



Úloha 2: Železobetonová stropní konstrukce

Návrh výztuže a posouzení průřezu desky

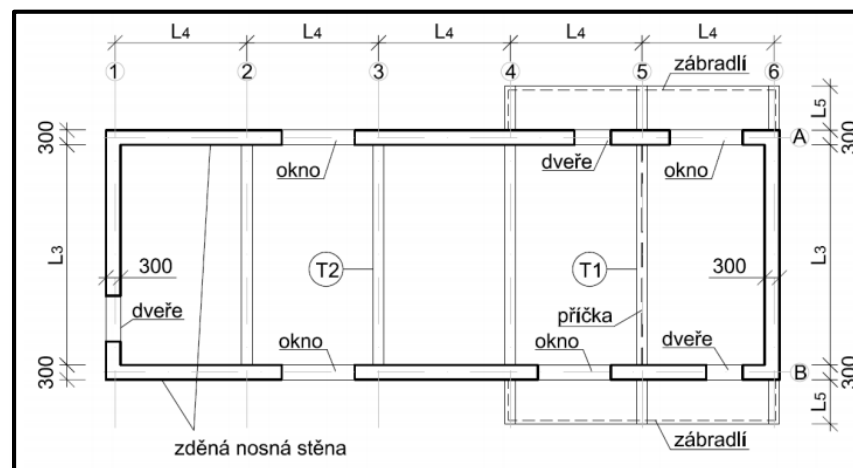
Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (Štefan)

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 výztuže trámu,
- výkres tvaru.



Návrh výztuže a posouzení průřezu desky

Úkol

Naším úkolem je

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

Cíl

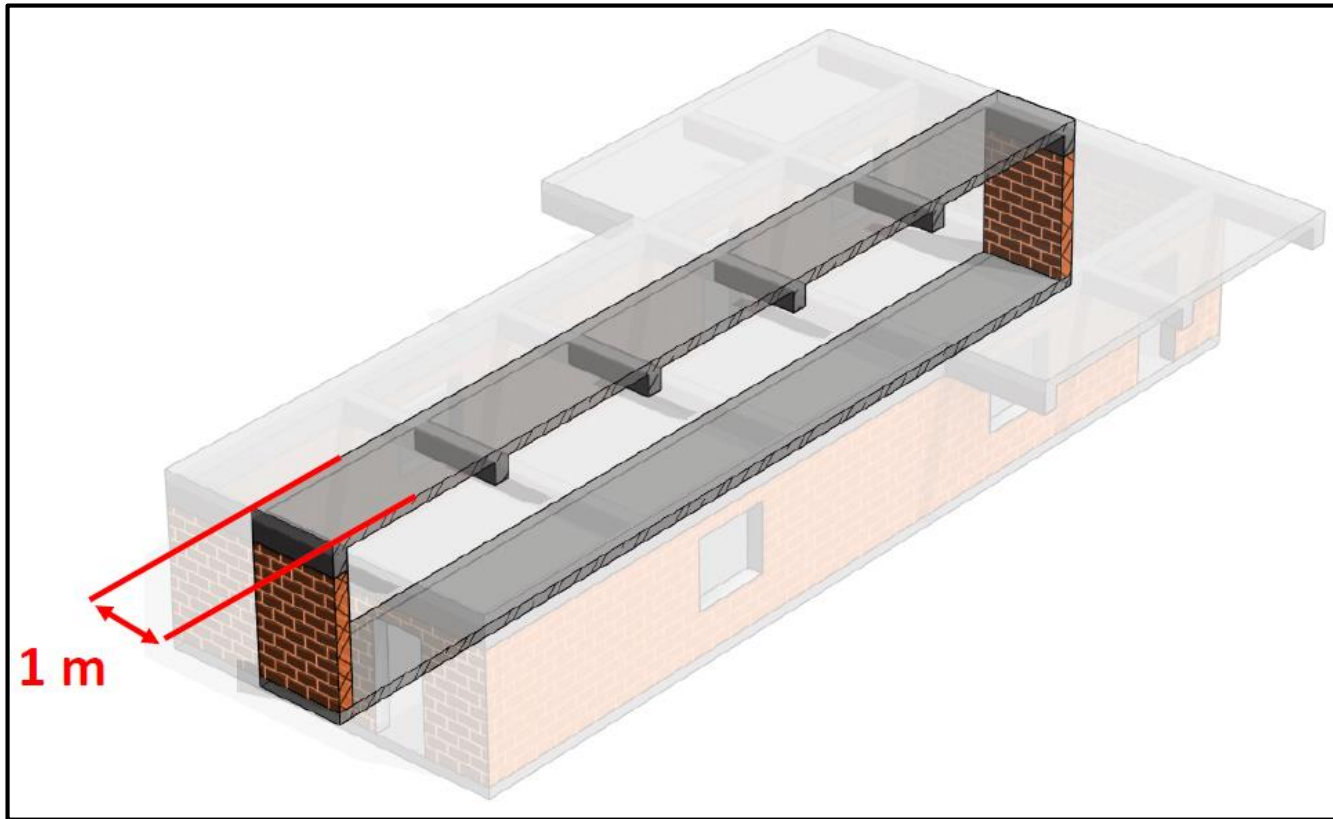
Cílem výpočtu je:

- 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“.

I. Návrh nosné výztuže a posouzení desky

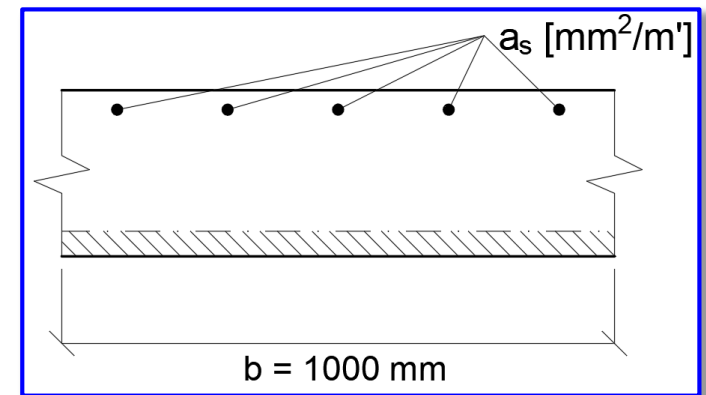
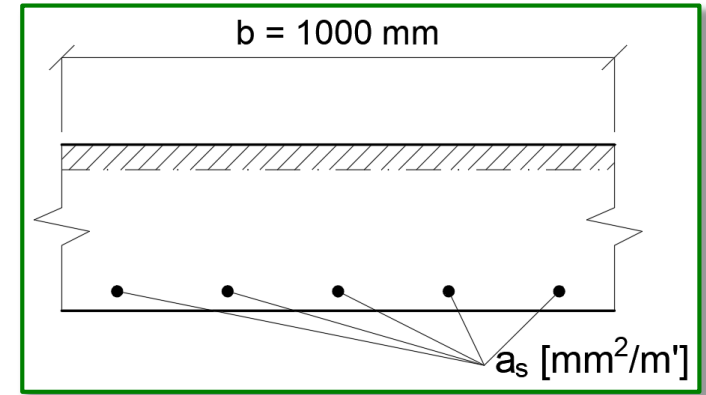
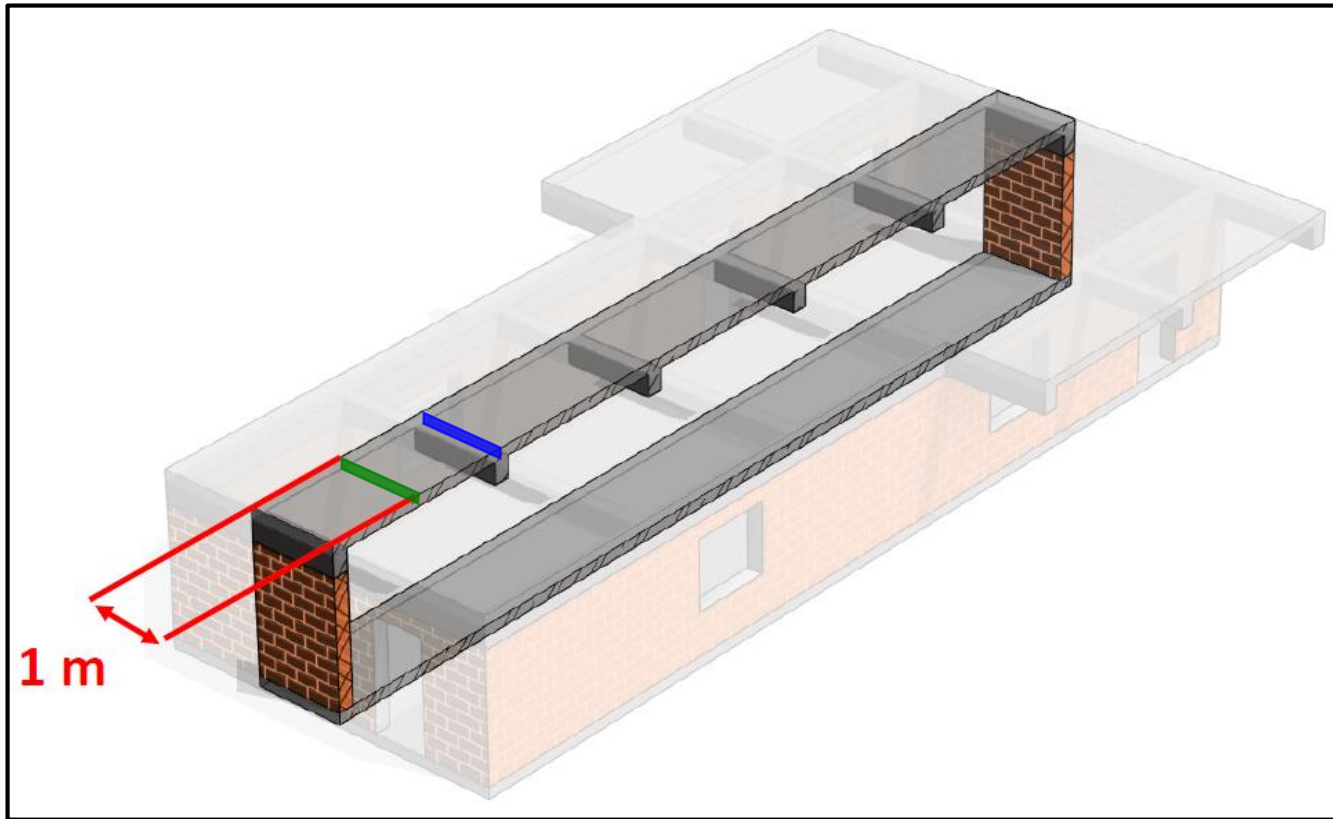
Průřez desky

