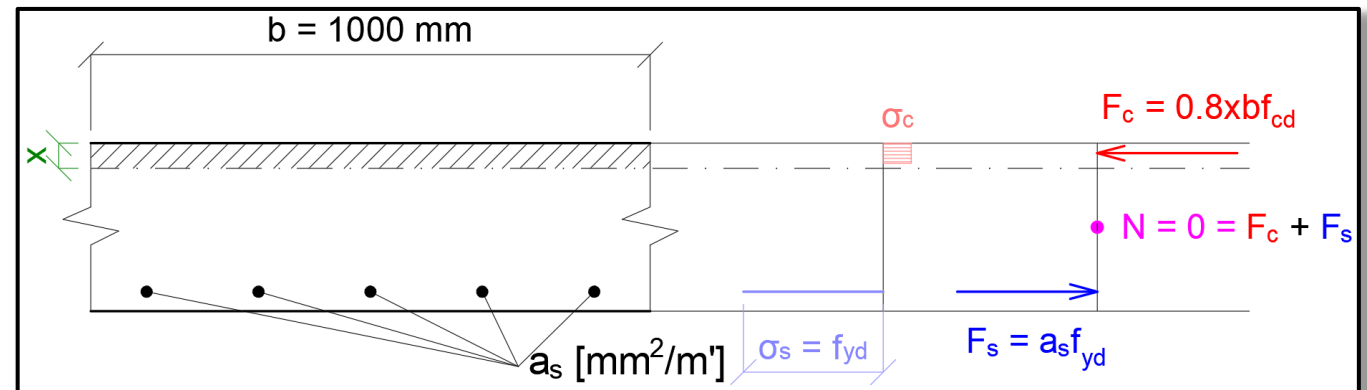
Výška tlačené oblasti

Rovnost vnitřních sil můžeme rozepsat do tvaru

$$0.8bx f_{cd} = a_{s,prov} f_{yd}$$

V rovnici známe všechny proměnné kromě výšky tlačené oblasti. Můžeme si tedy výšku tlačené oblasti vyjádřit a vypočítat pomocí vztahu

$$x = \frac{a_{s,prov} f_{yd}}{0.8b f_{cd}}$$



Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu**
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Ověření předpokladů

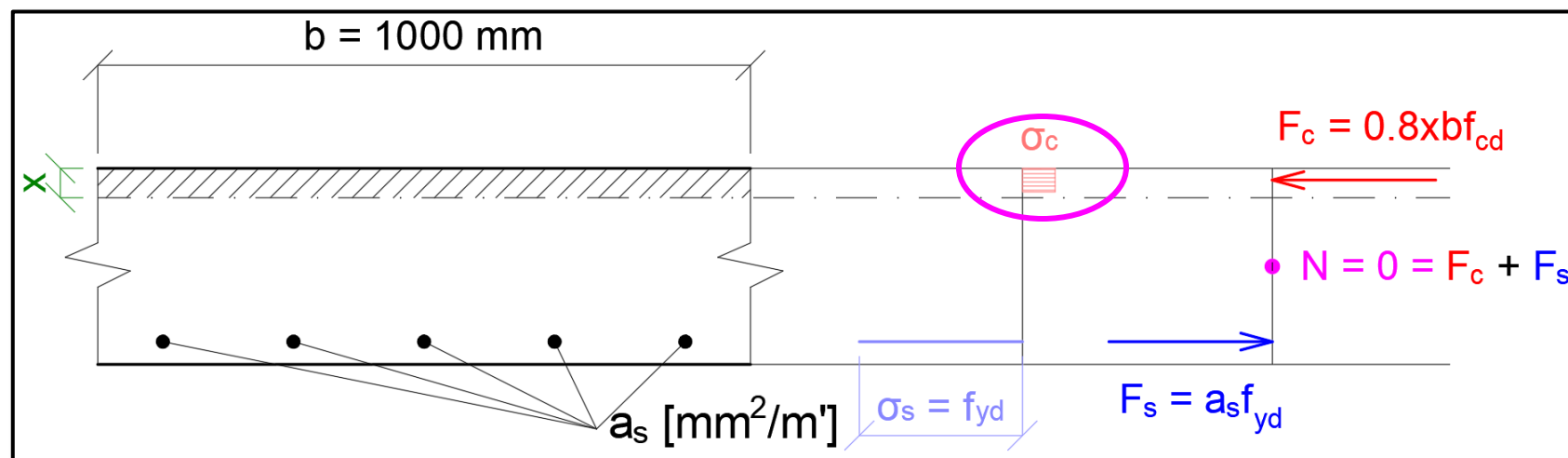
Při předchozích výpočtech jsme uvažovali dva předpoklady, a nyní musíme ověřit, zda skutečně platí.

- výztuž je za mezí kluzu,
- beton zplastizoval (chová se plasticky).

Ověření předpokladů

Při předchozích výpočtech jsme uvažovali dva předpoklady, a nyní musíme ověřit, zda skutečně platí.

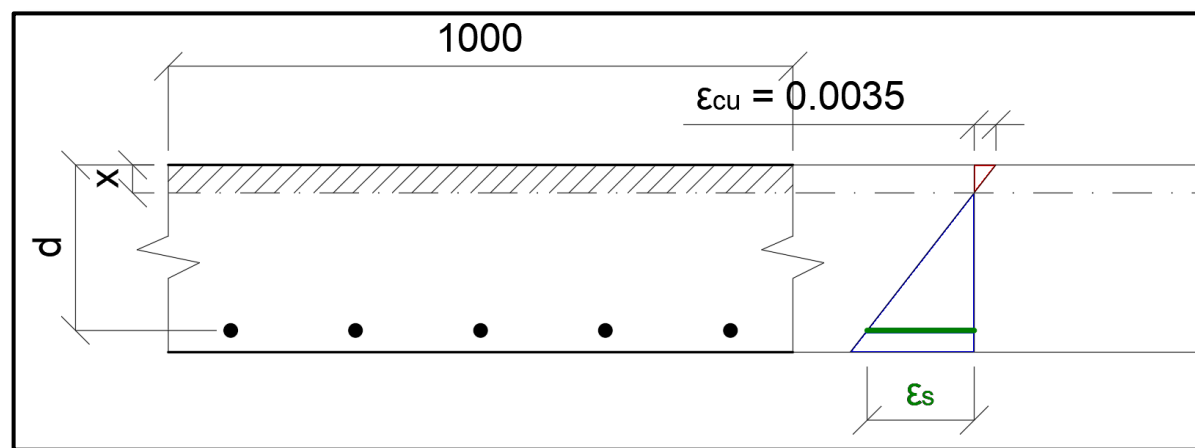
- výztuž je za mezí kluzu,
- beton zplastizoval (chová se plasticky)*.



Ověření výztuže za mezí kluzu – přímý výpočet

V předchozím kroku jsme si řekli, že uvažujeme, že výztuž je za mezí kluzu*. Tento předpoklad ale musíme ověřit†.

Předpoklad ověříme tak, že přímo vypočteme poměrné přetvoření výztuže a porovnáme to s přetvořením na mezi kluzu.



* a napětí ve výztuži je tedy rovno f_{yd} .

† Kdyby předpoklad neplatil, tak je vlastně úplně celý výpočet špatně.

