

Návrh výztuže a posouzení průřezu desky

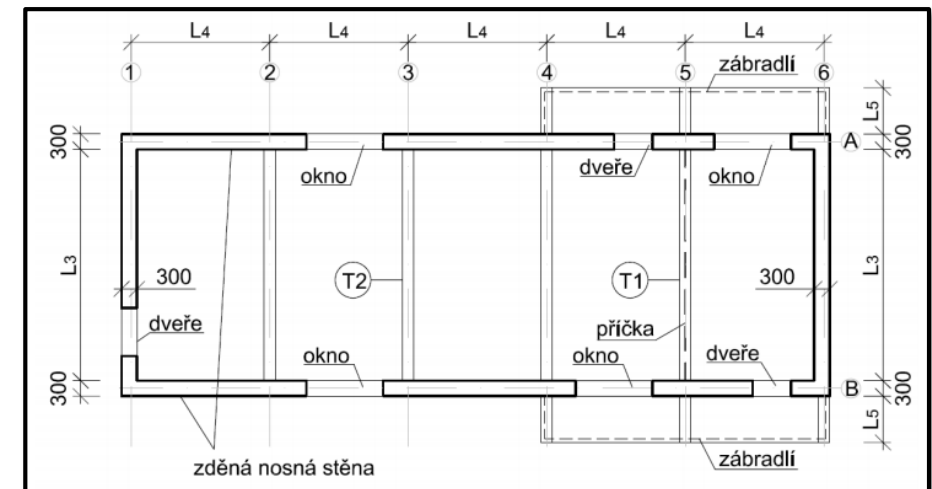
Prezentace k 5. cvičení NNKB

Autor: Jakub Holan

Poslední aktualizace: 15.3.2020 16:00

Zadání Úlohy 2

- 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 trámů + výkresy výztuže trámů
- výkres tvaru



Úkol

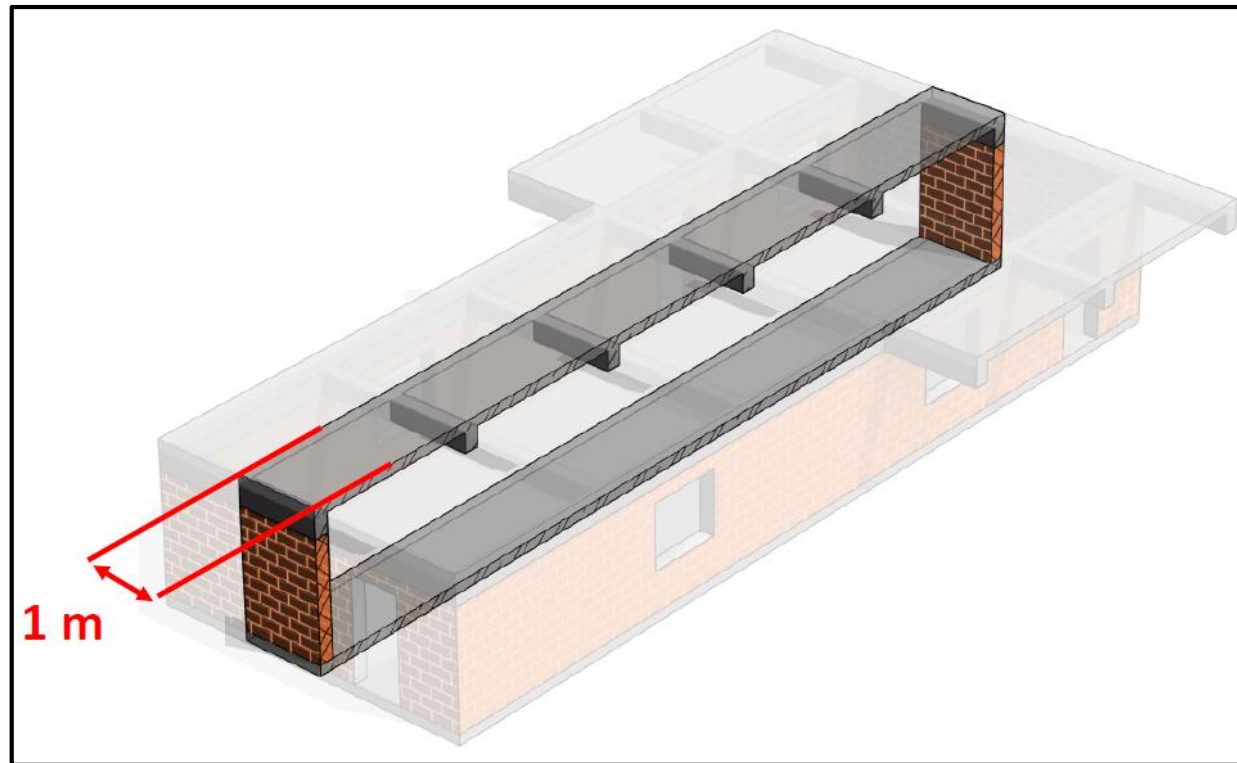
Navrhněte výztuž desky a posudte průřez desky.

Cíl

Cílem výpočtu je navrhnout vhodné množství výztuže průřezu desky a posoudit, zda průřez s navrženou výztuží odolá působící vnitřní síle (ohybovému momentu).