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



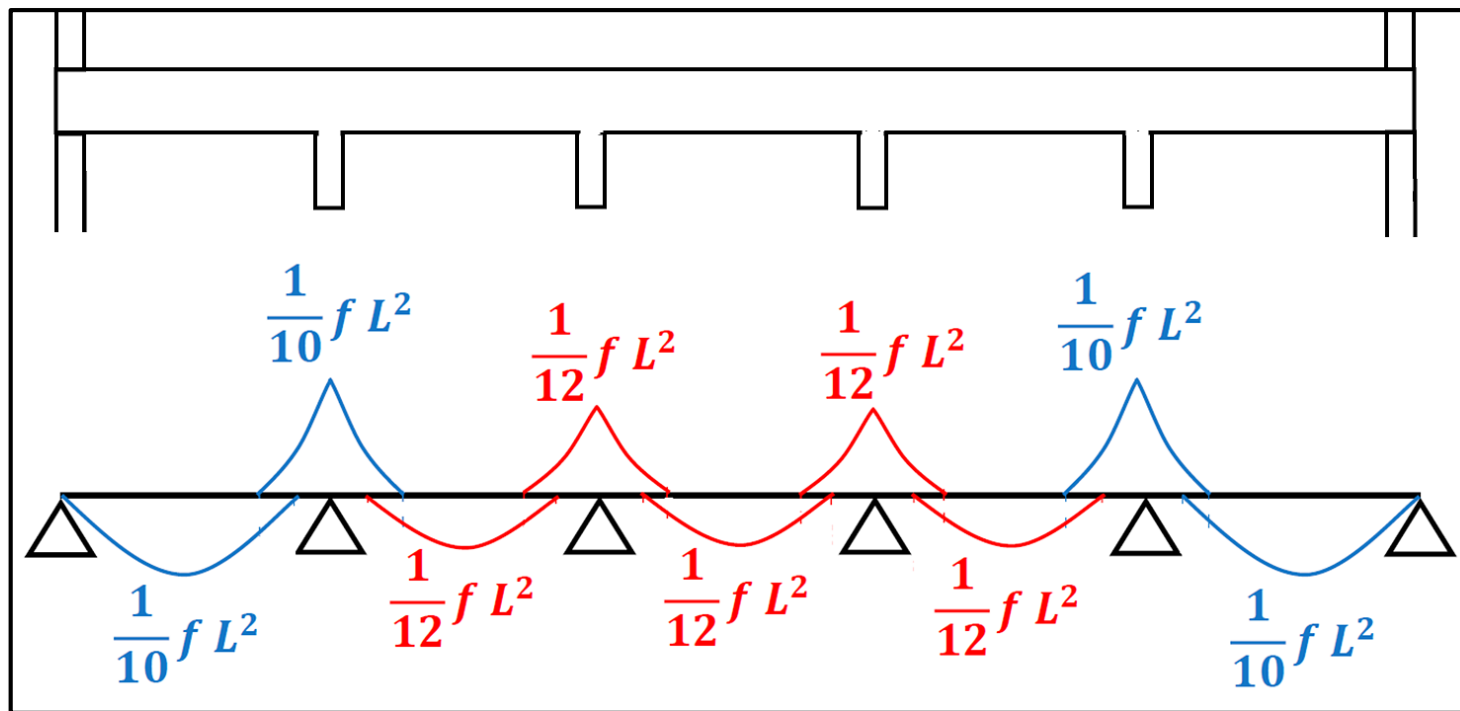
Průřez desky

A do toho jednoho metru šířky budeme navrhovat výztuž.



Průřez desky

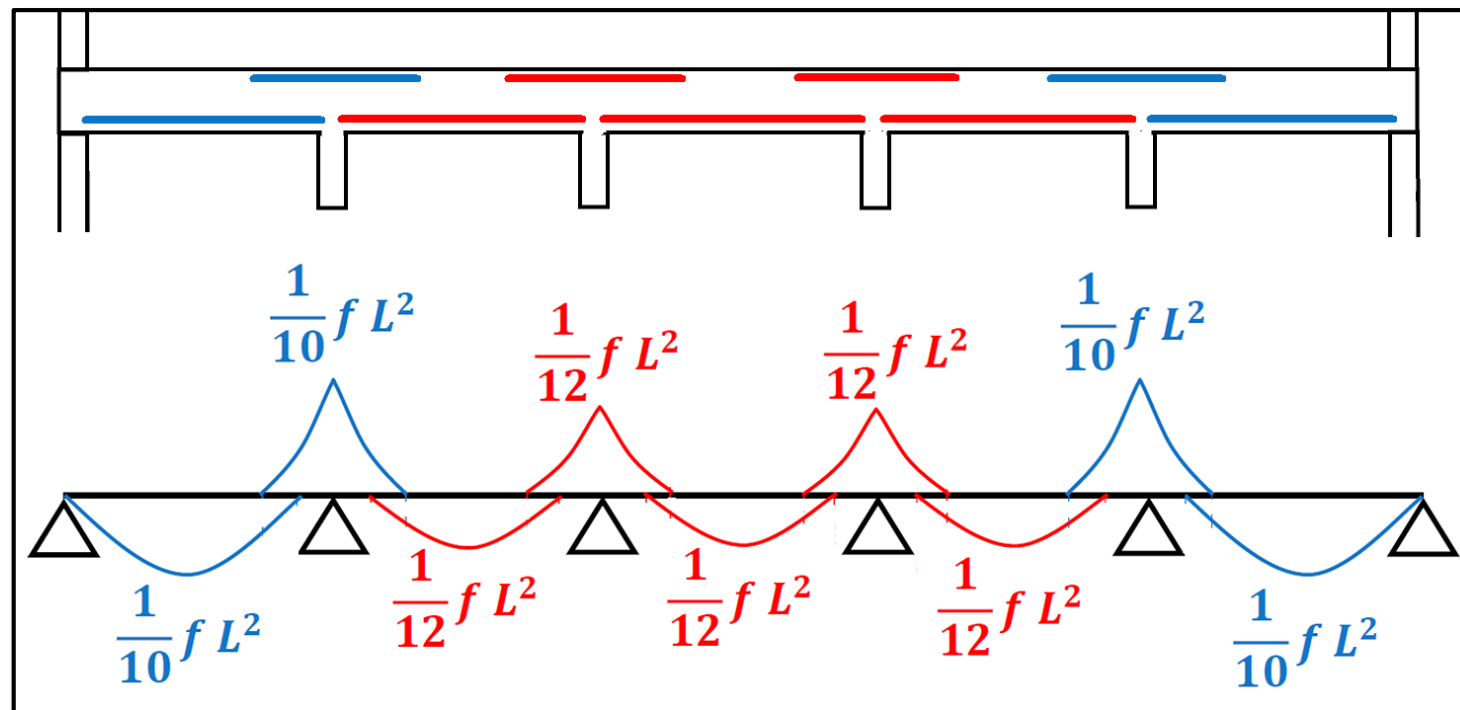
Na desce nám působí ohybové momenty. Desku musíme vyztužit tak, aby tyto ohybové momenty byla schopná přenést.



Průřez desky

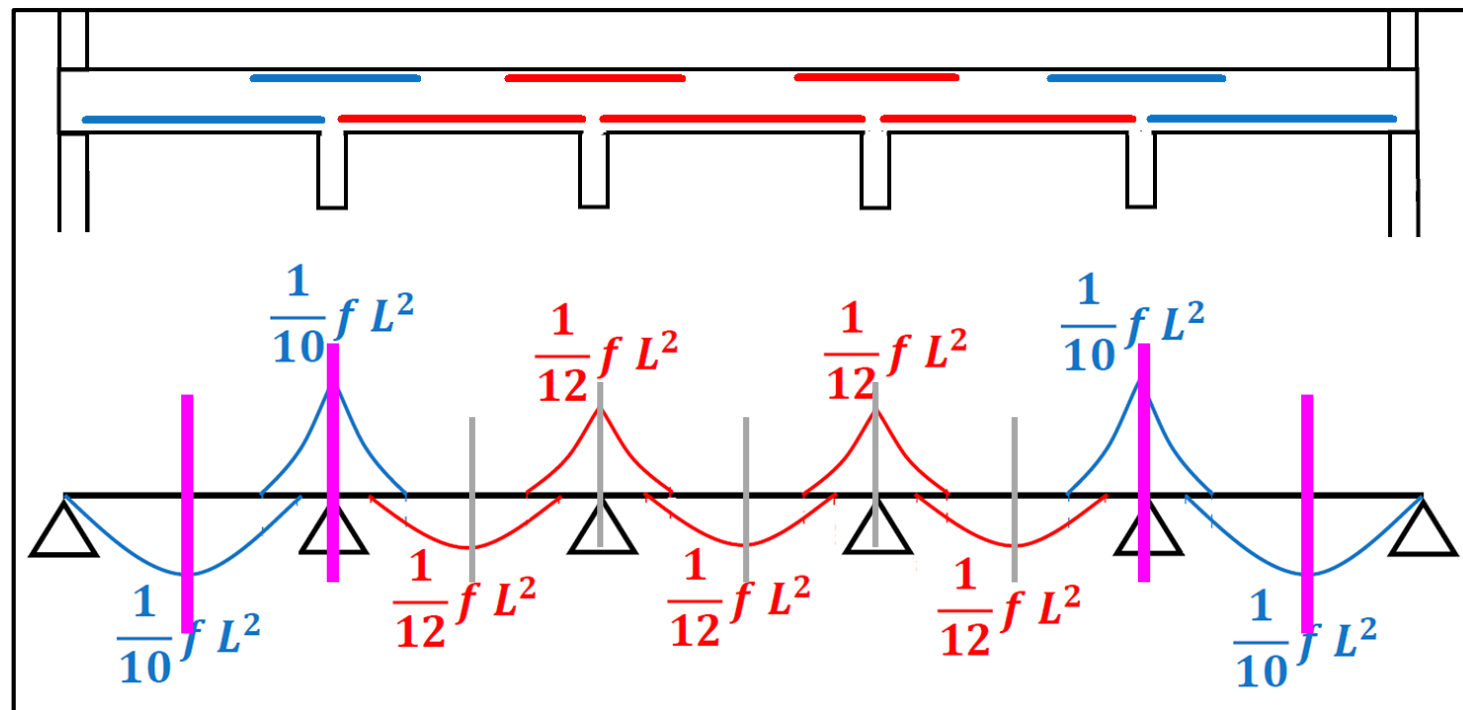
Výztuž musíme dát ke každému taženému* povrchu. Momenty vždy kreslíme na stranu tažených vláken.

→ **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.



Postup výpočtů

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

Postup výpočtů

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

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: $f_{cd} = f_{ck} / 1.5 = 20 \text{ MPa}$.