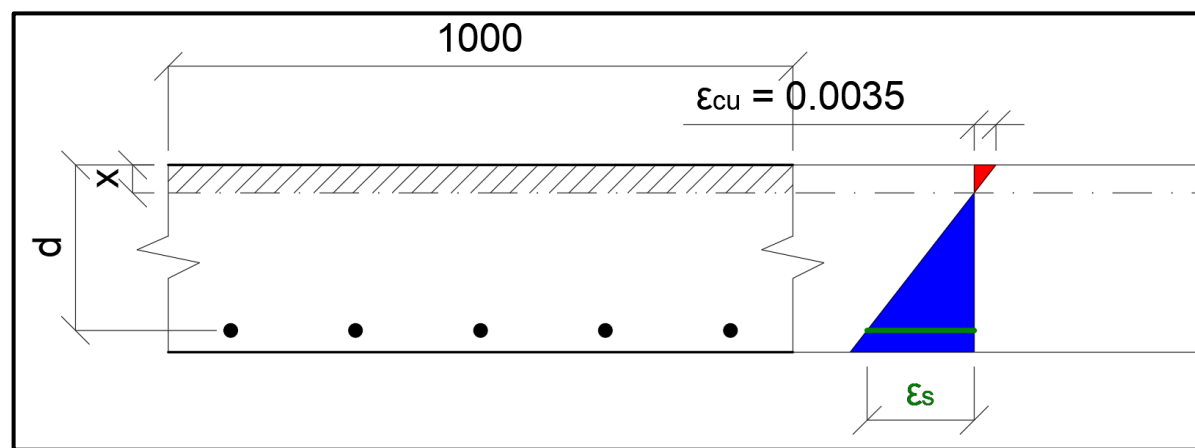
Ověření výztuže za mezí kluzu – přímý výpočet

My už známe polohu výztuže d , výšku tlačené oblasti x a přetvoření v krajních vláknech ε_{cu} , a můžeme tedy z podobnosti trojúhelníků

$$\frac{-0.0035}{-x} = \frac{\varepsilon_s}{d - x}$$

vypočítat poměrné přetvoření výztuže.

$$\frac{-0.0035}{-x} (d - x) = \varepsilon_s.$$



Ověření výztuže za mezí kluzu – přímý výpočet

Vypočtené **poměrné přetvoření výztuže** ε_s tedy musí být větší* než **poměrné přetvoření na mezi kluzu** výztuže $\varepsilon_{sy} = f_{yd}/E_s$. Musí tedy platit

$$\varepsilon_s \geq \frac{f_{yd}}{E_s}$$

Pokud nerovnost nevyjde (tj. bude platit $\varepsilon_s < f_{yd}/E_s$), tak **výztuž není za mezí kluzu** → náš **prvotní předpoklad neplatí** → vypočtené **hodnoty** (x a ε_s) tedy **také neplatí**.

Ověření výztuže za mezí kluzu – přímý výpočet

Pokud nám vyjde, že výztuž není za mezí kluzu, máme obecně dvě možnosti:

- uvažovat skutečné přetvoření výztuže a znovu spočítat x a ε_s (složitější výpočet),
- upravit návrh tak, aby výztuž byla za mezí kluzu (zvětšit výšku, zlepšit beton, ...) a znovu spočítat d , x a ε_s .

U ohýbaných prvků vždy musí být výztuž za mezí kluzu!* Takže volíme druhou variantu a zvětšíme výšku průřezu (tj. tloušťku desky).

Ověření výztuže za mezí kluzu – poměr x/d

Ověření přetvoření výztuže můžeme také provést ověřením poměrné výšky tlačené oblasti.

Pokud platí*

$$\boxed{\frac{x}{d} \leq 0.617} = \frac{0.0035}{0.0035 + \varepsilon_{sy}},$$

pak je výztuž za mezí kluzu.

Toto ověření je rychlejší, ale méně názorné.

*Tato nerovnost vychází z podobnosti trojúhelníků přetvoření při dosažení meze kluzu výztuže

Ověření předpokladu plastické analýzy

V předchozím kroku jsme uvažovali rovnoměrné napětí v betonu. Tento předpoklad ale musíme ověřit. Předpoklad je správný pokud platí*

$$\frac{x}{d} \leq 0.45.$$

Pokud nerovnost není splněna, pak je nutné upravit návrh (zvětšit výšku, zlepšit beton atd.) a znovu spočítat d a x .

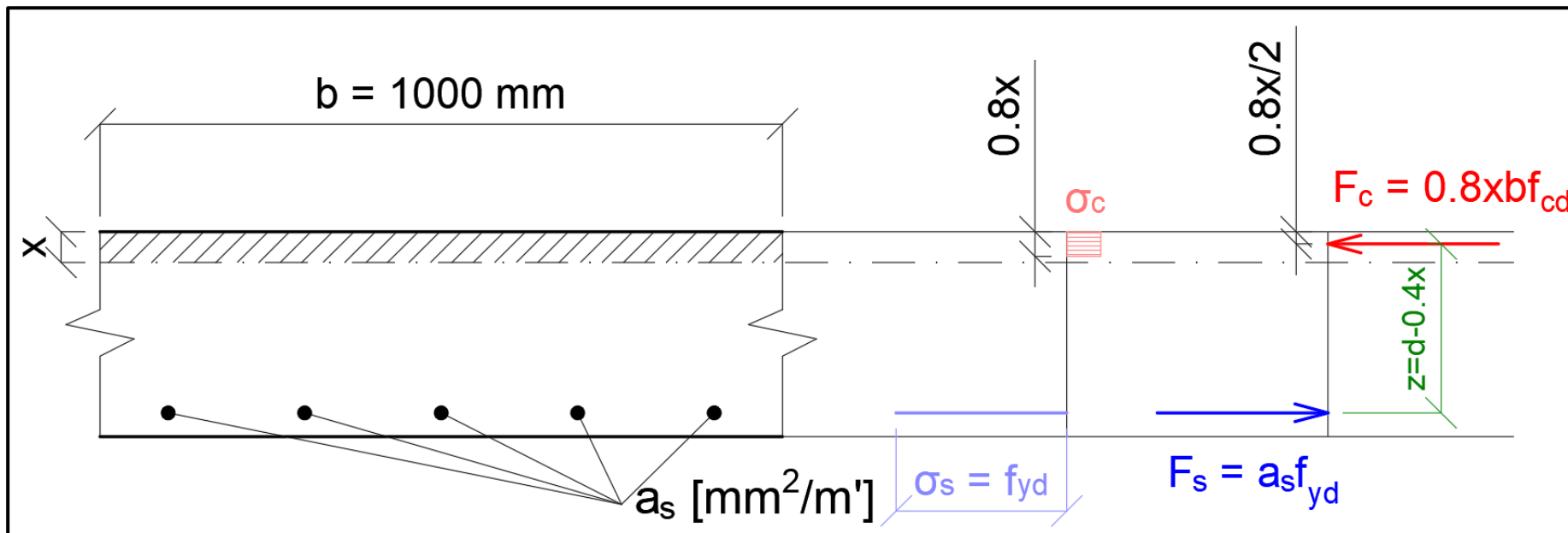
Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet momentu únosnosti**
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Moment únosnosti M_{Rd}

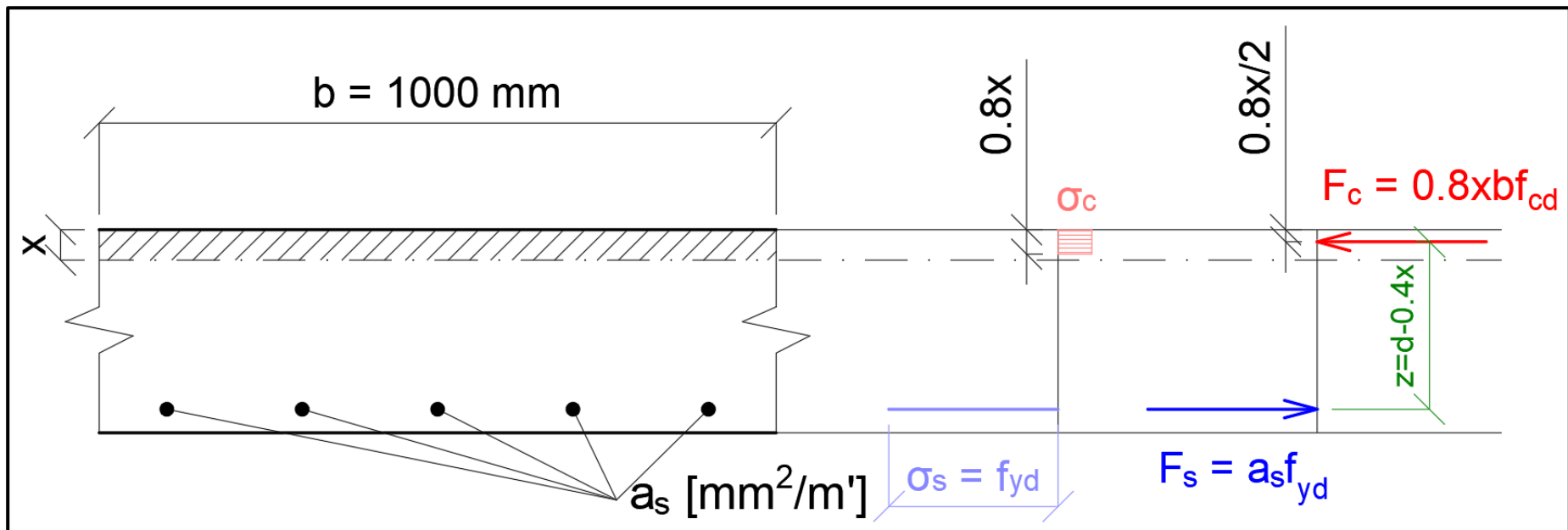
Moment únosnosti průřezu m_{Rd} je roven momentovému účinku vnitřních sil na mezi únosnosti průřezu*. *Jak určíme ten momentový účinek?*