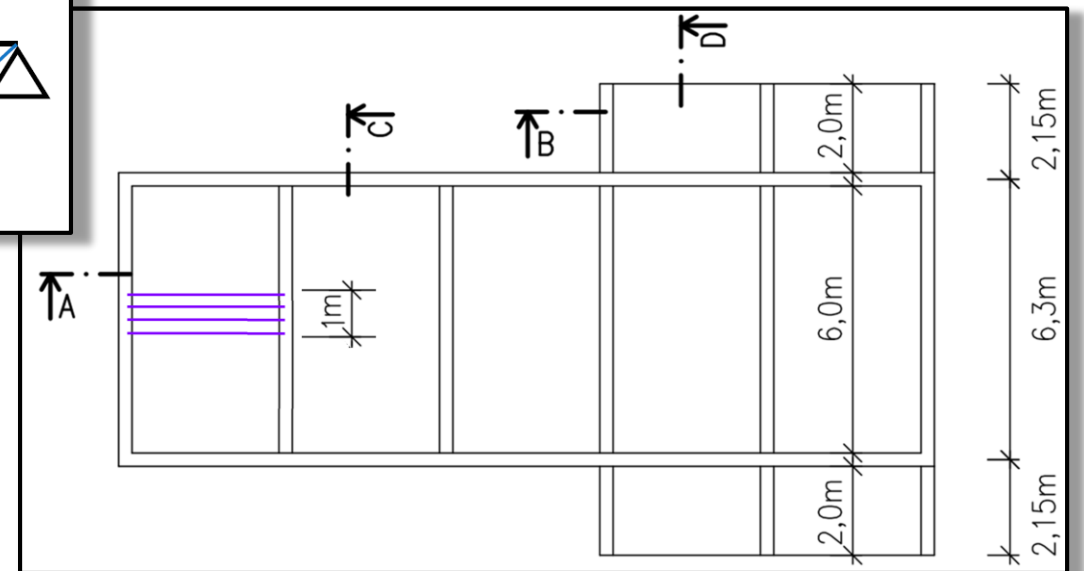
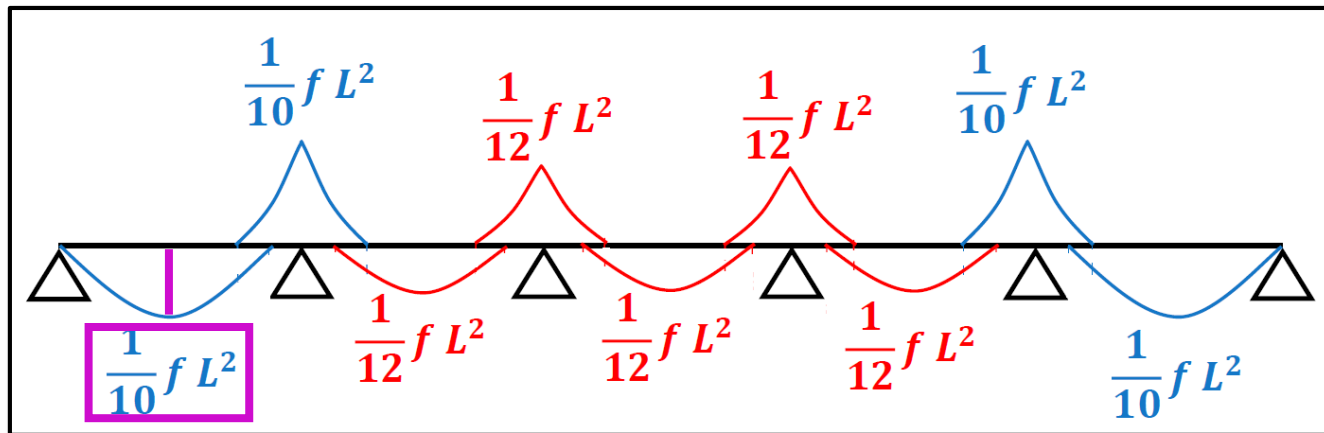
Průřez desky

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



Průřez desky

Výztuž navrhujeme pro nejvíce namáhaný průřez desky (tj. průřez s největším momentem) a průřez s navrženou výztuží posoudíme.



Návrh výztuže a posouzení průřezu desky

- Definování materiálových vlastností
- Definování geometrie průřezu
- Návrh výztuže a ověření zásad
- Stanovení předpokladů výpočtu
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- Ověření předpokladů výpočtu
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- Posouzení průřezu

Návrh výztuže a posouzení průřezu desky

- **Definování materiálových vlastností**
- Definování geometrie průřezu
- Návrh výztuže a ověření zásad
- Stanovení předpokladů výpočtu
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- Ověření předpokladů výpočtu
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- Posouzení průřezu

Materiálové vlastnosti

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: $f_{ck} = 30$ MPa.
- návrhová: $f_{cd} = f_{ck}/1.5 = 20$ MPa.

Výztuž je specifikována třídou výztuže (většinou B 500B), ze které vyčteme pevnost výztuže:

- charakteristická: $f_{yk} = 500$ MPa.
- návrhová: $f_{yd} = f_{ck}/1.15 = 435$ MPa.

Stanovení momentu únosnosti

- Definování materiálových vlastností
- **Definování geometrie průřezu**
- Návrh výztuže a ověření zásad
- Stanovení předpokladů výpočtu
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- Ověření předpokladů výpočtu
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- Posouzení průřezu

Geometrie průřezu

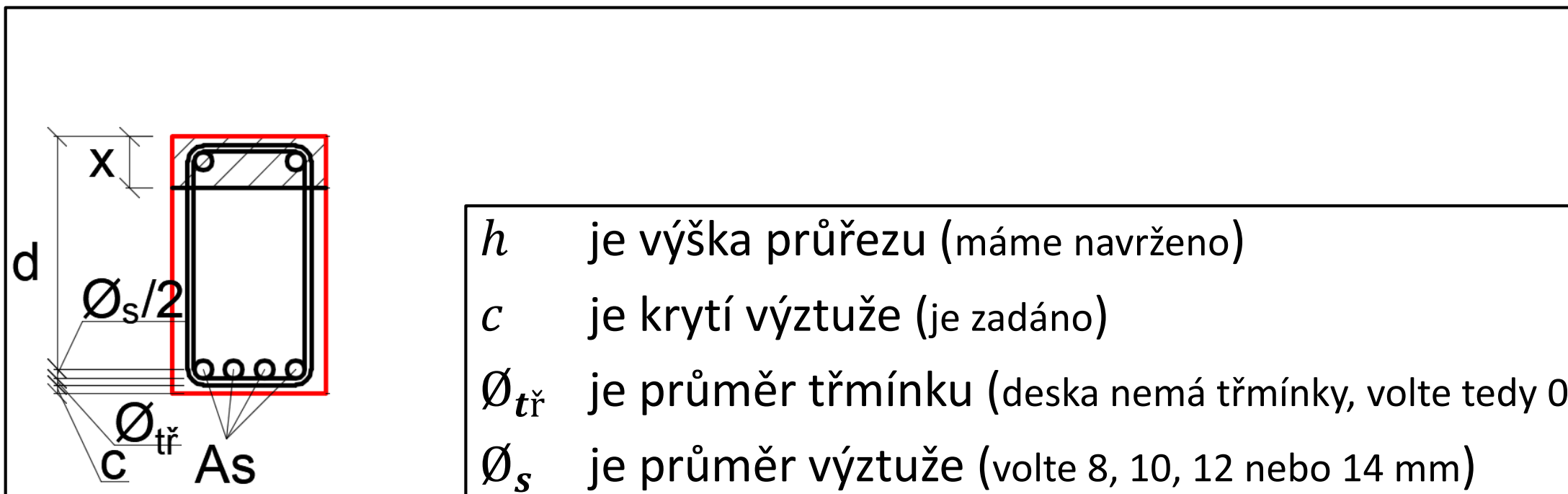
Výšku a šířku průřezu známe (už jsme je předběžně navrhli minule).

Polohu výztuže neznáme a musíme ji stanovit.



Poloha výztuže

Pro vyjádření polohy výztuže se používá rozměr zvaný účinná výška průřezu d , která se určí ze vztahu $d = h - c - \varnothing_{tř} - \varnothing_s/2$.