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

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

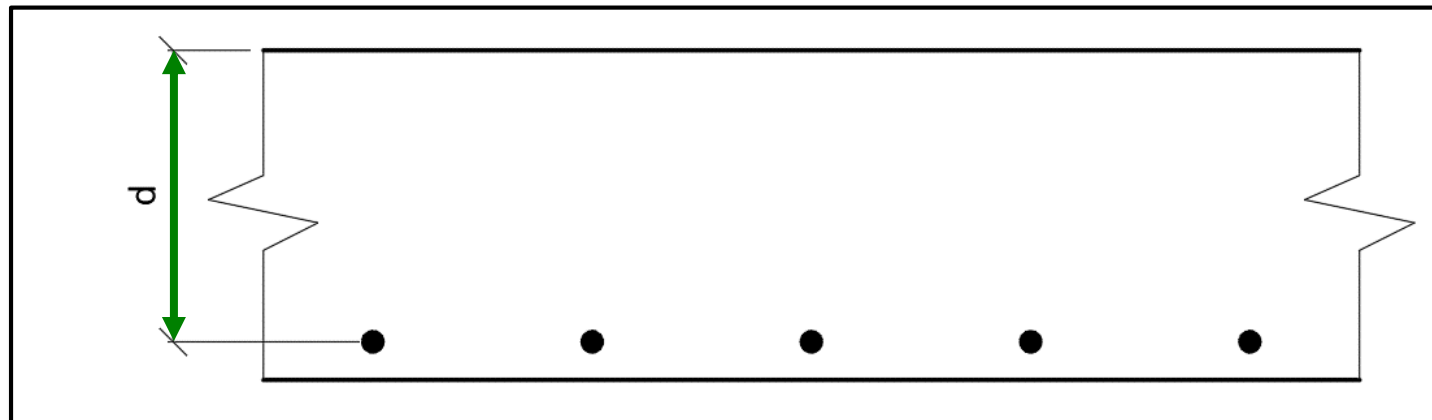
Postup výpočtů

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

Geometrie průřezu

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

Polohu výztuže neznáme a musíme ji stanovit.



Geometrie průřezu

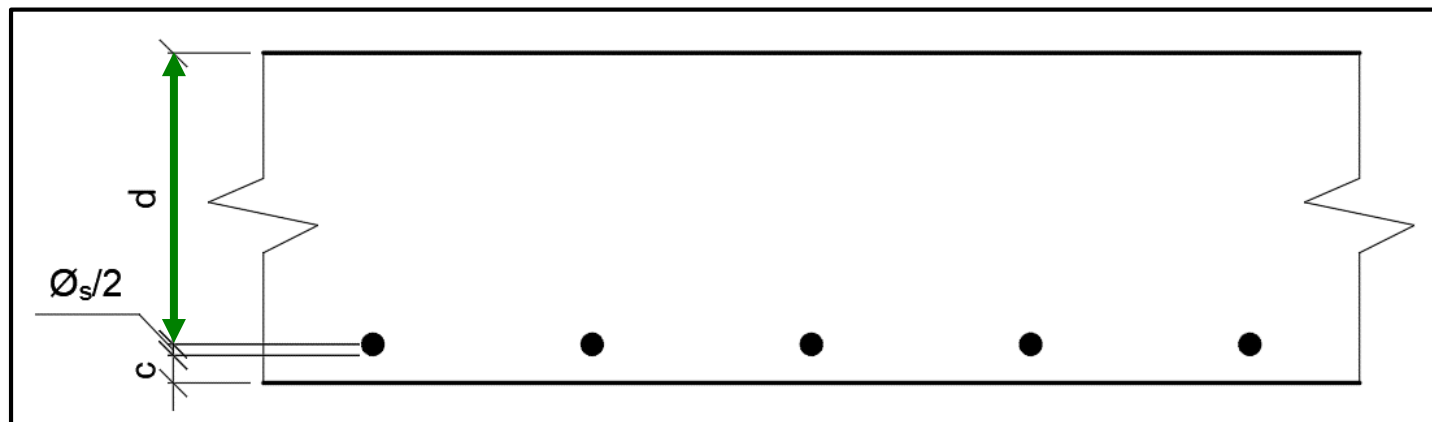
Pro vyjádření polohy výztuže se používá rozměr zvaný **účinná výška průřezu d** , která se určí ze vztahu

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

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 dle tabulky (toto jsou běžně dodávané průměry výztuží).

Pro desku jsou vhodné pruty cca 8 až 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

Průměr prutů výztuže

Průměr prutů výztuže \varnothing_s vždy volíme dle tabulky (toto jsou běžně dodávané průměry výztuží).

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 velmi malá (pod 100 mm) rozteč prutů – viz dále.

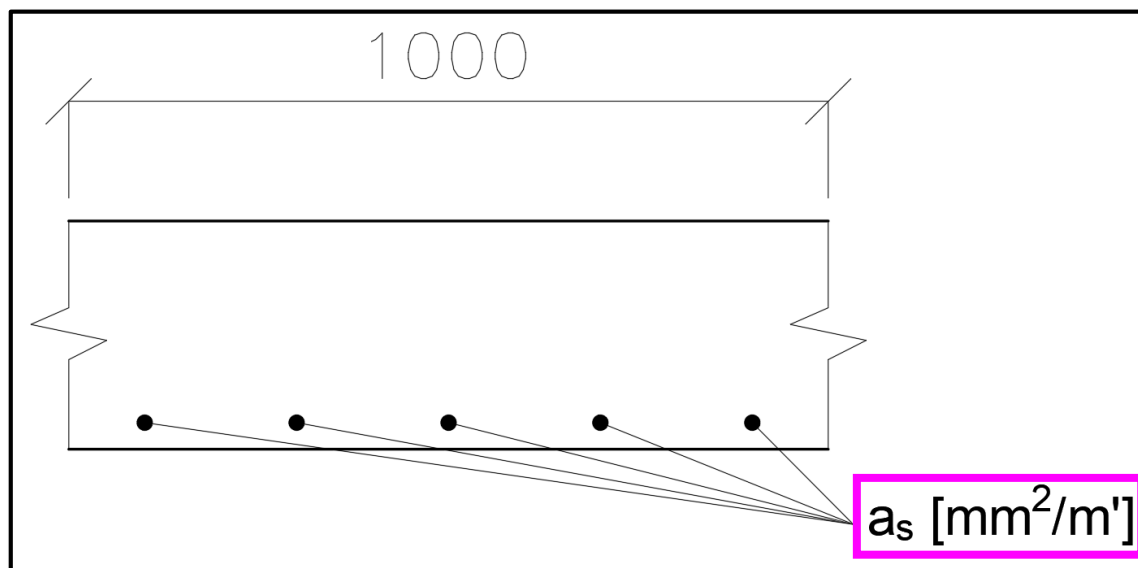
Vzd. vložek [mm]	PLOCHA VÝZTUŽE PRŮŘEZU A_s [mm ²] NA ŠÍŘKU 1 m											
	Profil prutů \varnothing [mm]											
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
90	314	559	873	1257	1710	2234	2827	3491	4224	5454	6842	8936
95	298	529	827	1190	1620	2116	2679	3307	4001	5167	6482	8466
100	283	503	785	1131	1539	2011	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

Postup výpočtů

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

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

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

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

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

Návrh výztuže – plocha výztuže

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

Dva nejpoužívanější způsoby návrhu:

- **Přesný návrh výztuže pomocí vzorce pro požadovanou 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.)

*Je jedno jak to navrhnete, důležité je to, že to nakonec vyhoví. (Když to nevyhoví, tak musíme navrhnout jinou plochu výztuže a vše přepočítat.)

Návrh výztuže – plocha výztuže pomocí vzorce

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 – průměr prutů

Průměr prutů výztuže \varnothing_s už jsme si zvolili výše (8 až 12 mm).

Návrh výztuže – 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 než požadovaná plocha výztuže $a_{s,req}$.

Rozteč **ideálně** volíme tak, aby $a_{s,prov}$ byla cca o 10 % až 30 % větší než $a_{s,req}$.

Je vhodné rozteč prutů s volit co nejmenší*, ale větší než 100 mm†.

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

† Menší rozteč je možná, ale výrazně zhorší možnost důkladného probetonování.

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.

Námi navržená nosná výztuž musí tyto zásady splňovat.

Ověření konstrukčních zásad – plocha

Skutečná plocha výztuže musí splňovat podmínky pro plochu výztuže

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

kde $a_{s,min} = \max\left(0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} bd; 0.0013bd\right)^*$,

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

$$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3} \text{ (střední hodnota tahové pevnosti betonu),}$$

f_{ck} je charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku (zadáno),

f_{yk} je charakteristická hodnota meze kluzu oceli (500 MPa),

b je šířka průřezu (1 m),

d je účinná výška průřezu (máme navrženo – viz výše),

h je výška průřezu (máme navrženo z minulého cvičení).

Ověření konstrukčních zásad – rozteč

Skutečná rozteč výztuže musí splňovat podmínky pro rozteč výztuže

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

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

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

\varnothing_s je průměr výztuže (máme navrženo – viz výše),

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

h je výška průřezu (máme navrženo z minulého cvičení).

Ověření konstrukčních zásad – rozteč

Všechny zásady najdeme přehledně v tabulce níže.

Konstrukční zásady pro vyztužování železobetonových prvků podle EN 1992-1-1 a NA CZ

Výztuž	Parametr	Trámy	Desky		Sloupy	Stěny
	Definice prvku	prutový prvek s $l \geq 3 \cdot h$; jinak je třeba uvažovat prvek jako stěnový nosník	plošný prvek s rozměry $\geq 5 \cdot h$; při převažujícím rovnoměrném zatížení a při dvou volných okrajích nebo při poměru stran více než 2 : 1 se jedná o nosníkovou desku		prutový prvek o $h \leq 4 \cdot b$ a $l \geq 3 \cdot h$; jinak se jedná o stěnu	plošný prvek s vymezením rozměrů mimo sloup
Podélná (nosná)	Minimální plocha výztuže	$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b \cdot d$ a současně $A_{s,min} > 0,0013 \cdot b \cdot d$			$A_{s,min} = (0,10 N_{Ed})/f_{yd}$ a současně $A_{s,min} \geq 0,002 \cdot A_c$	$A_{s,min} = 0,002 \cdot A_c$
	Maximální plocha výztuže	$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot A_c$			$A_{s,max} \leq 0,04 \cdot A_c$ (u přesahů $A_{s,max} \leq 0,08 \cdot A_c$)	$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$
	Maximální vzdálenost výztuže	$s \leq 200$ mm pro $A_{s1,req}/A_{s1} \geq 2/3$; jinak $s \leq 300$ mm ; na kroucení do 350 mm	$s_{max,slabs} \leq 2h$	$s_{max,slabs} \leq 300$ mm	≤ 400 mm	$\leq 3h$ ≤ 400 mm
	Min. světlá vzdálenost výztuže	$\geq (1,2 \cdot \phi_{s,max}; d_g + 5$ mm; 20 mm) platí pro veškerou rovnoběžnou výztuž; v místě křížení výztuží může být i nula				
	Min. počet výztuže kruh. sloupu	-	-	-	4	-
	Minimální průměr výztuže	-	-	-	$\phi_{min} = 12$ mm; pro $b \geq 200$ mm $\phi_{min} = 12$ mm	-
Příčná (třmínky)	Minimální stupeň vyztužení	$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}/f_{yk}$	-	-	-	je-li celková plocha výztuže u obou povrchů $A_{sv} \geq 0,02 \cdot A_c$ vkládají se spony podle stejných požadavků jako u sloupů 4 spony/m ²
	Max. podélná vzdálenost třmínků	$s_{l,max} = 0,75d(1+\cot\alpha)$ a současně ≤ 400 mm ; pro tlačnou výztuž 15 ϕ ; pro třmínky na kroucení u/8	$s_{max,s} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$		$s_s \leq \min(15\phi_{l,min}; \min(b, h); 300\text{mm})$; je-li $\phi_{l,max} > 14$ mm - v blízkosti styčnicku zhuštění na 0,6 $\cdot s_s$, min. 3 třmínky	
	Max. příčná vzdál. větvi třmínků	$s_{t,max} = 0,75 \cdot d \leq 600$ mm	-		-	
	Max. podélná vzdálenost ohybů	$s_{b,max} = 0,6 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$	-		-	
	Minimální průměr výztuže	-	-	-	$\phi \geq 6$ mm (5 mm u sítí) $\geq 1/4 \cdot \phi_{l,max}$	
Rozdělovací (desky) Vodorovná (stěny)	Max. vzdálenost výztuže	-	$s_{max,slab} \leq 3h$	$s_{max,slab} \leq 400$ mm	-	≤ 400 mm
	Minimální plocha výztuže	-	$A_{ss} > 0,2 \cdot A_{sl}$		-	$\geq 0,25 A_{sv}$ $\geq 0,001 A_c$