Moment únosnosti M_{Rd}

Momentový účinek vnitřních sil získáme vynásobením působící síly na jejím rameni

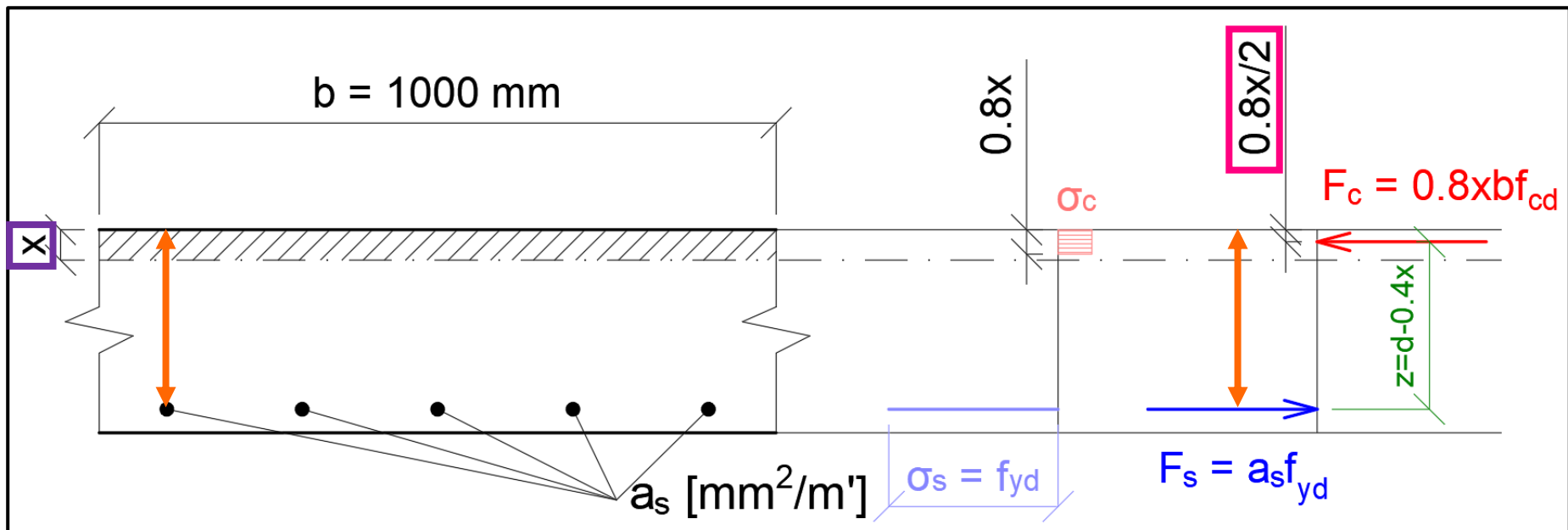
$$m_{Rd} = F_c z = F_s z = f_{yd} a_{s,prov} z.$$



Rameno vnitřních sil z

Jelikož známe výšku tlačené oblasti x a polohu výztuže d , můžeme vypočítat rameno vnitřních sil

$$z = d - 0.4x^*.$$



Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) **Posouzení průřezu**

- 9) Ověření konstrukčních zásad

Posouzení průřezu

Průřez posoudíme tak, že porovnáme působící ohybový moment od zatížení (m_{Ed}) s momentem únosnosti průřezu (m_{Rd}) – musí platit:

$$m_{Ed} \leq m_{Rd}.$$

Pokud by nerovnost neplatila, je nutné návrh změnit (přidat výztuž, zvětšit tloušťku desky, zlepšit beton) a posouzení přepočítat.

Ideálně by stupeň využití (M_{Ed}/M_{Rd}) měl být 70 %* až 90 %†.

* Pokud by byl menší, byl by návrh zbytečně moc bezpečný a neekonomický.

† Pokud by byl větší, byl by návrh už dost na hraně a ne moc bezpečný.

Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

- 9) Ověření konstrukčních zásad**

Ověření konstrukčních zásad

Norma pro navrhování železobetonových konstrukcí udává, že železobetonové prvky musí splňovat takzvané konstrukční zásady vyztužování. (Proč zásady musí být splněny – viz přednáška nebo návod k DÚ.)

U ohýbaných prvků ověřujeme tři věci:

- moment při vzniku trhlin,
- plochu výztuže,
- rozteč prutů.

Námi navržená nosná výztuž musí tyto zásady splňovat.

Moment při vzniku trhlin

Moment únosnosti průřezu musí být větší nebo roven momentu při vzniku trhlin

$$m_{Rd} \geq m_{cr}$$

$$m_{Rd} \geq \frac{1}{6} b h^2 f_{ctm}$$

Tabulka 3.1 – Pevnostní a deformační charakteristiky betonu

| | Pevnostní třídy betonu | | | | | | | | | | | | | | Analytické vztahy/ vysvětlivky |
|-------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| f_{ck} (MPa) | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 | |
| $f_{ck, cube}$ (MPa) | 15 | 20 | 25 | 30 | 37 | 45 | 50 | 55 | 60 | 67 | 75 | 85 | 95 | 105 | |
| f_{cm} (MPa) | 20 | 24 | 28 | 33 | 38 | 43 | 48 | 53 | 58 | 63 | 68 | 78 | 88 | 98 | $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa) |
| f_{ctm} (MPa) | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,1 | 4,2 | 4,4 | 4,6 | 4,8 | 5 | $f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$ |

Maximální plocha výztuže

Skutečná plocha výztuže musí být menší než maximální plocha výztuže

$$a_{s,prov} \leq a_{s,max}$$

$$a_{s,prov} \leq 0.04bh,$$

kde b je šířka průřezu (1 m),
 h je výška průřezu (máme navrženo z minulého cvičení).

Rozteč – maximální osová rozteč

Skutečná osová rozteč výztuže musí být menší než maximální osová rozteč výztuže

$$s \leq s_{max},$$

$$s \leq \min(2h, 250 \text{ mm}),$$

kde s je osová rozteč prutů (máme navrženo – viz výše),
 h je výška průřezu (máme navrženo z minulého cvičení).

Rozteč – minimální světlá rozteč

Skutečná světlá rozteč výztuže musí být větší než minimální světlá rozteč prutů

$$c_s \geq c_{s,min},$$

$$c_s \geq \max(\varnothing_s, D_{max} + 5 \text{ mm}, 20 \text{ mm}),$$

kde c_s je skutečná světlá rozteč prutů ($c_s = s - \varnothing_s$),
 \varnothing_s je průměr výztuže (máme navrženo – viz výše),
 D_{max} je maximální velikost kameniva (v DÚ uvažujeme 16 mm).