Stanovení momentu únosnosti

- Definování materiálových vlastností
- Definování geometrie průřezu
- **Návrh výztuže a ověření zásad**
- Stanovení předpokladů výpočtu
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- Ověření předpokladů výpočtu
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- Posouzení průřezu

Návrh výztuže a ověření zásad

Potřebujeme stanovit (navrhnout) množství výztuže v průřezu.



Návrh výztuže

Navrženou výztuž budeme zapisovat ve tvaru:

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

Např.: $\emptyset 10$ po 100 mm ($a_{s,prov} = 785.4 \text{ mm}^2/\text{m}'$)

Význam: pruty o průměru 10 mm s roztečí 100 mm; celková plocha výztuže v jednom metru šířky desky je 785.4 mm^2 .

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

Návrh výztuže

Průměr prutů výztuže volte dle tabulky (toto jsou běžně dodávané průměry výztuží).

Pro desku jsou vhodné pruty **cca 8 až 14 mm**.

Pro menší rozpory (cca 2.5 m) volte 8 mm. Pro větší rozpory (cca 3.5 m) volte 12 mm.

Vzd. vlozek [mm]	PLOCHA VÝZTUŽE PRŮŘEZU A_s [mm ²] NA ŠÍŘKU 1 m											
	Profil prutů \varnothing [mm]											
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
90	314	559	873	1257	1710	2234	2827	3491	4224	5454	6842	8936
95	298	529	827	1190	1620	2116	2679	3307	4001	5167	6482	8466
100	283	503	785	1131	1539	2011	2545	3142	3801	4909	6158	8042
105	269	479	748	1077	1466	1915	2424	2992	3620	4675	5864	7660
110	257	457	714	1028	1399	1828	2313	2856	3456	4462	5598	7311
115	246	437	683	983	1339	1748	2213	2732	3306	4268	5354	6993
120	236	419	654	942	1283	1676	2121	2618	3168	4091	5131	6702
125	226	402	628	905	1232	1608	2036	2513	3041	3927	4926	6434
130	217	387	604	870	1184	1547	1957	2417	2924	3776	4737	6187
135	209	372	582	838	1140	1489	1885	2327	2816	3636	4561	5957
140	202	359	561	808	1100	1436	1818	2244	2715	3506	4398	5745
145	195	347	542	780	1062	1387	1755	2167	2622	3385	4247	5547
150	188	335	524	754	1026	1340	1696	2094	2534	3272	4105	5362
155	182	324	507	730	993	1297	1642	2027	2452	3167	3973	5189
160	177	314	491	707	962	1257	1590	1963	2376	3068	3848	5027
165	171	305	476	685	933	1219	1542	1904	2304	2975	3732	4874
170	166	296	462	665	906	1183	1497	1848	2236	2887	3622	4731
175	162	287	449	646	880	1149	1454	1795	2172	2805	3519	4596
180	157	279	436	628	855	1117	1414	1745	2112	2727	3421	4468
185	153	272	425	611	832	1087	1376	1698	2055	2653	3328	4347
190	149	265	413	595	810	1058	1339	1653	2001	2584	3241	4233
195	145	258	403	580	789	1031	1305	1611	1949	2517	3158	4124
200	141	251	393	565	770	1005	1272	1571	1901	2454	3079	4021
210	135	239	374	539	733	957	1212	1496	1810	2337	2932	3830
220	129	228	357	514	700	914	1157	1428	1728	2231	2799	3656
230	123	219	341	492	669	874	1106	1366	1653	2134	2677	3497
240	118	209	327	471	641	838	1060	1309	1584	2045	2566	3351
250	113	201	314	452	616	804	1018	1257	1521	1963	2463	3217
260	109	193	302	435	592	773	979	1208	1462	1888	2368	3093
270	105	186	291	419	570	745	942	1164	1408	1818	2281	2979
280	101	180	280	404	550	718	909	1122	1358	1753	2199	2872
290	97	173	271	390	531	693	877	1083	1311	1693	2123	2773
300	94	168	262	377	513	670	848	1047	1267	1636	2053	2681

Návrh výztuže

Rozteč prutů volte v násobcích 10 mm.

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

Nenavrhuje rozteč prutů menší než 100 mm. (Menší rozteč by výrazně zhoršila možnost důkladného probetonování.)

Návrh provedte tak, aby výsledná únosnost byla cca 1.2x až 1.5x (a ne 2x až 3x) větší než působící moment.

Návrh výztuže

Návrh výztuže (rozteč a průměr prutů) **můžete provést jakkoliv** – norma udává pouze postup pro posouzení průřezu, návrh neřeší. (Je jedno jak to navrhnete, důležité je to, že to nakonec vyhoví.)

Dva nejpoužívanější způsoby návrhu:

- **Přesný návrh výztuže pomocí vzorce pro potřebnou plochu výztuže.**
- Vytvoření Excelu pro posouzení průřezu (stanovení M_{Rd}) a návrh výztuže metodou pokus-omyl. (Vytvoříte Excel a zkoušíte přidávat počet a průměr prutů výztuže dokud nedostanete pěkný výsledek.)

Návrh výztuže pomocí vzorce

Výztuž navrhujeme tak, aby skutečná plocha výztuže ($a_{s,prov}$) byla větší než požadovaná plocha výztuže ($a_{s,req}$)

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

Vzorec vychází z postupu posouzení průřezu (viz dále).

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.)

U ohýbaných prvků ověřujeme **plochu výztuže a rozteč prutů**.

Vámi navržená výztuž (např.: $\emptyset 10$ po 100 mm ($a_{s,prov} = 785.4 \text{ mm}^2 / \text{m}'$)) musí tyto zásady splňovat.

Ověření konstrukčních zásad

$$a_{s,min} = 0.0013bd$$

$$a_{s,max} = 0.04bh$$

$$s_{min} = \max(20 \text{ mm}, 1.2\phi, D_{max} + 5 \text{ mm})$$

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

b je šířka průřezu (1 m' pro desku)

h je výška průřezu (tloušťka desky)

D_{max} je maximální velikost kameniva (uvažujte 16 mm)

Ověření konstrukčních zásad

Vámi navržená výztuž (např.: $\emptyset 10$ po 100 mm ($a_{s,prov} = 785.4 \text{ mm}^2/\text{m}'$)) musí tyto zásady splňovat.

$$a_{s,min} \leq a_{s,prov} \leq a_{s,max}$$
$$0.0013bd \leq 785.4 \leq 0.04bh$$

$$s_{min} \leq s \leq s_{max}$$
$$\max(20 \text{ mm}, 1.2\emptyset, D_{max} + 5 \text{ mm}) \leq 100 \leq \min(2h, 250 \text{ mm})$$