Vysvětlivky:

A_s - plocha betonářské výztuže; f_{cm} - střední hodnota pevnosti betonu v tahu; f_{yk} - charakteristická hodnota meze kluzu výztuže; b - průměrná šířka tažené části průřezu (pro T-průřez s deskou u tlačené části průřezu je to šířka trámuř - účinná výška průřezu); A_c - plocha betonového průřezu; s - vzdálenost výztuže; h - výška průřezu; N_{Ed} - výpočtová hodnota normálové tlakové síly; α - návrhová hodnota meze kluzu výztuže; ϕ_{max} - maximální průměr podélné výztuže; b - šířka průřezu; α - úhel svírající třmínky (ohyby) s podélnou osou prvku; d_g - obvod betonového průřezu; ploše A_c ; d_g - průměr největšího zrna kameniva; l - rozpětí prvku nebo jeho délka.

Návrh výztuže – SOUHRN

Průměr prutů výztuže \varnothing_s

- $\varnothing_s \in \langle 8 \text{ mm}, 12 \text{ mm} \rangle$.

Rozteč prutů výztuže s

- v násobcích 10 mm,
- větší než s_{min} (ideálně i větší než 100 mm),
- menší než s_{max} .

Plocha výztuže $a_{s,prov}$

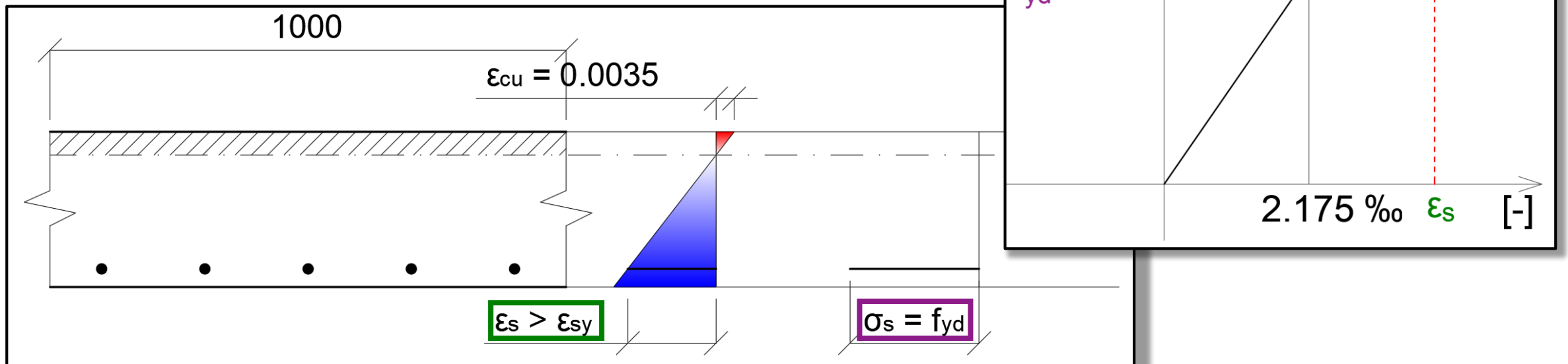
- větší než $a_{s,req}$ a $a_{s,min}$,
- menší než $a_{s,max}$.

Postup výpočtů

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

Napětí ve výztuži

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

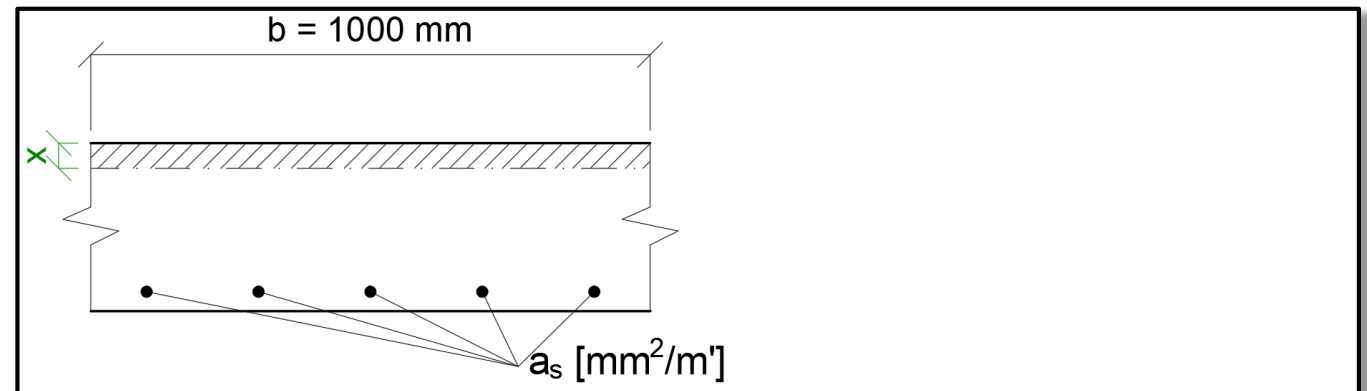


Postup výpočtů

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

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

$$N = 0.$$

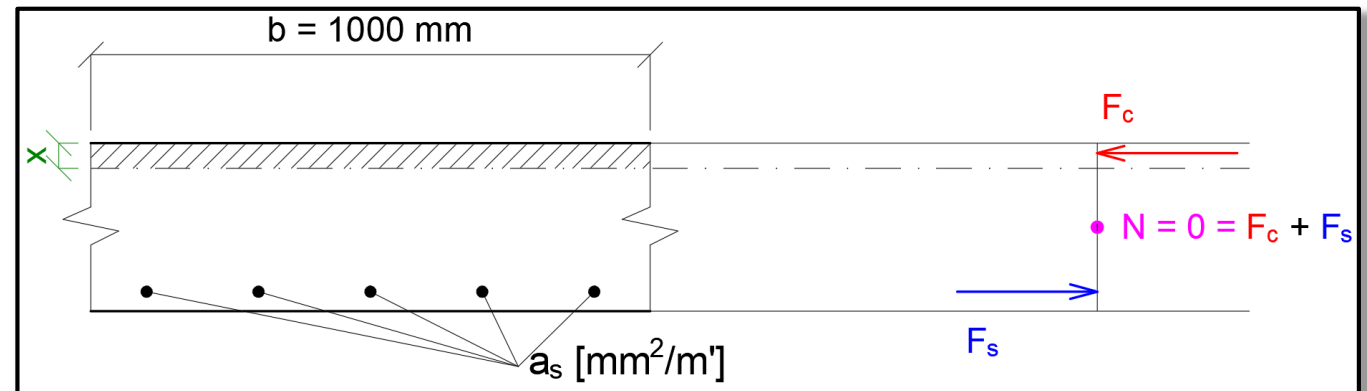
Zároveň víme, že normálová síla v průřezu je sumou všech vnitřních sil v průřezu

$$N = F_c + F_s.$$

A při uvážení směru sil můžeme rovnici vyjádřit jako

$$F_c = F_s,$$

a tedy platí rovnost vnitřních sil*.



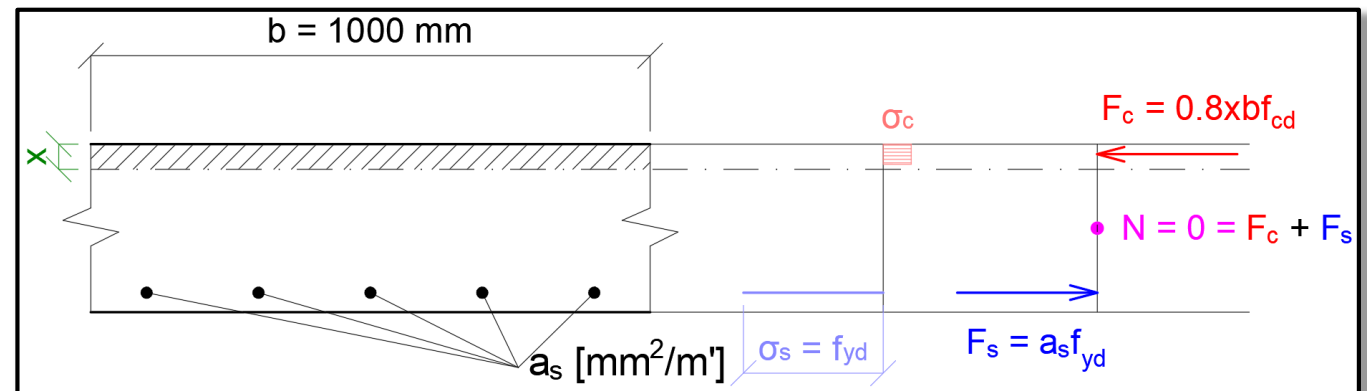
Výška tlačené oblasti

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 a ověření zásad
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) **Ověření předpokladů výpočtu**
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) Posouzení průřezu

Ověření předpokladů

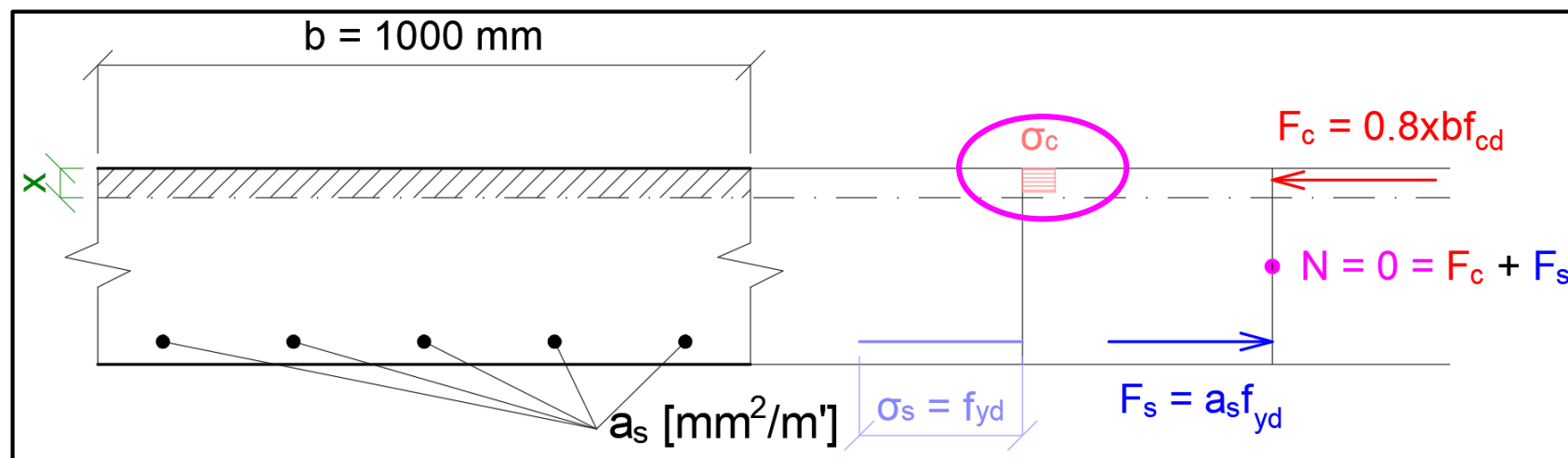
Při předchozích výpočtech jsme uvažovali dva předpoklady, a nyní musíme ověřit, zda skutečně platí.