Návrh nosné výztuže a posouzení desky
Shrnutí výpočtu

Shrnutí výpočtu

$$f_{cd} = f_{ck}/1.5$$

$$f_{yd} = f_{yk}/1.15$$

$$d = h - c - \varnothing_s/2$$

$$a_{s,req} = \frac{bd f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m_{Ed}}{bd^2 f_{cd}}} \right)$$

$$\varnothing X \text{ po } Y \text{ mm } (a_{s,prov} = Z \text{ mm}^2/\text{m}')$$

$$a_{s,prov} = \frac{\pi \varnothing_s^2}{4} \cdot \frac{1000}{s}$$

$$x = \frac{a_{s,prov} f_{yd}}{0.8 b f_{cd}}$$

$$\frac{x}{d} \leq 0.45$$

$$z = d - 0.4x$$

$$m_{Rd} = f_{yd} a_{s,prov} z$$

$$m_{Ed} \leq m_{Rd}$$

$$m_{Rd} \geq \frac{1}{6} b h^2 f_{ctm}$$

$$a_{s,prov} \leq 0.04 b h$$

$$s \leq \min(2h, 250 \text{ mm})$$

$$c_s \geq \max(\varnothing_s, D_{max} + 5 \text{ mm}, 20 \text{ mm})$$

Návrh konstrukční výztuže

Konstrukční výztuž desky

Konstrukční výztuž je jakákoliv výztuž, kterou nenavrhujeme na určitou vnitřní sílu, ale pomocí různých normových empirických zásad.

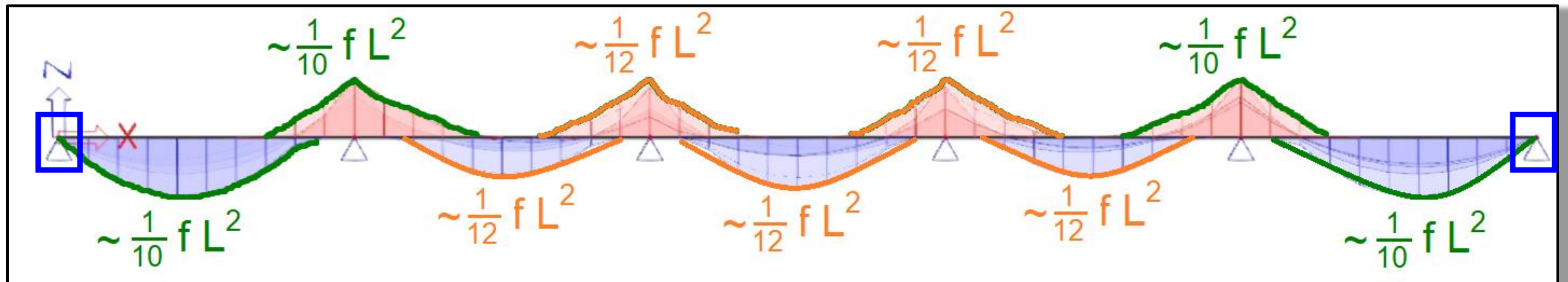
U naší desky navrhujeme:

- horní výztuž nad krajní zděnou stěnou,
- rozdělovací výztuž,
- lemovací výztuž,
- doplňující výztuž.

Návrh konstrukční výztuže
Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

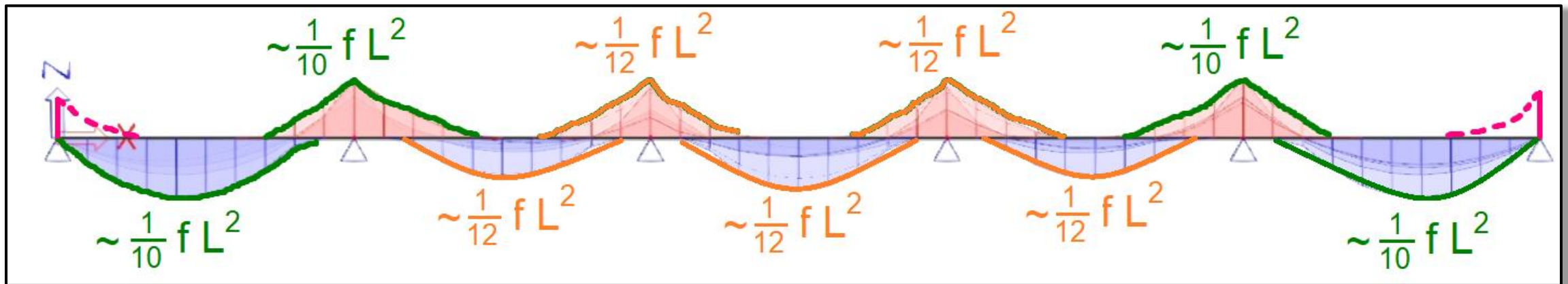
Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

Při výpočtu vnitřních sil v desce jsme uvažovali, že krajní zděná podpora působí jako kloub*.



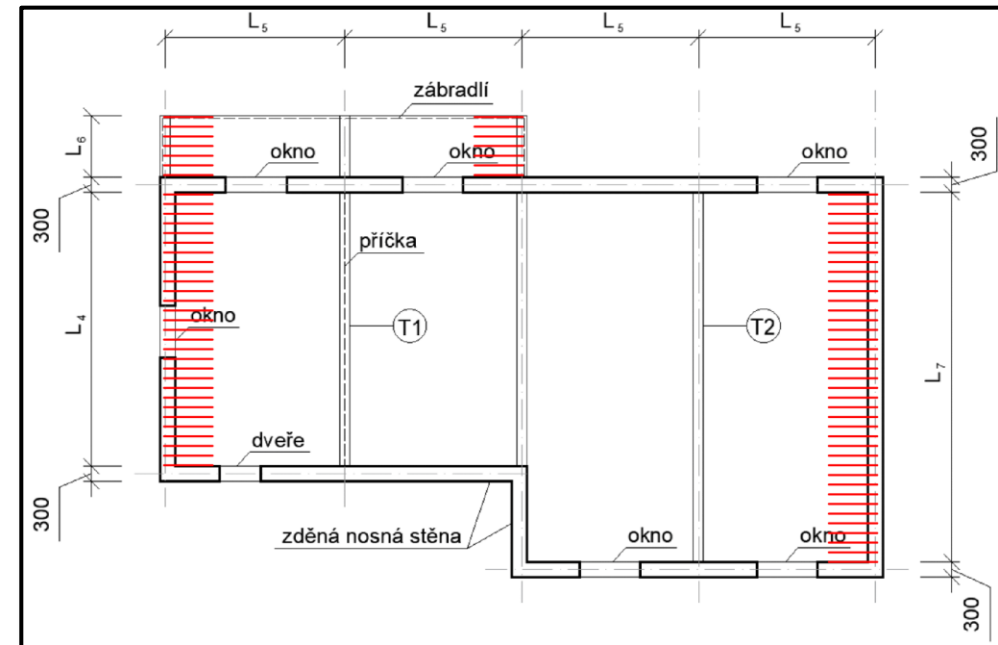
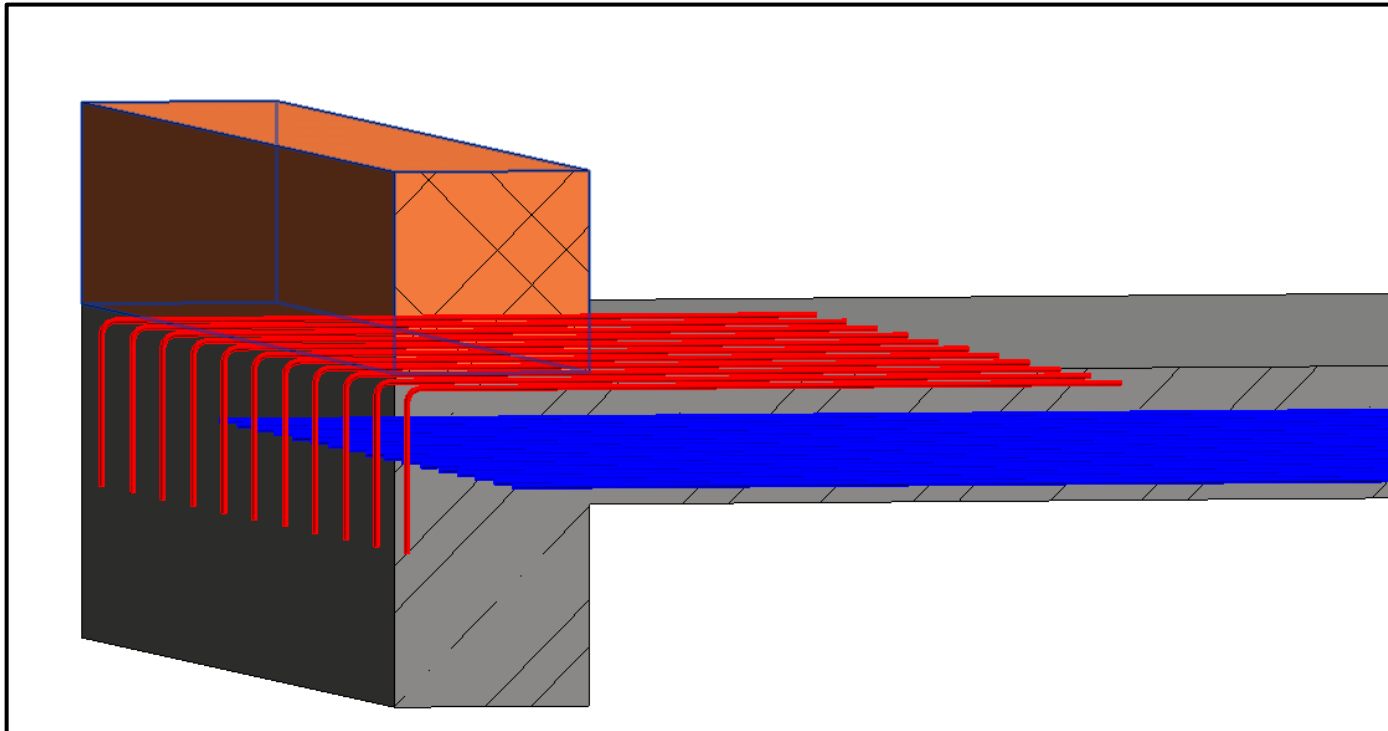
Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