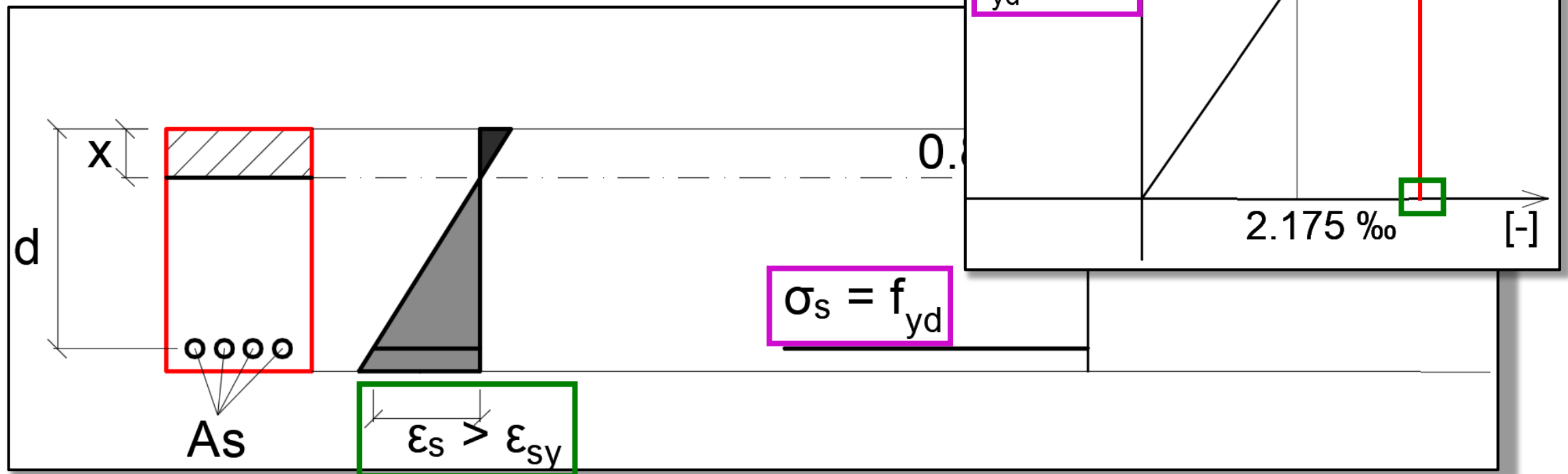
Stanovení momentu únosnosti

- Definování materiálových vlastností
- Definování geometrie průřezu
- Návrh výztuže a ověření zásad
- **Stanovení předpokladů výpočtu**
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- Ověření předpokladů výpočtu
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- Posouzení průřezu

Napětí ve výztuži

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

(Platnost předpokladu později ověříme. Pokud by předpoklad neplatil, výpočet by...

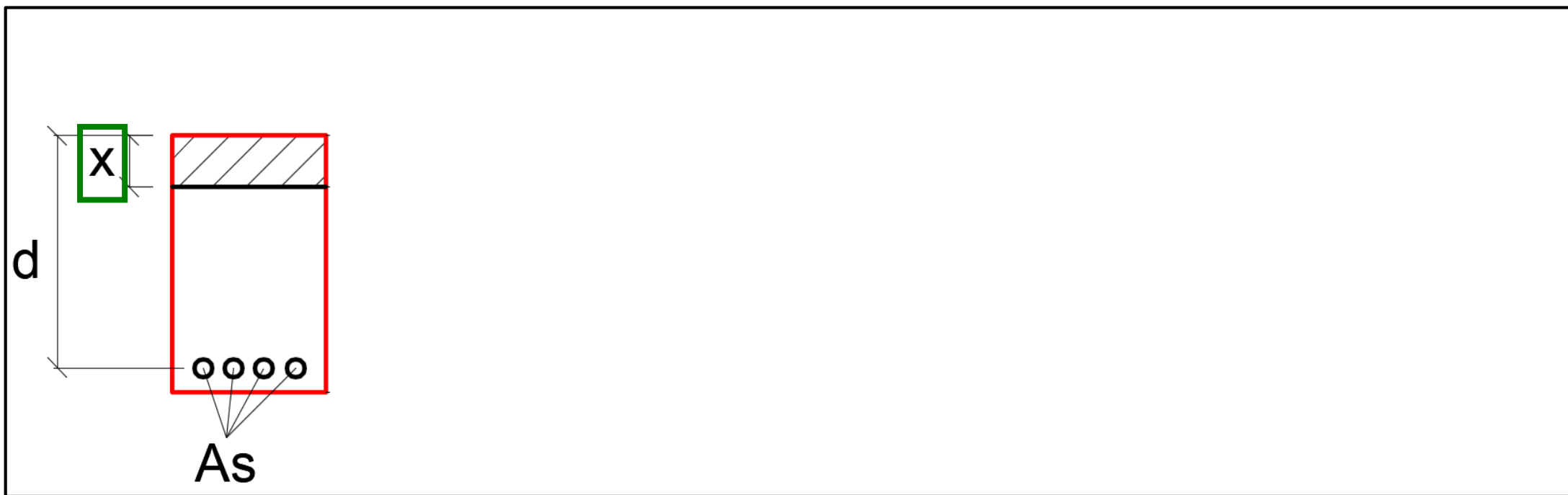


Stanovení momentu únosnosti

- Definování materiálových vlastností
- Definování geometrie průřezu
- Návrh výztuže a ověření zásad
- Stanovení předpokladů výpočtu
- **Výpočet výšky tlačené oblasti**
- Ověření předpokladů výpočtu
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- Posouzení průřezu

Výška tlačené oblasti

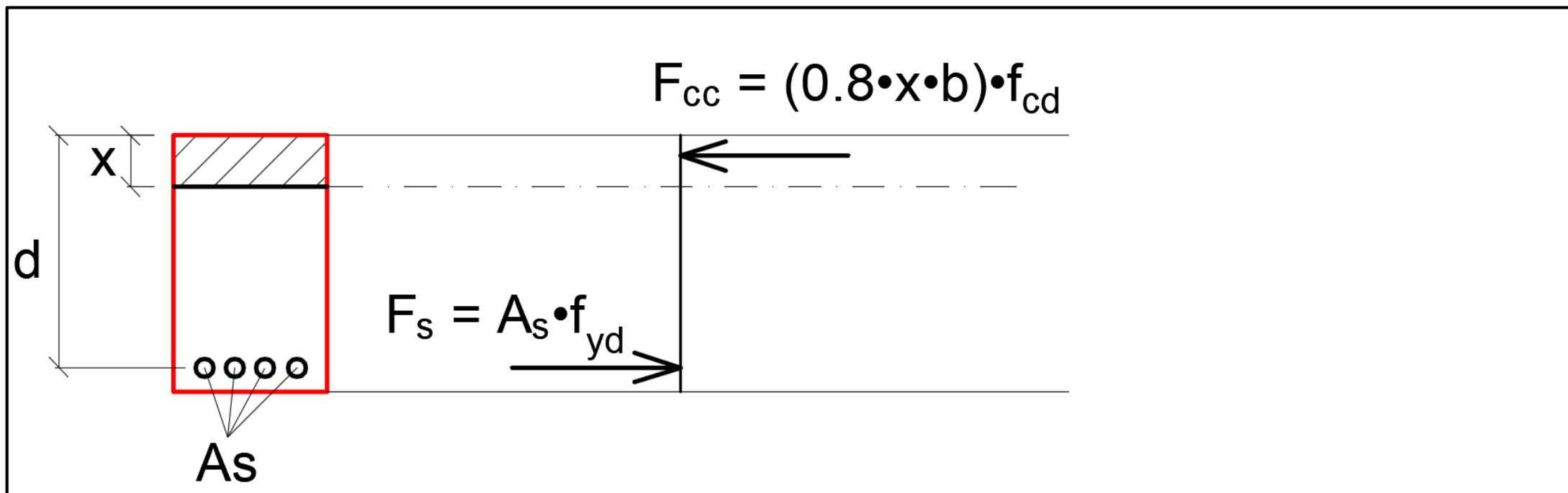
Prvním nutným krokem výpočtu je zvolení (stanovení) výšky tlačené oblasti.