- 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.

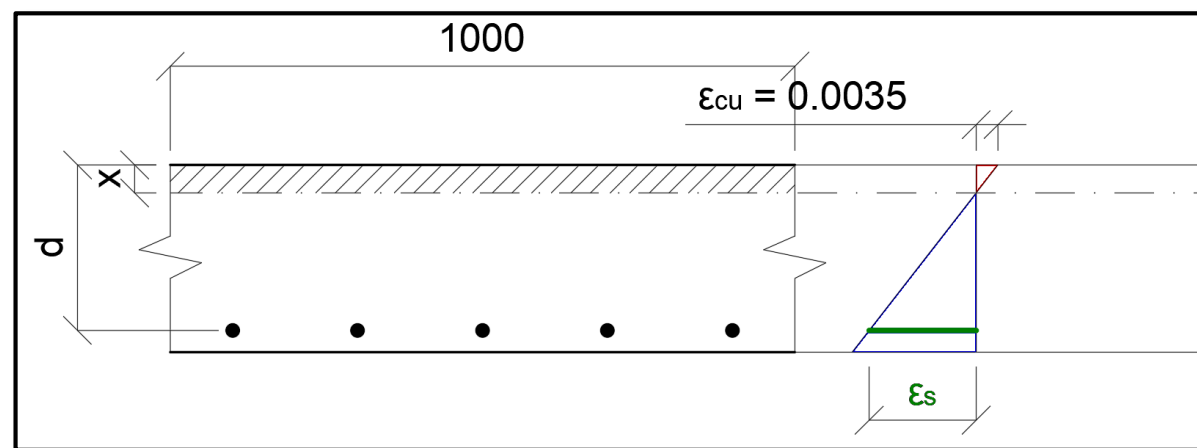
- výztuž je za mezí kluzu,
- beton zplastizoval (chová se plasticky)*.



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.

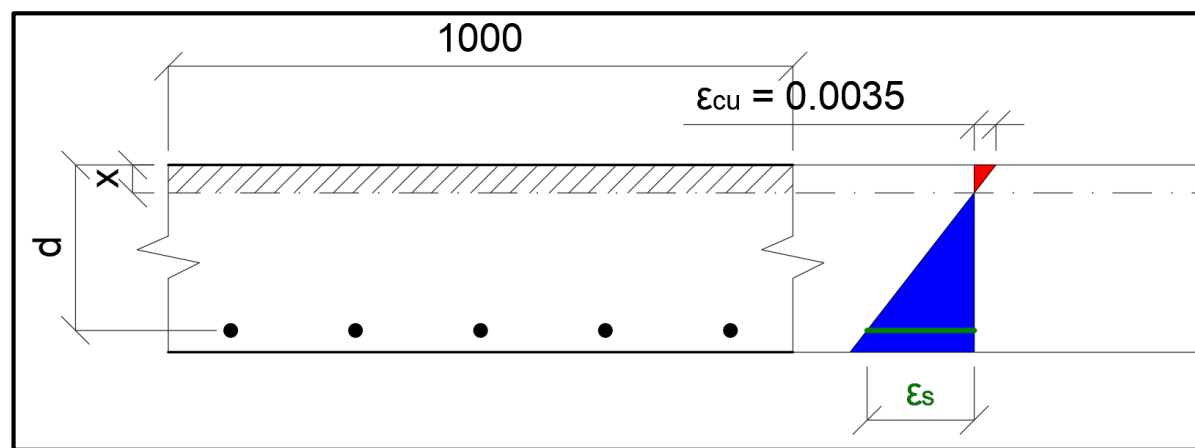
Ověření výztuže za mezí kluzu – přímý výpočet

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

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

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*

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

pak je výztuž za mezí kluzu.

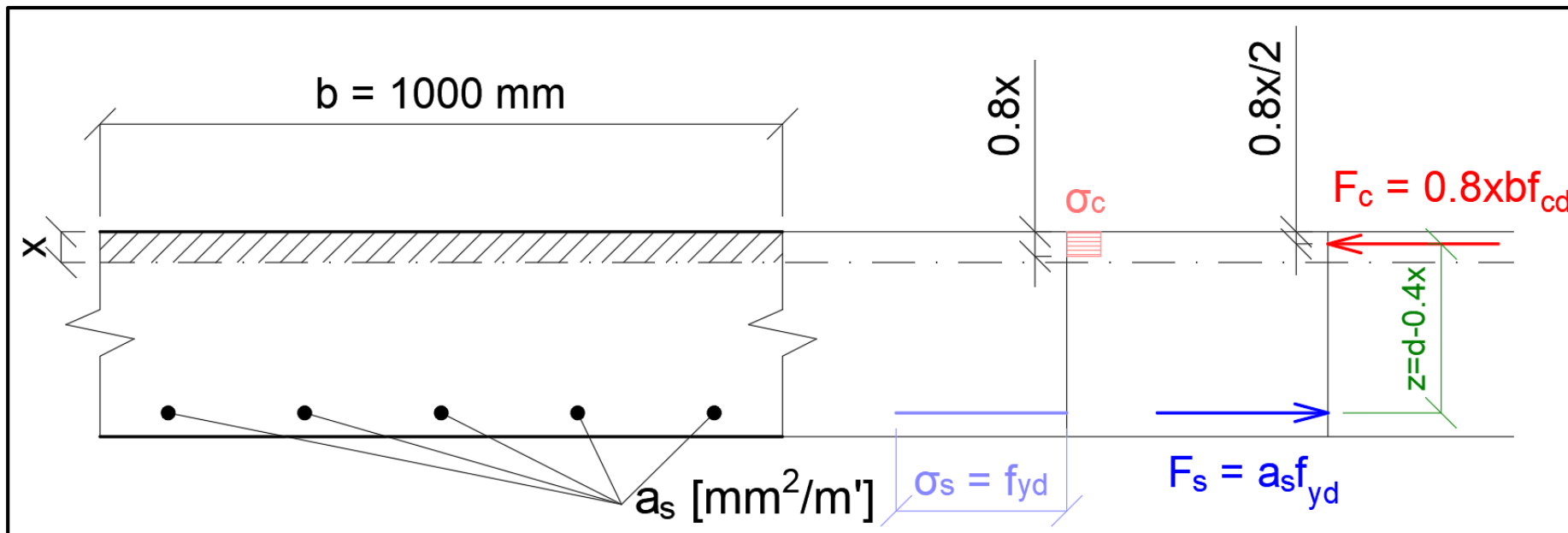
Pokud nerovnost není splněna, pak je nutné upravit návrh (zvětšit výšku, zlepšit beton atd.) a znovu spočítat d a x .

Postup výpočtů

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

Moment únosnosti M_{Rd}

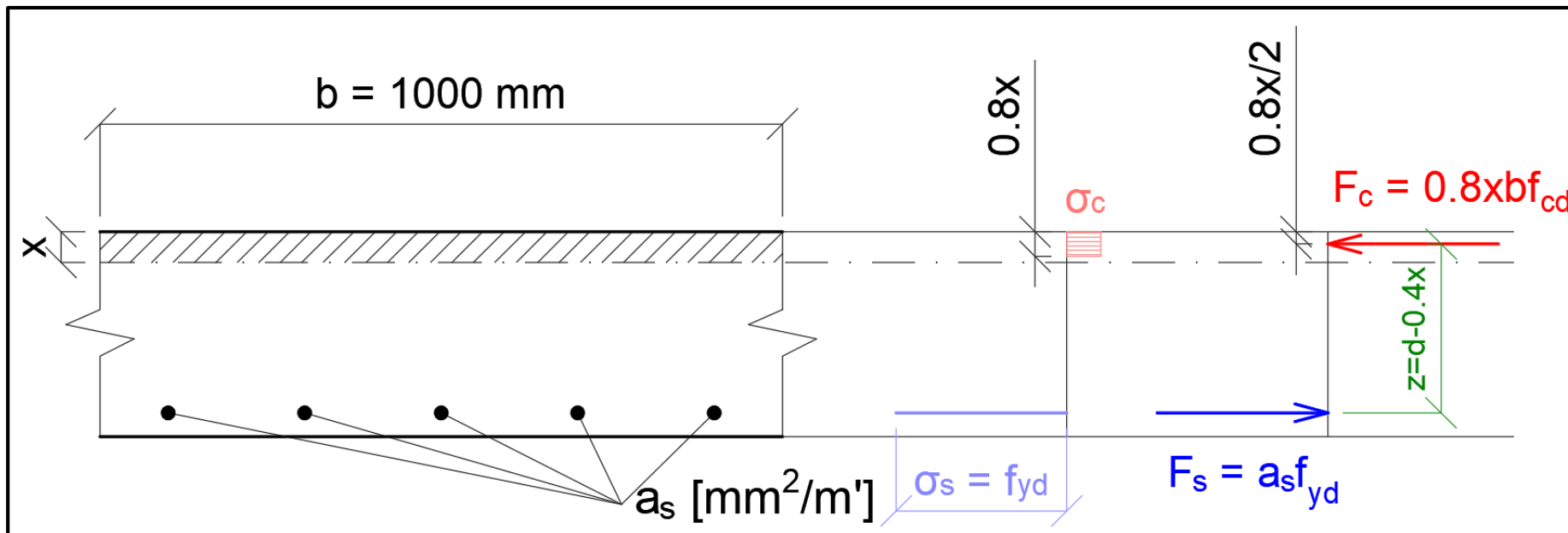
Moment únosnosti průřezu M_{Rd} je roven momentovému účinku vnitřních sil na mezi únosnosti průřezu*. Jak určíme ten momentový účinek?