Ve skutečnosti přetížení od zdiva trochu omezuje možnost natočení desky, což znamená, že *nějaký malý moment nad tou krajní podporou vzniká*.



Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

Na tento *nějaký moment* musíme navrhnout **horní výztuž**, jinak by se deska potrhala u horního povrchu.

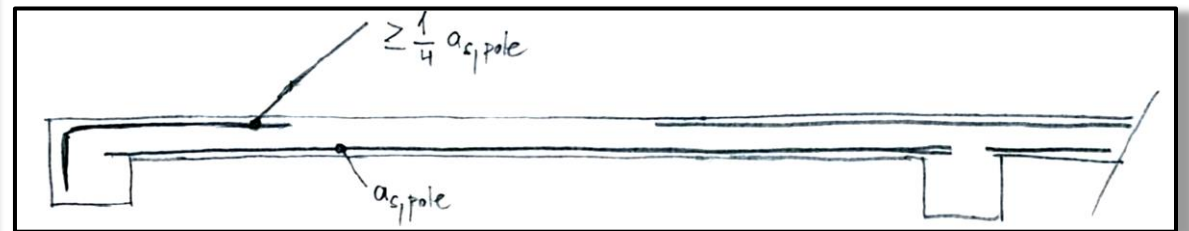
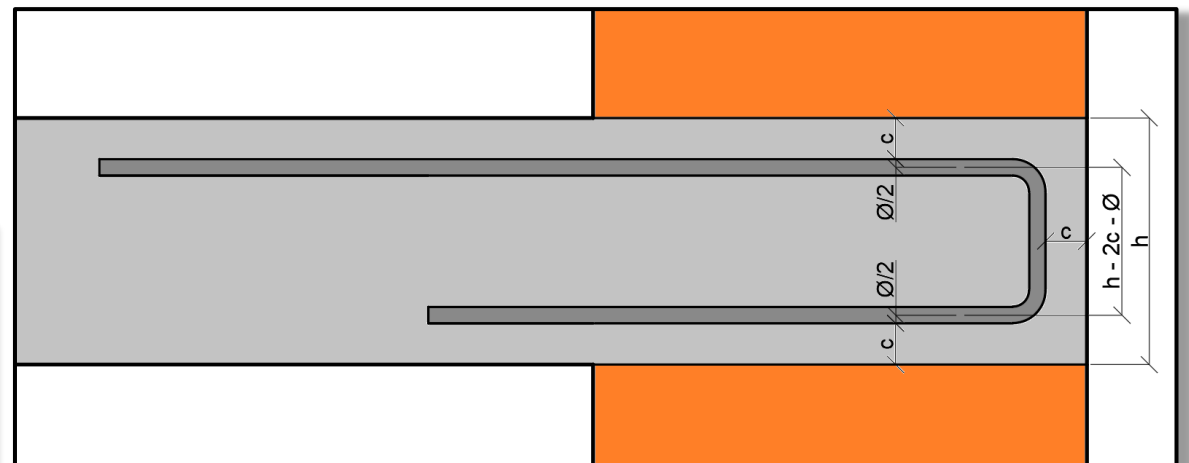
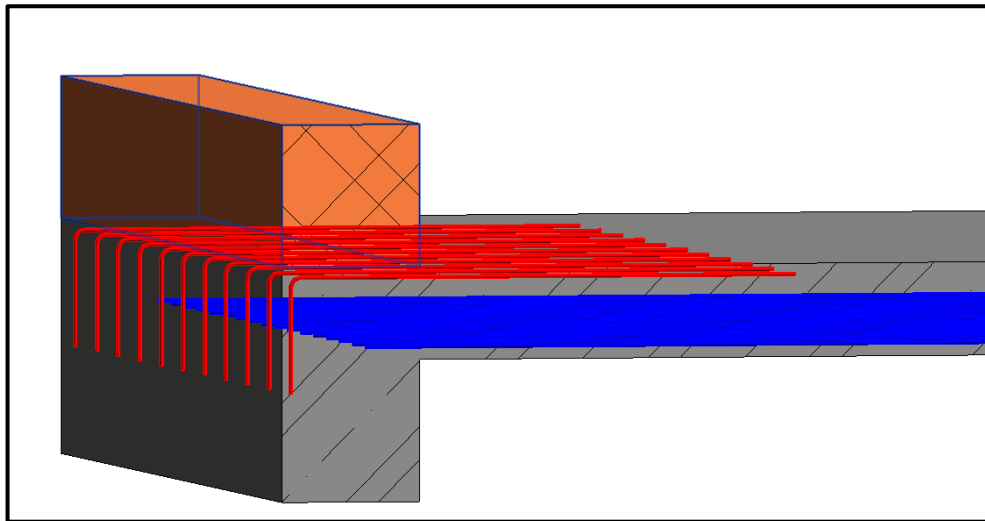


Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

Horní výztuž nad krajní zděnou podporou navrhujeme ve tvaru $\varnothing X$ po Y mm ($a_{s,hor} = Z \text{ mm}^2/\text{m}'$). Výztuž musí splňovat podmínky