Výška tlačené oblasti

Vycházíme z toho, že řešíme prostý ohyb, tzn. normálová síla je rovná 0.
Platí tedy:

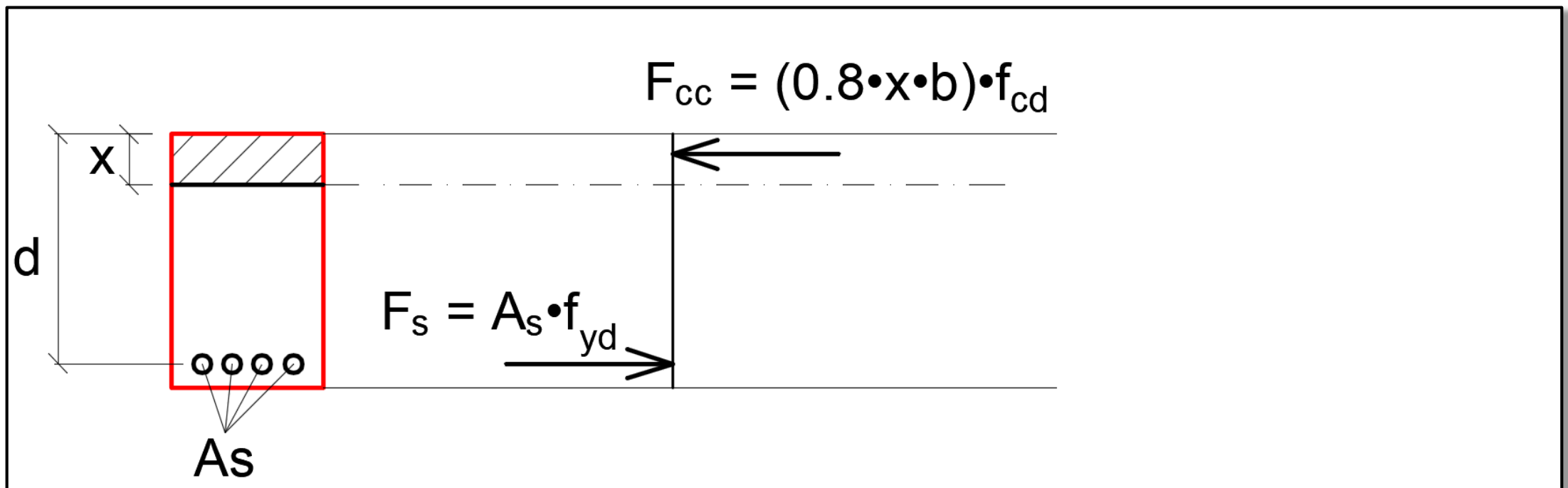
$$N = F_s - F_{cc} = 0$$



Výška tlačené oblasti

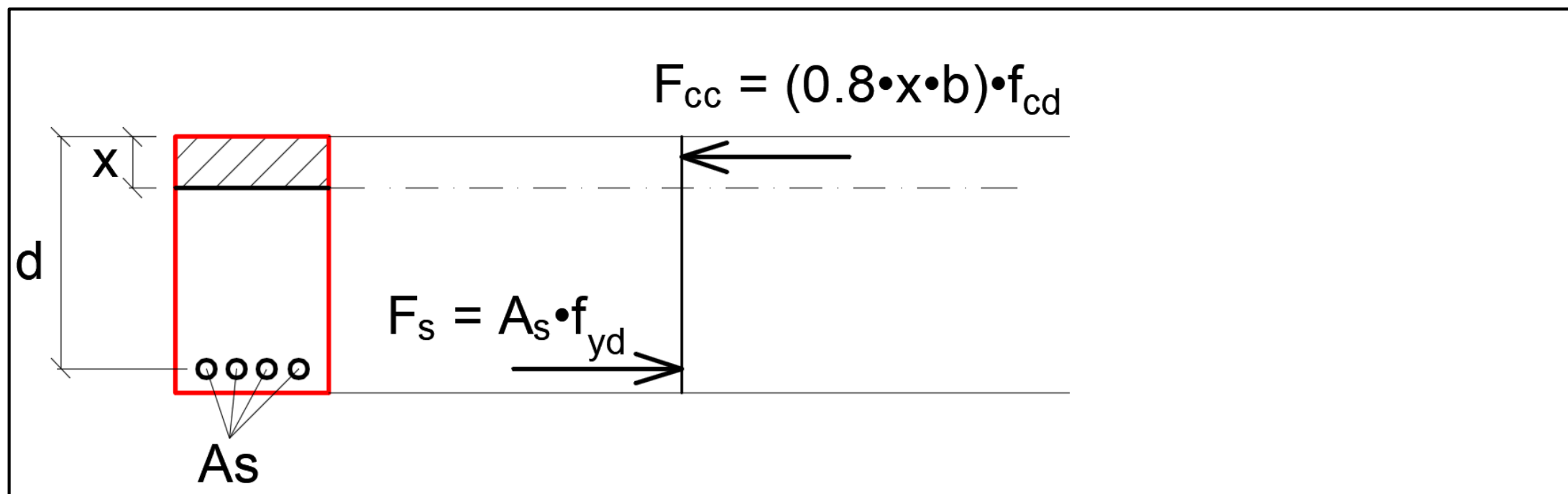
$$N = F_s - F_{cc} = 0$$

$$N = a_{s,prov} f_{yd} - 0.8 x b f_{cd} = 0$$