Moment únosnosti M_{Rd}

Momentový účinek vnitřních sil získáme vynásobením působící síly na jejím rameni

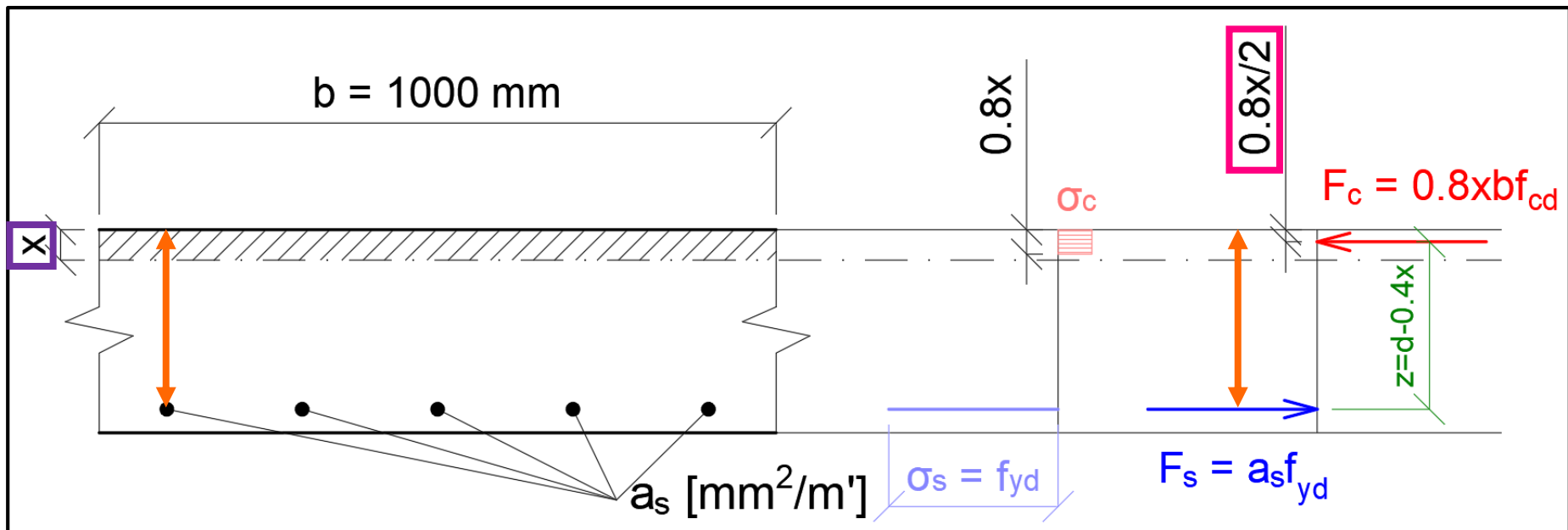
$$M_{Rd} = F_c z = F_s z = f_{yd} a_{s,prov} z.$$



Rameno vnitřních sil z

Známe-li 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 a ověření zásad
- 4) Stanovení předpokladů výpočtu
- 5) Výpočet výšky tlačené oblasti
- 6) Ověření předpokladů výpočtu
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil a momentu únosnosti
- 8) **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 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 - SHRNUÍ

- 1) Volba materiálů a výpočet návrhových hodnot pevností f_{ck}, f_{yk}
- 2) Návrh geometrie průřezu a výpočet účinné výšky h, d
- 3) Návrh výztuže $\varnothing, s, a_s = \frac{1000}{s} \cdot \frac{\pi \varnothing_s^2}{4}$
- 4) Výpočet výšky tlačené oblasti $x = \frac{a_{s,prov} f_{yd}}{0.8 \cdot b f_{cd}}$
- 5) Ověření přetvoření výztuže $0.0035 \frac{d-x}{x} \geq f_{yd}/E_s$
- 6) Výpočet síly ve výztuži $F_s = a_{s,prov} f_{yd}$
- 7) Výpočet ramene vnitřních sil $z = d - 0.4x$
- 8) Výpočet momentu únosnosti $M_{Rd} = F_s z$

II. Návrh konstrukční výztuže

Konstrukční výztuž desky

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

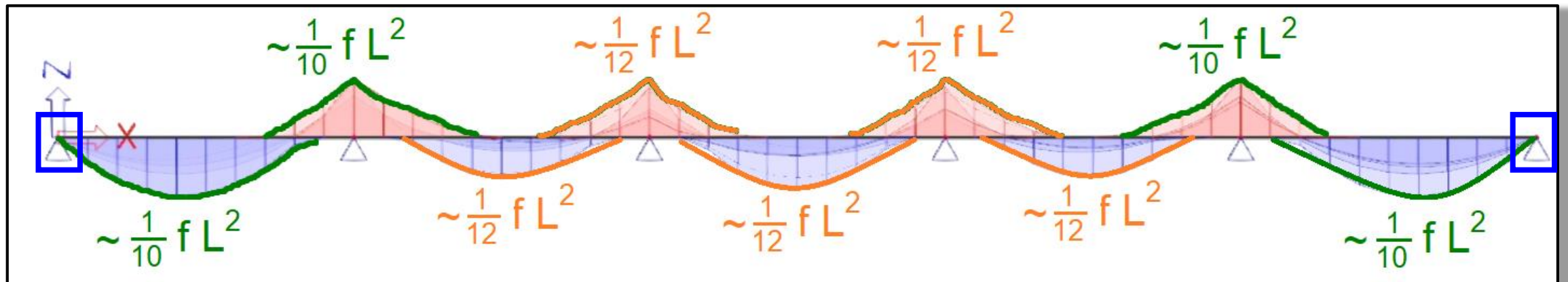
U naší desky navrhujeme:

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

Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

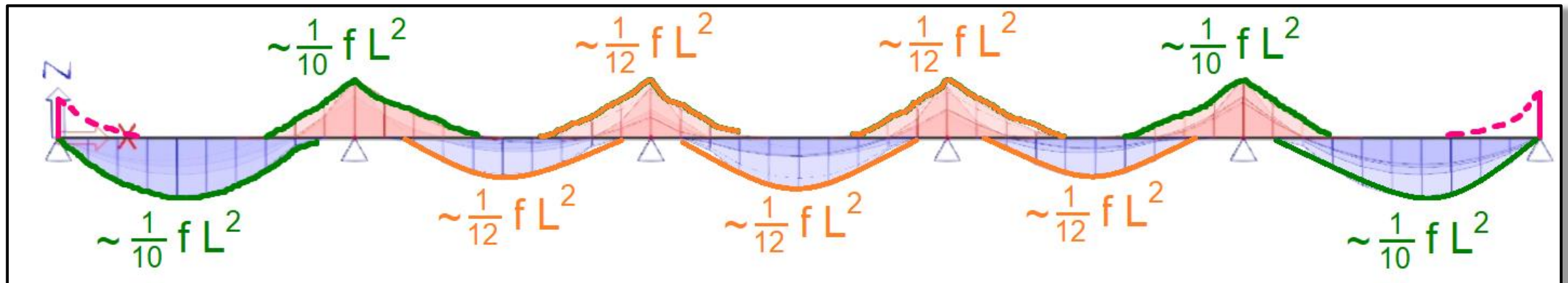
Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

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



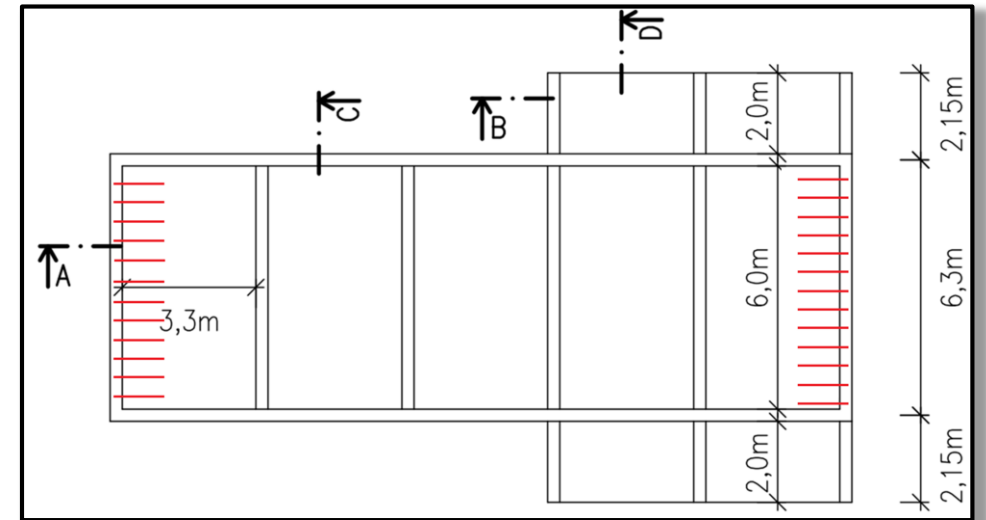
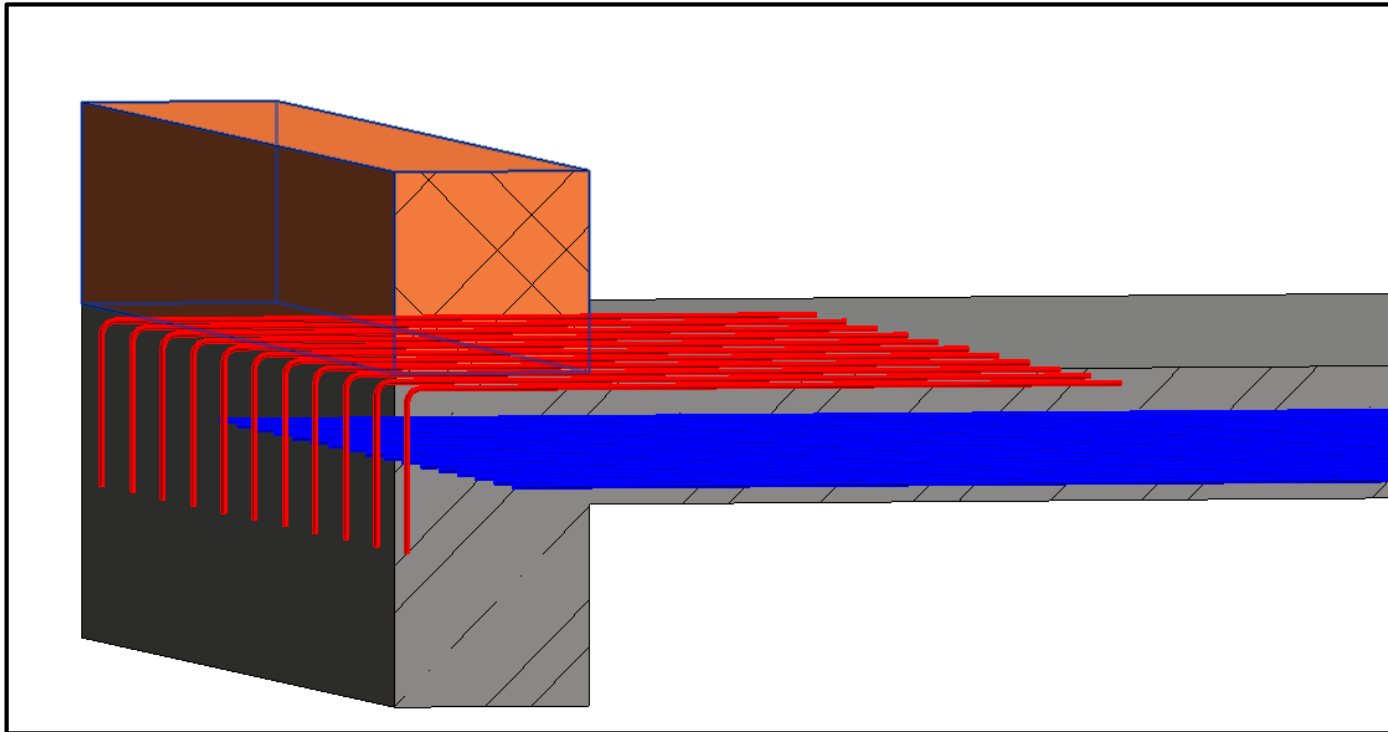
Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

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.