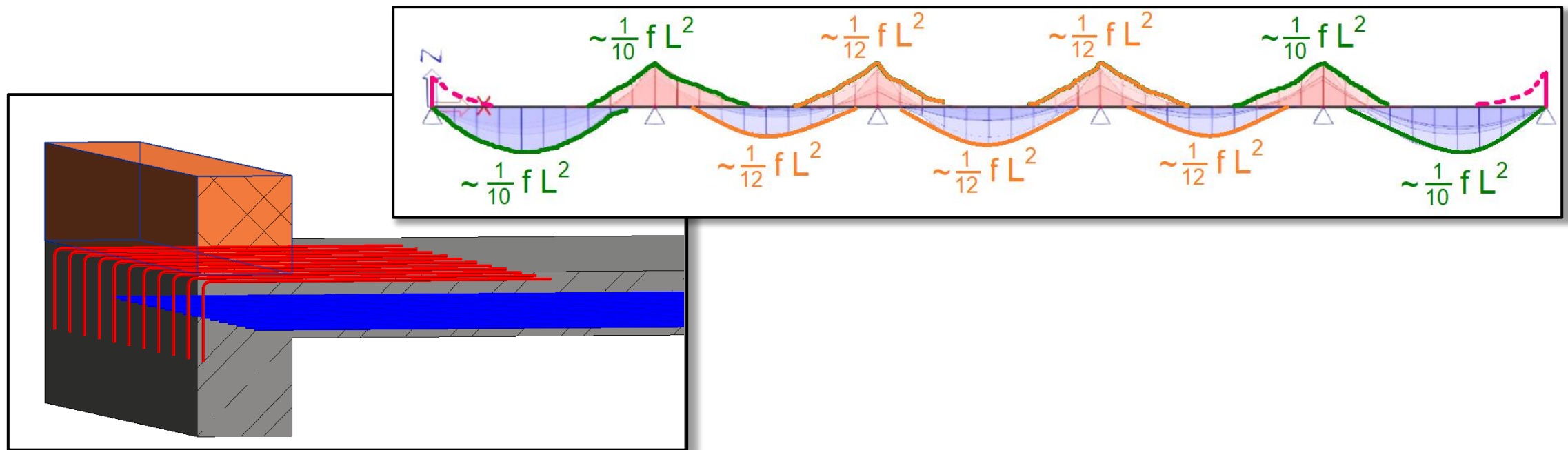
$$a_{s,hor} \geq 0.25 a_{s,prov},$$

$$s_{hor} \leq s_{max} = \min(2h, 250 \text{ mm}).$$



Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

Vzhledem k tomu, že tu **horní výztuž** navrhujeme proto, aby nám přenesla **nějaký malý moment**, tak bychom se k ní měli chovat jako k nosné výztuži* – tj. navrhujeme průměr výztuže minimálně $\varnothing_{hor} = 8 \text{ mm}$.



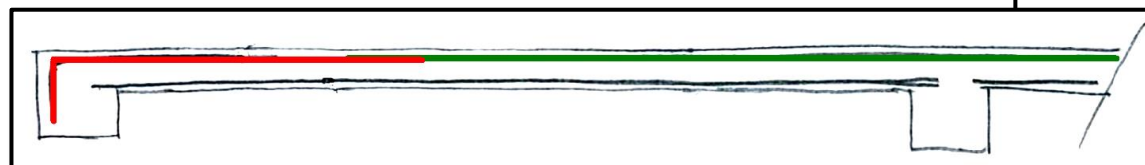
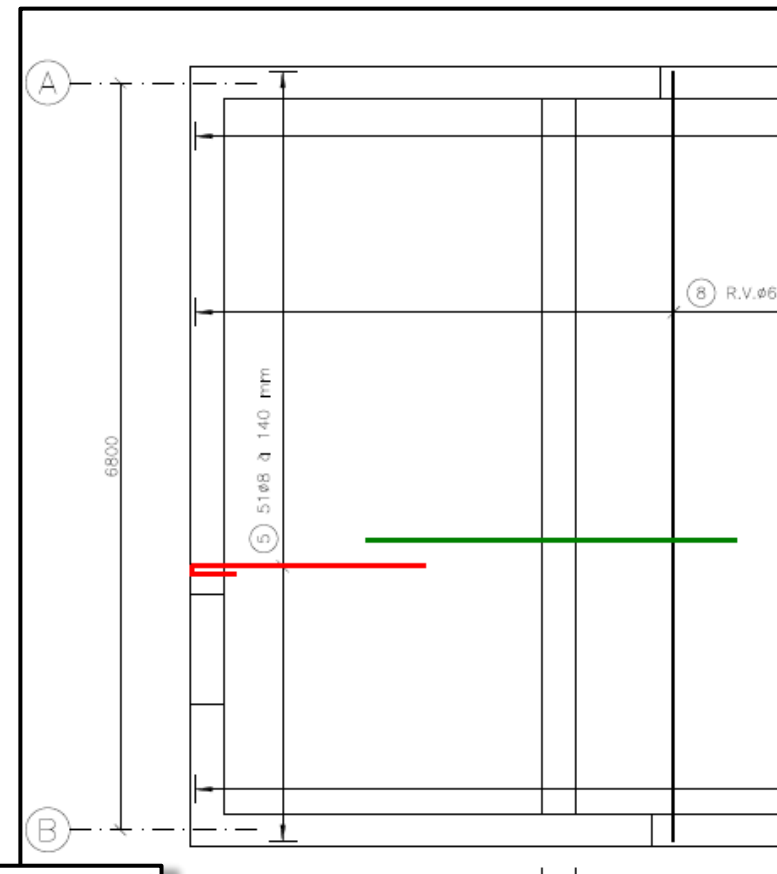
*proto je taky pravidlo pro rozteč výztuže ($s_{max} = \min(2h, 250 \text{ mm})$) stejné jako u hlavní nosné výztuže.

“Teorie” navíc

Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

Zároveň, vzhledem k tomu, že **horní výztuž nad podporou** je ve stejném směru jako navržená **horní hlavní nosná výztuž** (a dokonce na ní navazuje), je vhodné zvolit **průměr výztuže nebo rozteč výztuže stejnou** jako u hlavní nosné výztuže. Díky tomu zjednodušíme práci projektantovi, který musí dělat výkresy, i dělníkovi, který to bude muset na stavbě vázat.

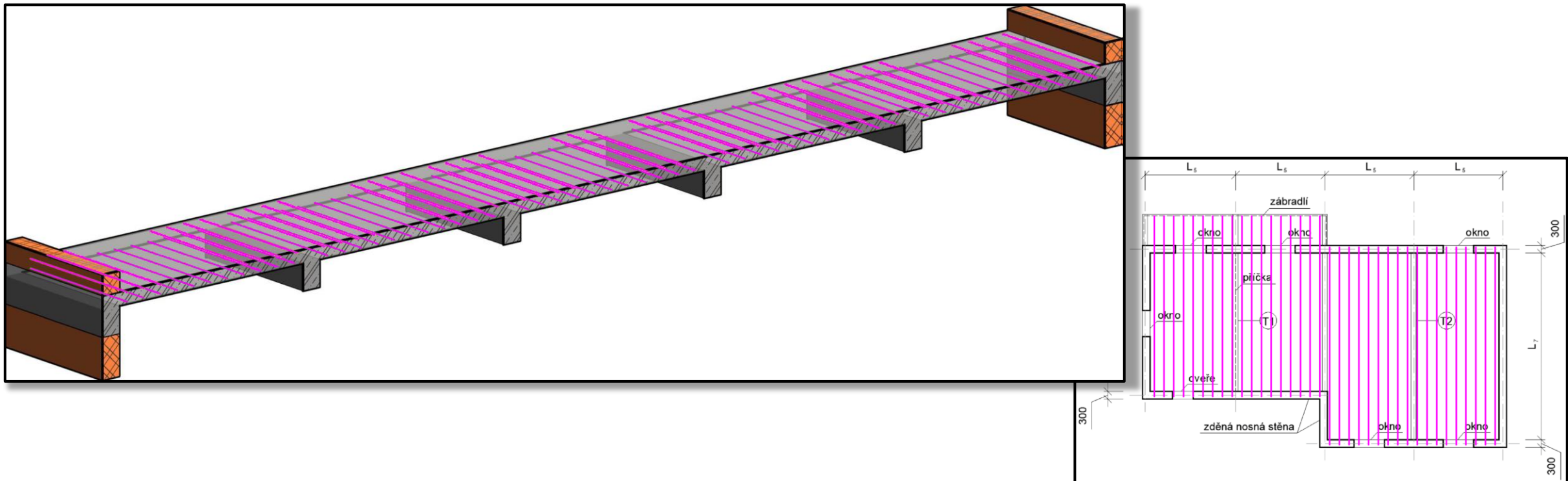
Klíčové slovo je VHODNÉ. Doporučení nemusíme splnit, pokud by to způsobovalo nějaké další problémy – např. pokud by to znamenalo, že návrh bude hodně neekonomický.



Návrh konstrukční výztuže
Rozdělovací výztuž

Rozdělovací výztuž

Rozdělovací výztuž v desce je výztuž, kterou dáváme do desky (k oběma povrchům) kolmo na hlavní nosnou výztuž*.



*Hlavní nosná výztuž je ta, kterou jsme navrhli v první části prezentace kvůli momentu v desce. V našem případě je hlavní nosná výztuž ta výztuž v podélném (delším) směru.

Rozdělovací výztuž

Rozdělovací výztuž v desce je výztuž, kterou dáváme do desky kolmo na hlavní nosnou výztuž.