Výška tlačené oblasti

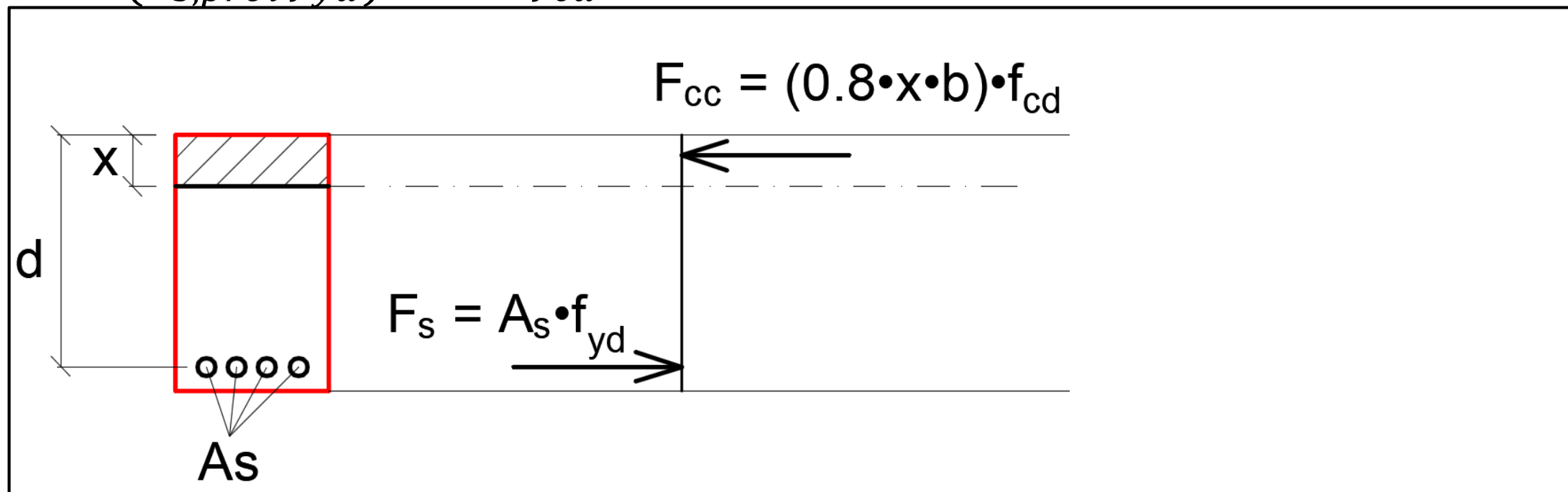
V rovnici $a_{s,prov}f_{yd} - 0.8xbf_{cd} = 0$ známe všechny proměnné kromě výšky tlačené oblasti.



Výška tlačené oblasti

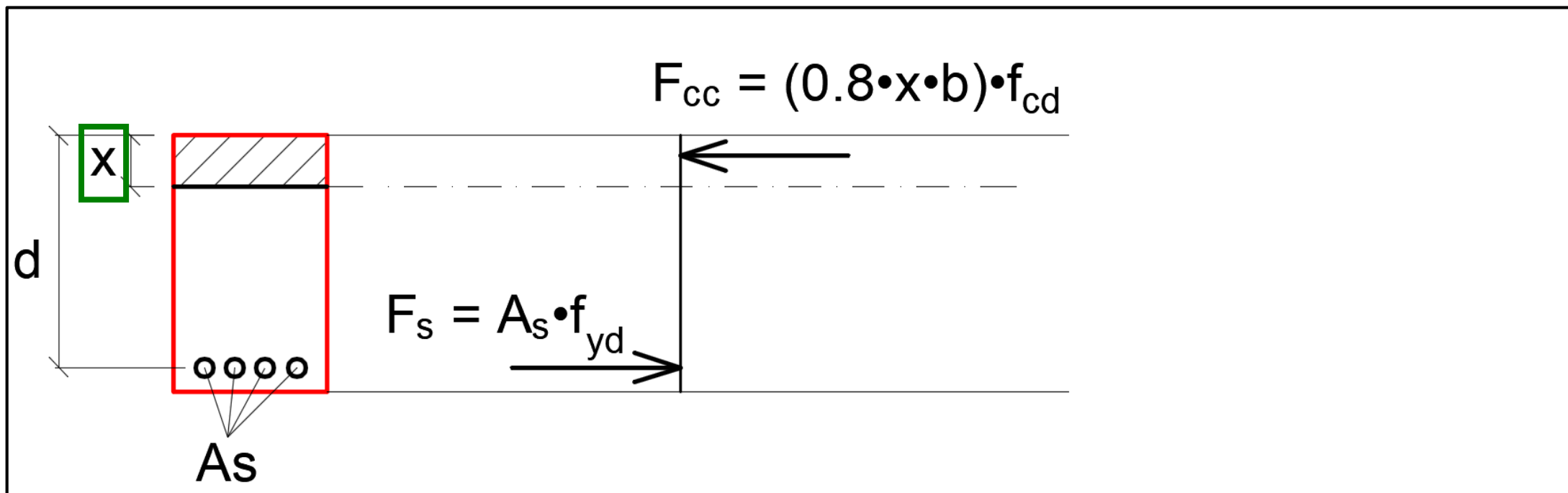
Výšku tlačené oblasti si můžeme vyjádřit a získáme rovnici pro její výpočet:

$$x = (a_{s,prov} f_{yd}) / (0.8 b f_{cd})$$



Výška tlačené oblasti

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

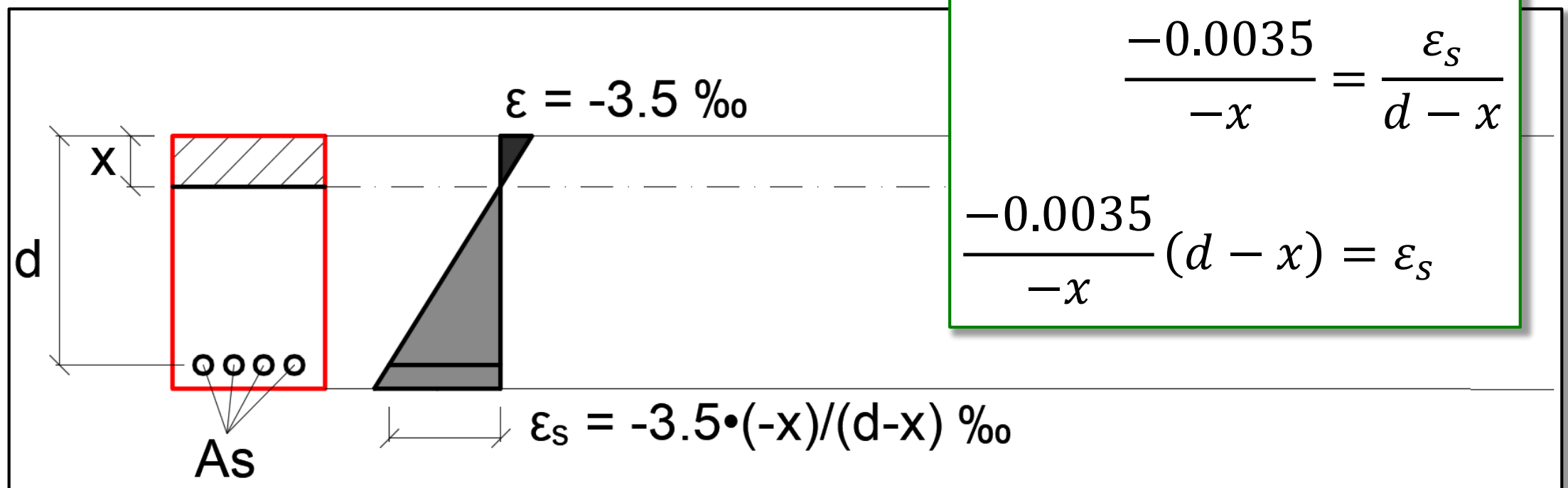


Stanovení momentu únosnosti

- Definování materiálových vlastností
- Definování geometrie průřezu
- Návrh výztuže a ověření zásad
- Stanovení předpokladů výpočtu
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- **Ověření předpokladů výpočtu a dalších zásad**
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- Posouzení průřezu

Ověření poměrného přetvoření výztuže

Známe polohu výztuže, výšku tlačené oblasti a přetvoření v krajních vláknech → Můžeme z **podobnosti trojúhelníků** vypočítat poměrné přetvoření výztuže.



Ověření poměrného přetvoření výztuže

Předpokládali jsme, že výztuž je za mezí kluzu. → Vypočtené poměrné přetvoření výztuže ε_s tedy musí být větší než poměrné přetvoření na mezi kluzu výztuže $\varepsilon_{sy} = E_s/f_{yd}$. Musí platit

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

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

Ověření poměrného přetvoření výztuže

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 průřez tak, aby výztuž byla za mezí kluzu (zvětšit výšku, zlepšit beton, ...) a znovu spočítat d , x a ε_s .

U ohýbaných prvků vždy chceme, aby výztuž byla za mezí kluzu!

Ověření poměrného přetvoření výztuže

U ohýbaných prvků vždy chceme, aby výztuž byla za mezí kluzu!

Pokud Vám tedy vyjde, že výztuž není za mezí kluzu, **zvětšete výšku průřezu*** (tj. tloušťku desky) a přepočítejte účinnou výšku d , výšku tlačené oblasti x a poměrné přetvoření výztuže ε_s .

*Správně byste měli přepočítat i zatížení a vnitřní síly! V rámci domácího úkolu však můžete zatížení i vnitřní síly ponechat stejné.

Ověření poměrného přetvoření výztuže

Poznámka:

Ověření přetvoření výztuže můžeme také provést pomocí poměrné výšky tlačené oblasti. Když platí

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

pak je výztuž za mezí kluzu. Toto ověření je rychlejší, ale méně názorné.

Nerovnost vychází z podobnosti trojúhelníků přetvoření při dosažení meze kluzu výztuže

$$\frac{0.0035}{x} = \frac{0.0035 + \varepsilon_{sy}}{d}.$$

Ověření poměrné výšky tlačené oblasti

Norma udává, že pokud chceme počítat únosnost plasticky*, tak musí platit

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

Pokud poměr nevyjde, pak je nutné zvětšit výšku průřezu (tj. tloušťku desky) a přepočítat účinnou výšku d , výšku tlačené oblasti x a poměrné přetvoření výztuže ε_s .

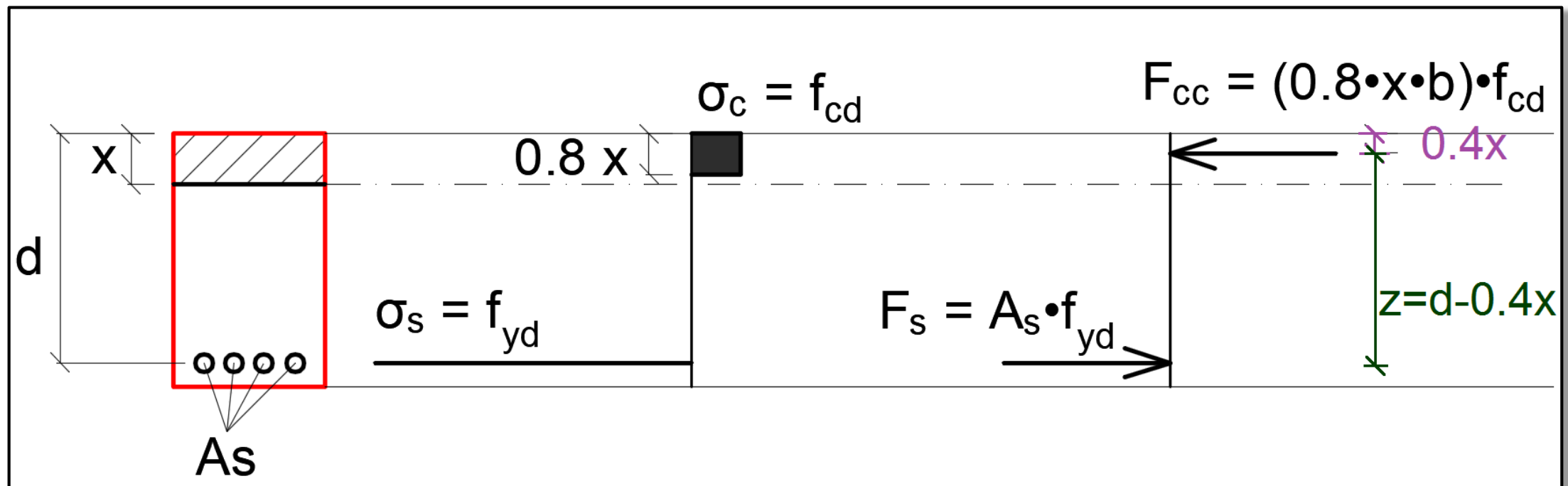
*což děláme, protože uvažujeme, že beton zplastizoval a má rovnoměrné konstantní napětí)

Stanovení momentu únosnosti

- Definování materiálových vlastností
- Definování geometrie průřezu
- Návrh výztuže a ověření zásad
- Stanovení předpokladů výpočtu
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- Ověření předpokladů výpočtu
- **Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti**
- Posouzení průřezu