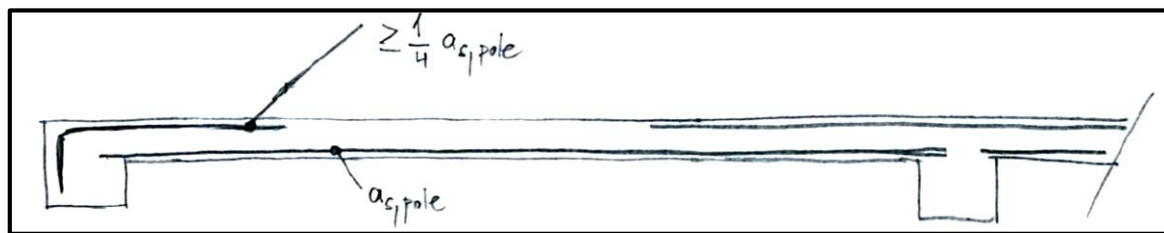
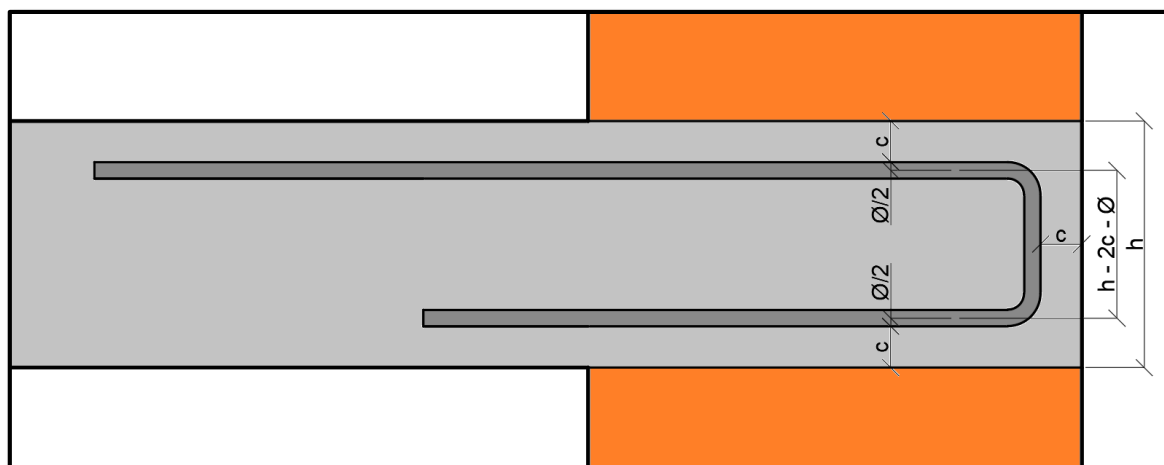
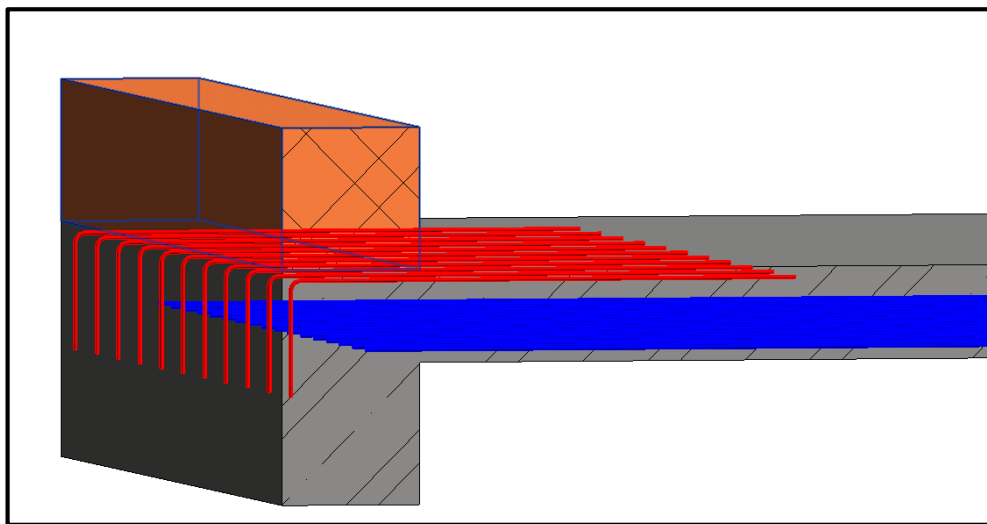


Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

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

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

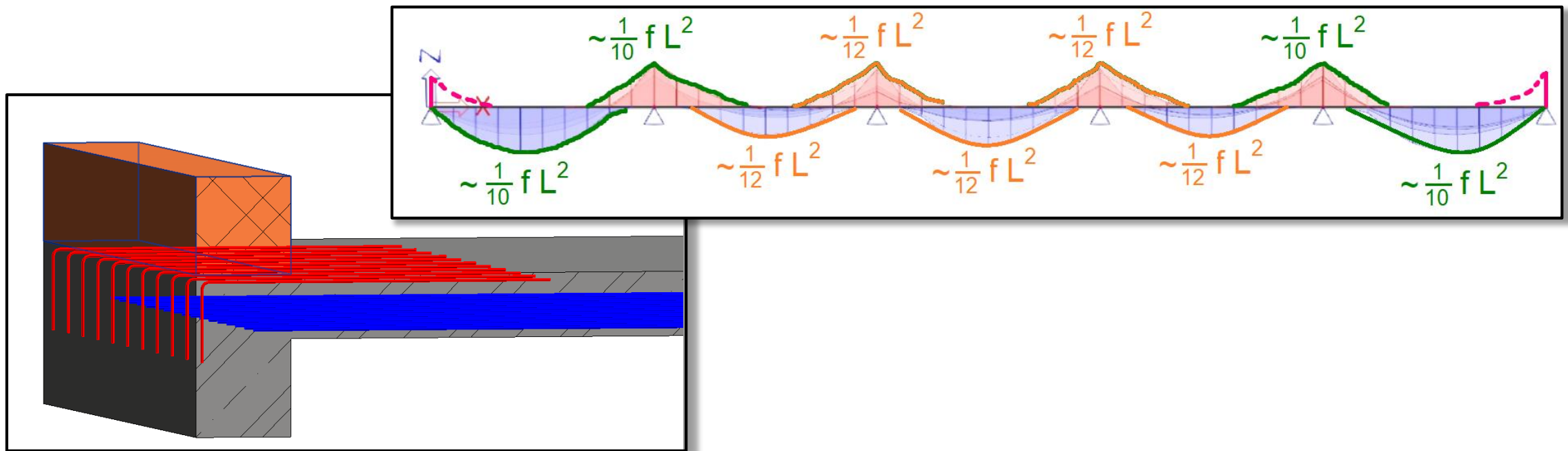
$$s_{hor} \leq s_{max} = \min(2h, 250 \text{ mm}).$$



Teorie navíc

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 $\varnothing_{hor} = 8 \text{ mm}$.



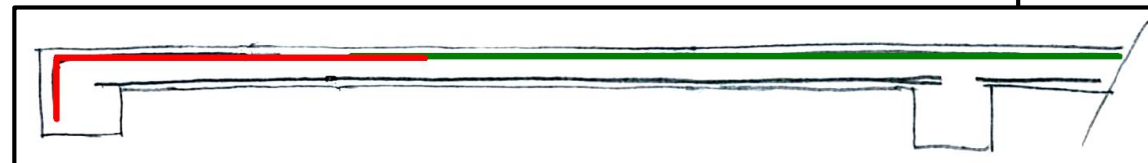
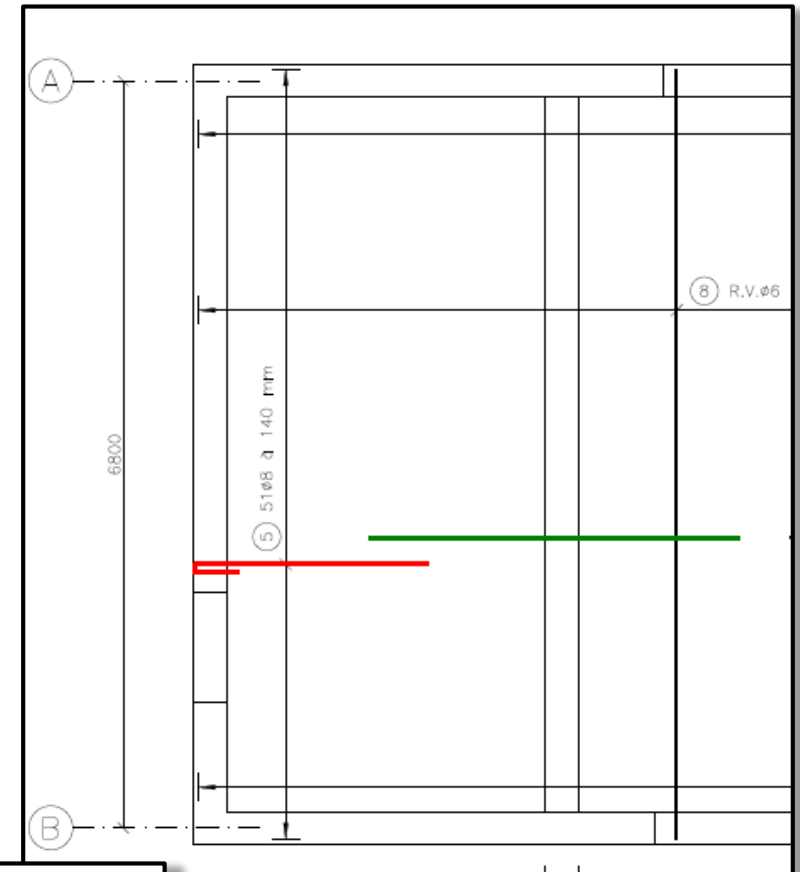
*proto je taky pravidlo pro rozteč výztuže ($s_{max} = \min(2h, 250 \text{ mm})$) stejné jako u hlavní nosné výztuže.

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.