Rozdělovací výztuž:

- fixuje hlavní nosnou výztuž (drží ji, aby se „nerozjela“ a nezvětšily se rozteče),
- přenáší příčné tahy (kolmo na tlak vždy vzniká tah; u jednoho povrchu je vždy ve směru hlavní výztuže tlak a vzniká tam příčný tah, který je nutno přenést),
- snižuje smrštění betonu (beton schne a tím se smršťuje, výztuž tomu brání),
- pomáhá roznášet lokální zatížení do větší plochy.

Rozdělovací výztuž

Rozdělovací výztuž navrhujeme ve tvaru

$$\boxed{\varnothing X \text{ po } Y \text{ mm } (a_{s,roz} = Z \text{ mm}^2/\text{m}')}.$$

Rozdělovací výztuž musí splňovat podmínky

$$a_{s,roz} \geq 0.2 a_{s,prov},$$

$$s_{roz} \leq s_{roz,max} = \min(3h; 400 \text{ mm}),$$

kde $a_{s,prov}$ je hlavní nosná výztuž kolmá na rozdělovací výztuž.

Rozdělovací výztuž

Vzhledem k tomu, že tu rozdělovací výztuž nenavrhneme z důvodu momentů, platí pro ní jiná (mírnější) pravidla.

Průměr výztuže může být menší než u hlavní nosné výztuže. Průměr rozdělovací výztuže minimálně $\varnothing_{hor} = 6 \text{ mm}$.

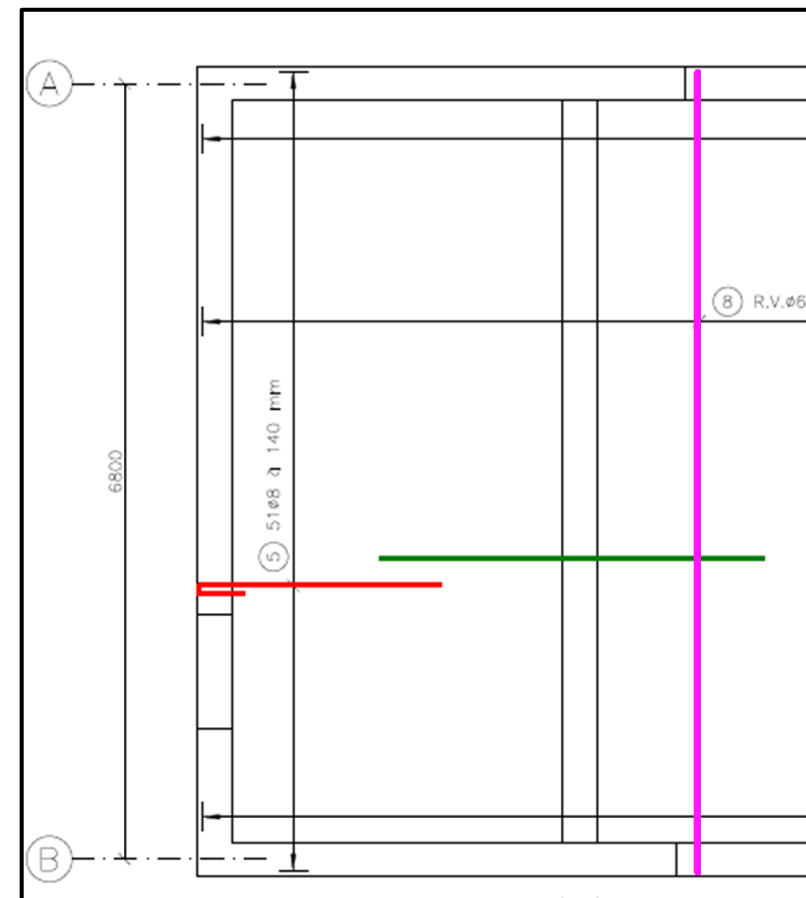
Rozteč výztuže může být větší než u hlavní nosné výztuže. Rozteč rozdělovací výztuže musí být menší než $\min(3h; 400 \text{ mm})$.

“Teorie” navíc

Rozdělovací výztuž

Rozdělovací výztuž je kolmo na hlavní nosnou výztuž, což znamená, že na ní nenasazuje, takže se nemusíme trápit tím, že by měla mít stejný průměr nebo rozteč. Ba naopak, je vhodné navrhnout rozdělovací výztuž s jinou roztečí než má hlavní nosná výztuž, aby bylo na první pohled vidět, že se jedná o různé výztuže.

Klíčové slovo je VHODNÉ. Doporučení nemusíme splnit, pokud by to způsobovalo nějaké další problémy – např. pokud by to znamenalo, že návrh bude hodně neekonomický.

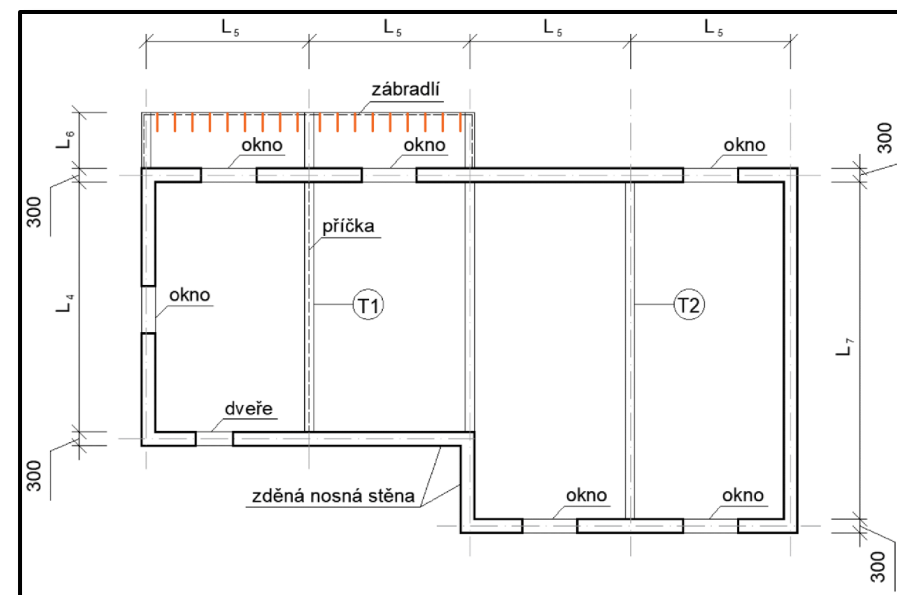
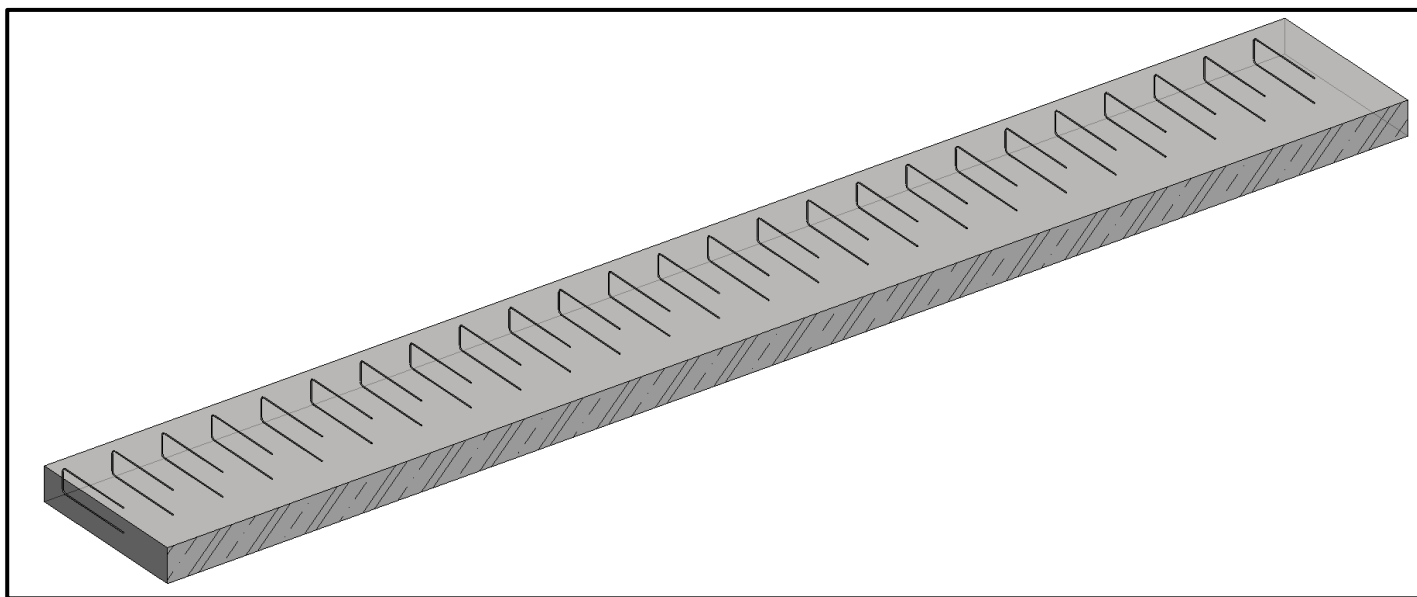