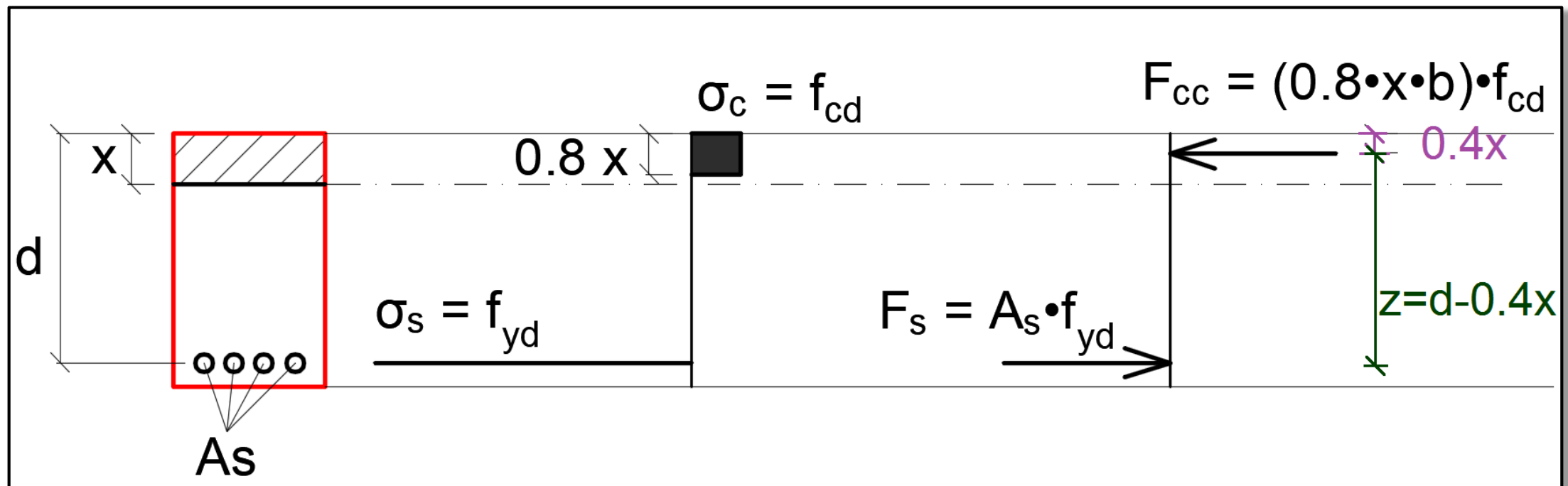
Rameno vnitřních sil z

Známe-li výšku tlačené oblasti x a polohu výztuže d , můžeme vypočítat rameno vnitřních sil z .



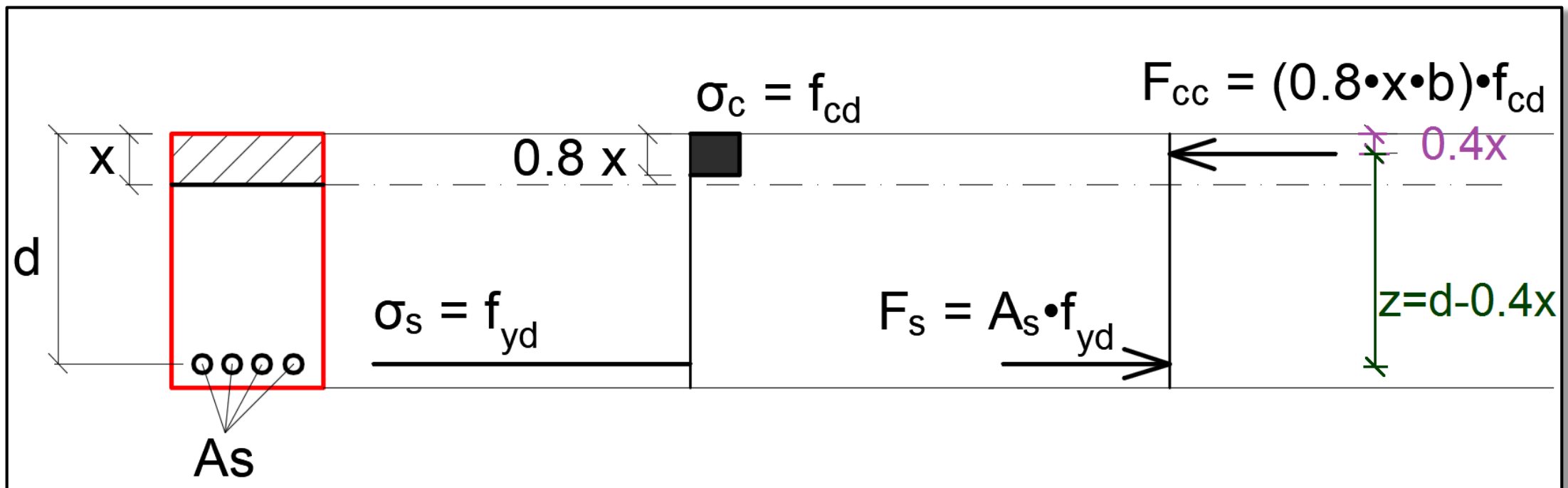
Moment únosnosti M_{Rd}

Moment únosnosti průřezu M_{Rd} je roven momentovému účinku vnitřních sil na mezi únosnosti (to je ten stav, který nyní počítáme).



Moment únosnosti M_{Rd}

Momentový účinek vnitřních sil získáme vynásobením působící síly na jejím rameni: $M_{Rd} = F_{cc} \cdot z = F_s \cdot z = f_{yd} \cdot a_{s,prov} \cdot z$



Stanovení momentu únosnosti

- Definování materiálových vlastností
- Definování geometrie průřezu
- Návrh výztuže a ověření zásad
- Stanovení předpokladů výpočtu
- Výpočet výšky tlačené oblasti
- Ověření předpokladů výpočtu
- Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- **Posouzení průřezu**

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 únosnost měla být 1.2x až 1.5x větší než působící moment a ne větší! To by byl návrh zbytečně neekonomický.

Shrnutí

Shrnutí

1) Volba materiálů a výpočet návrhových hodnot pevností

2) Návrh geometrie průřezu a výpočet účinné výšky d

3) Návrh výztuže

$$a_s = \frac{1000}{s} \cdot \frac{\pi \varnothing_s^2}{4}$$

4) Výpočet výšky tlačené oblasti

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0.8 \cdot b \cdot f_{cd}}$$

5) Ověření přetvoření výztuže

$$0.0035 \cdot \frac{d-x}{x} \geq \frac{f_{yd}}{E_s}$$

6) Výpočet síly ve výztuži

$$F_s = a_s \cdot f_{yd}$$

7) Výpočet ramene vnitřních sil

$$z = d - 0.4x$$

8) Výpočet momentu únosnosti

$$M_{Rd} = F_s \cdot z$$

Konec

Poděkování

Děkuji **Radku Štefanovi, Tomáši Trtíkovi a Romanu Chylíkovi** za časté konzultace při vypracovávání prezentace.

Děkuji **Stáňovi Zažirejovi** za poskytnutí vizualizací a obrázků.

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