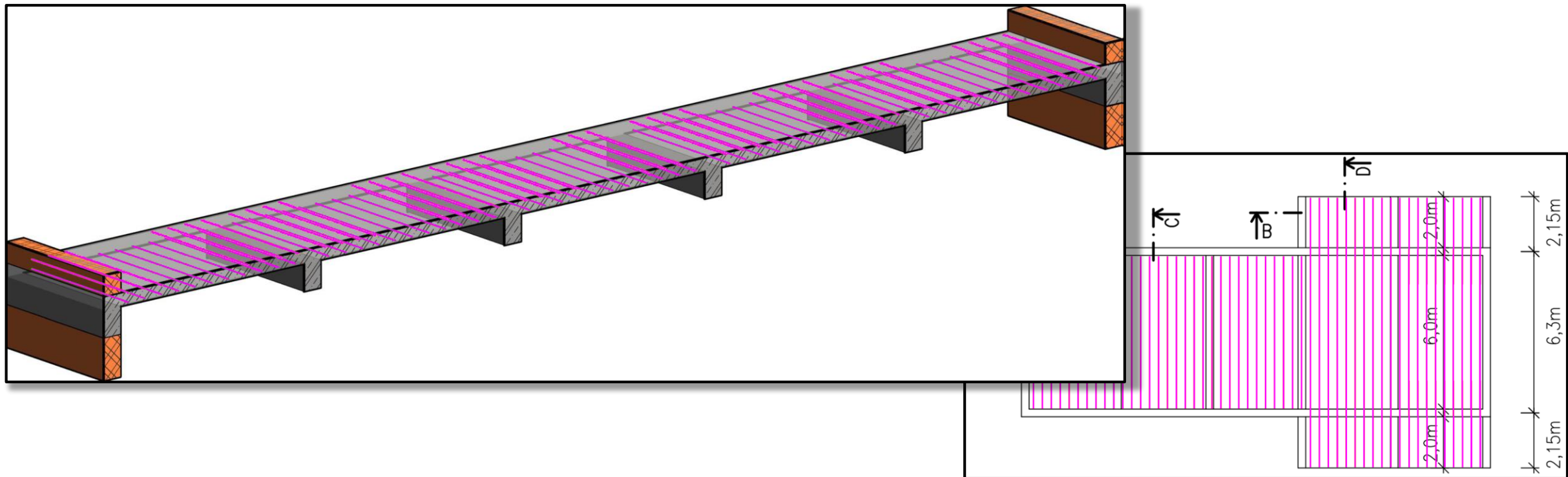
Klíčové slovo je VHODNÉ. Doporučení nemusíme splnit, pokud by to způsobovalo nějaké další problémy – např. pokud by to znamenalo, že návrh bude hodně neekonomický.



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 navrhne ve tvaru

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

Rozdělovací výztuž musí splňovat podmínky

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

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

Teorie navíc

Rozdělovací výztuž

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

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

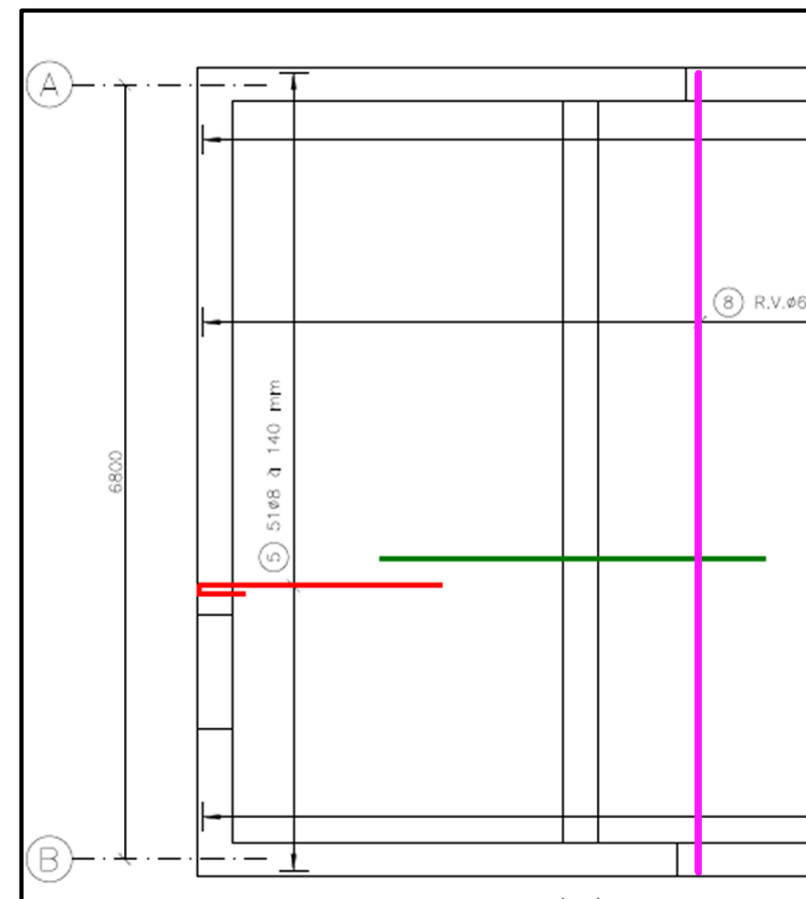
Rozteč výztuže může být větší než u hlavní nosné výztuže. Rozteč rozdělovací výztuže musí být menší než $\min(3h; 400 \text{ mm})$.

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.

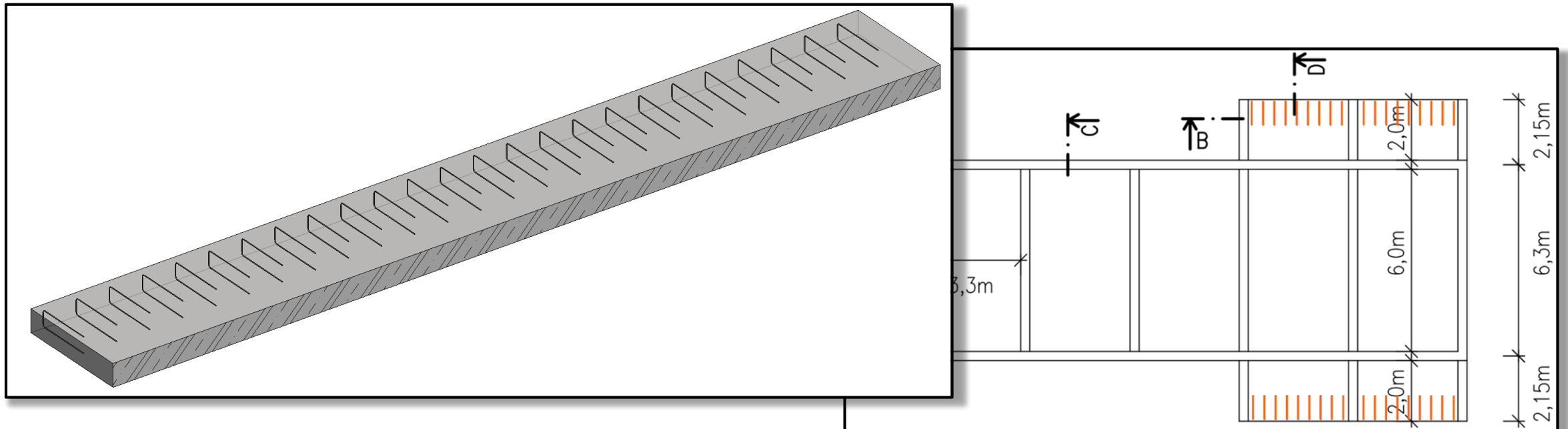


Lemovací výztuž

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.



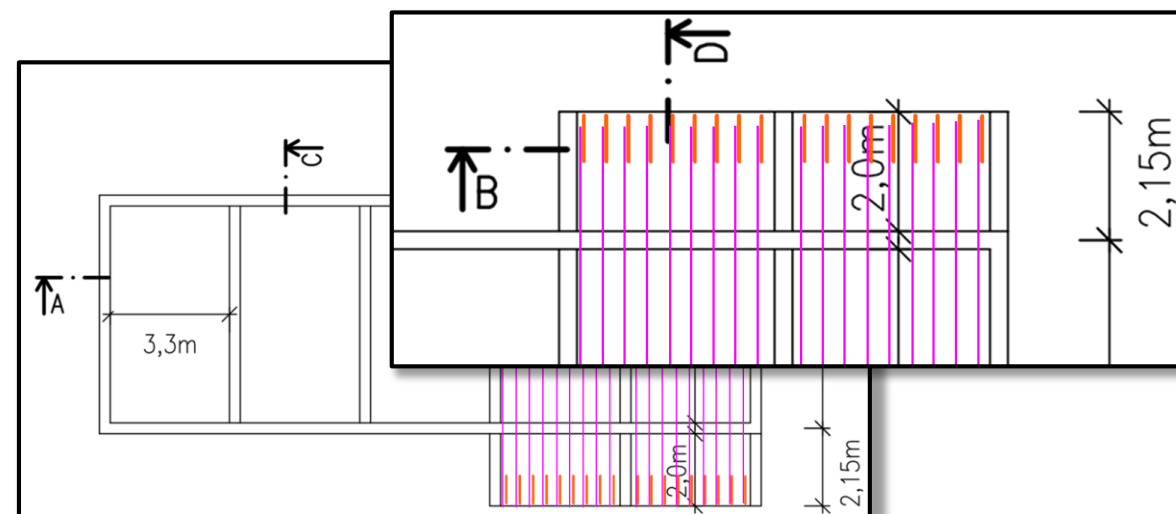
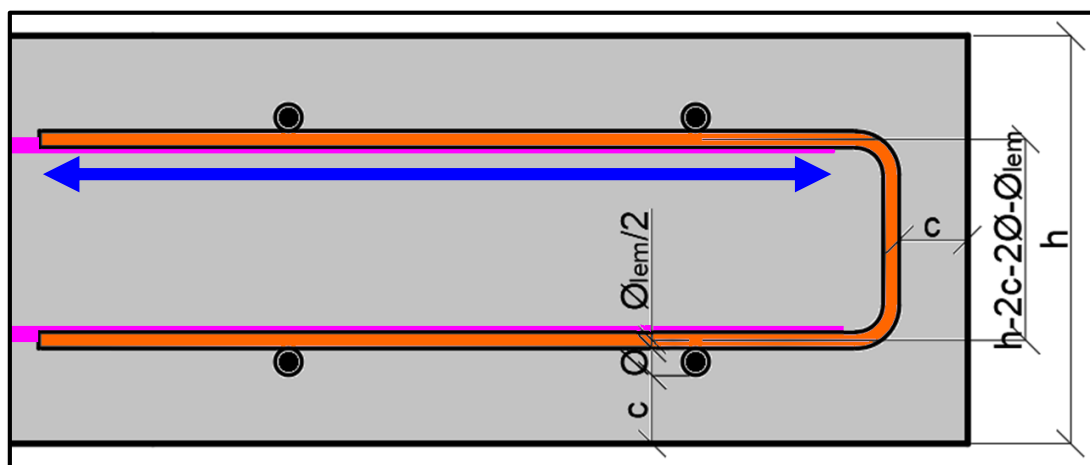
*Tj. kraj desky, který nepokračuje do nějaké konstrukce (trámu, stěny). Je to vlastně místo, kde je betonový povrch vystaven vzduchu.

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 $2h$.



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.

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