Návrh konstrukční výztuže
Lemovací výztuž

Lemovací výztuž

Lemovací výztuž se dává všude tam, kde je volný okraj desky*. Většinou se jedná o okraje desky na konzolách, u otvorů nebo u dilatačních spár.

V našem cvičení bude lemovací výztuž v desce na balkónech.



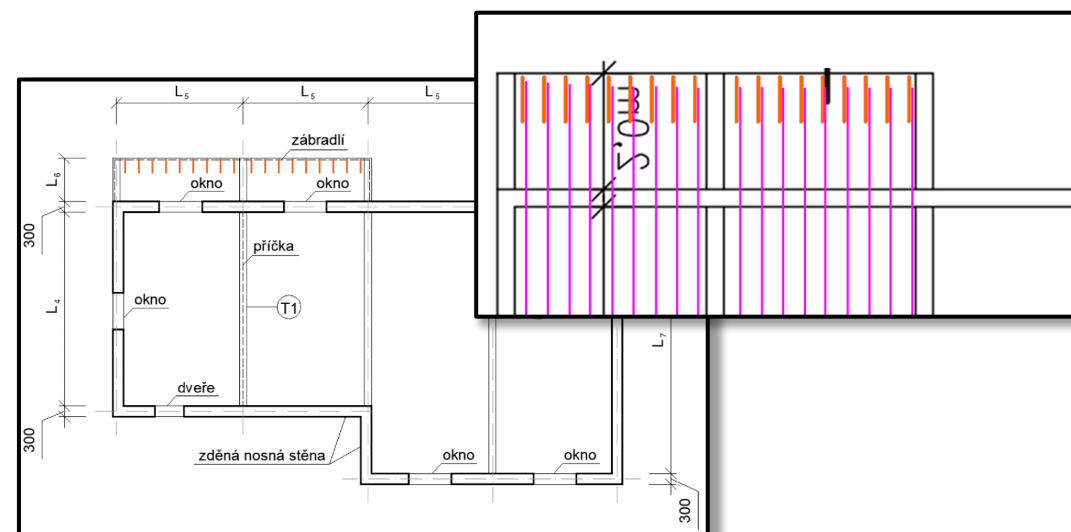
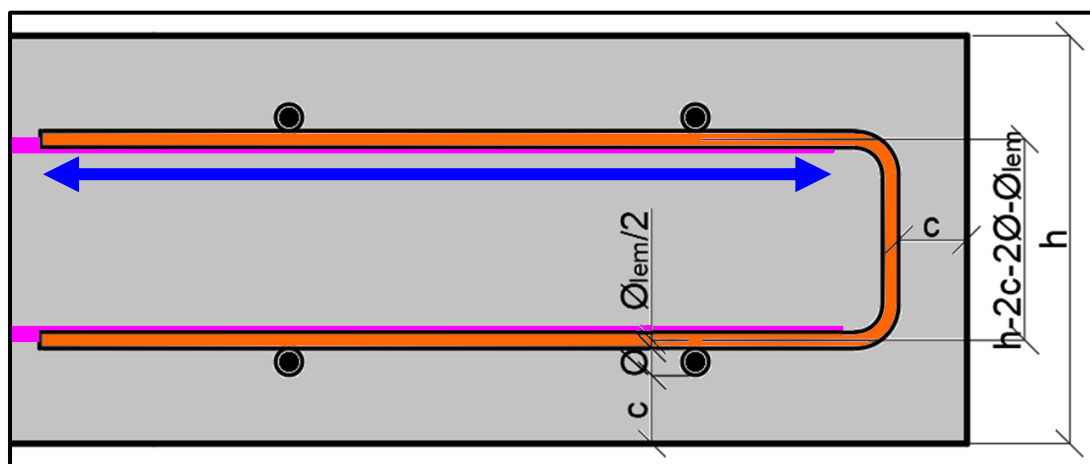
*Tj. kraj desky, který nepokračuje do nějaké konstrukce (trámu, stěny). Je to vlastně místo, kde je betonový povrch vystaven vzduchu.

Lemovací výztuž

Lemovací výztuž se dává o stejném průměru a rozteči jako výztuž, kterou ukončuje*.

V naší konstrukci se napojuje na rozdělovací výztuž, a proto bude mít stejný průměr a rozteč jako rozdělovací výztuž.

Lemovací výztuž se stykuje s napojenou výztuží na délce minimálně $2h$.

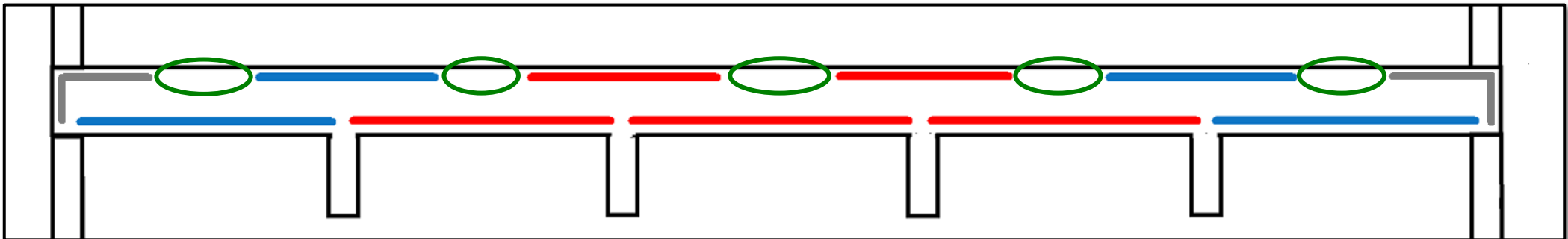


Návrh konstrukční výztuže
Doplňující výztuž

Doplňující výztuž

Železobetonové prvky musí být vždy vyztuženy u všech povrchů.

V místech, kde jsme nenavrhli nosnou výztuž (ani žádnou speciální konstrukční výztuž), musíme použít doplňující výztuž.



Doplňující výztuž

Doplňující výztuž většinou navrhujeme jako co nejmenší, ale podle podmínek pro nosnou výztuž – tedy:

$$\varnothing_s = 8 \text{ mm}$$

$$s \cong \min(2h, 250 \text{ mm})$$

“Teorie” navíc

Výztuž desky OBECNĚ – doplňující informace

“Teorie” navíc

Výztuž desky OBECNĚ – doplňující info

V každém prvku konstrukce (deska, trám, sloup) se vždy snažíme navrhovat všechny pruty výztuže stejného průměru, aby byla tvorba výkresu, objednávání výztuže a provádění na stavbě co nejjednodušší.

Klíčové slovo je SNAŽÍME. Pokud by to znamenalo, že někde navrhujeme výrazně víc výztuže než je nutné, pak je vhodné od tohoto doporučení upustit, a klidně můžeme navrhnout pruty jiného průměru. Zhodnocení a volba konkrétního návrhu vždy záleží na daném projektantovi.

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 **Františkovi Teichmannovi** za cenné podněty k doplnění prezentace.

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

Děkuji také všem, kteří si prezentaci pročetli až do konce, a [v neposlední řadě, děkuji divákům v poslední řadě.](#)