



*Úloha 2 – Železobetonový trémový strop*

# Návrh a posouzení výztuže desky

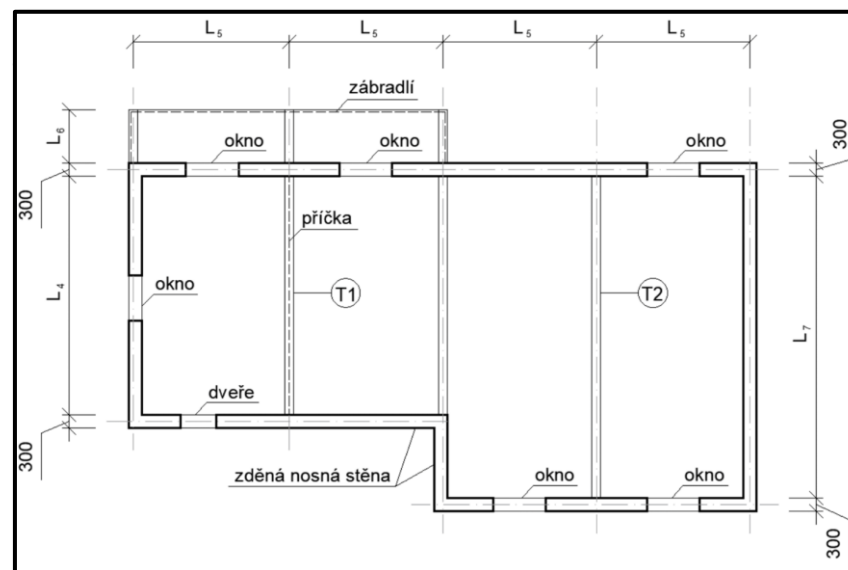
Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (paralelka Štefan)

# 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“.

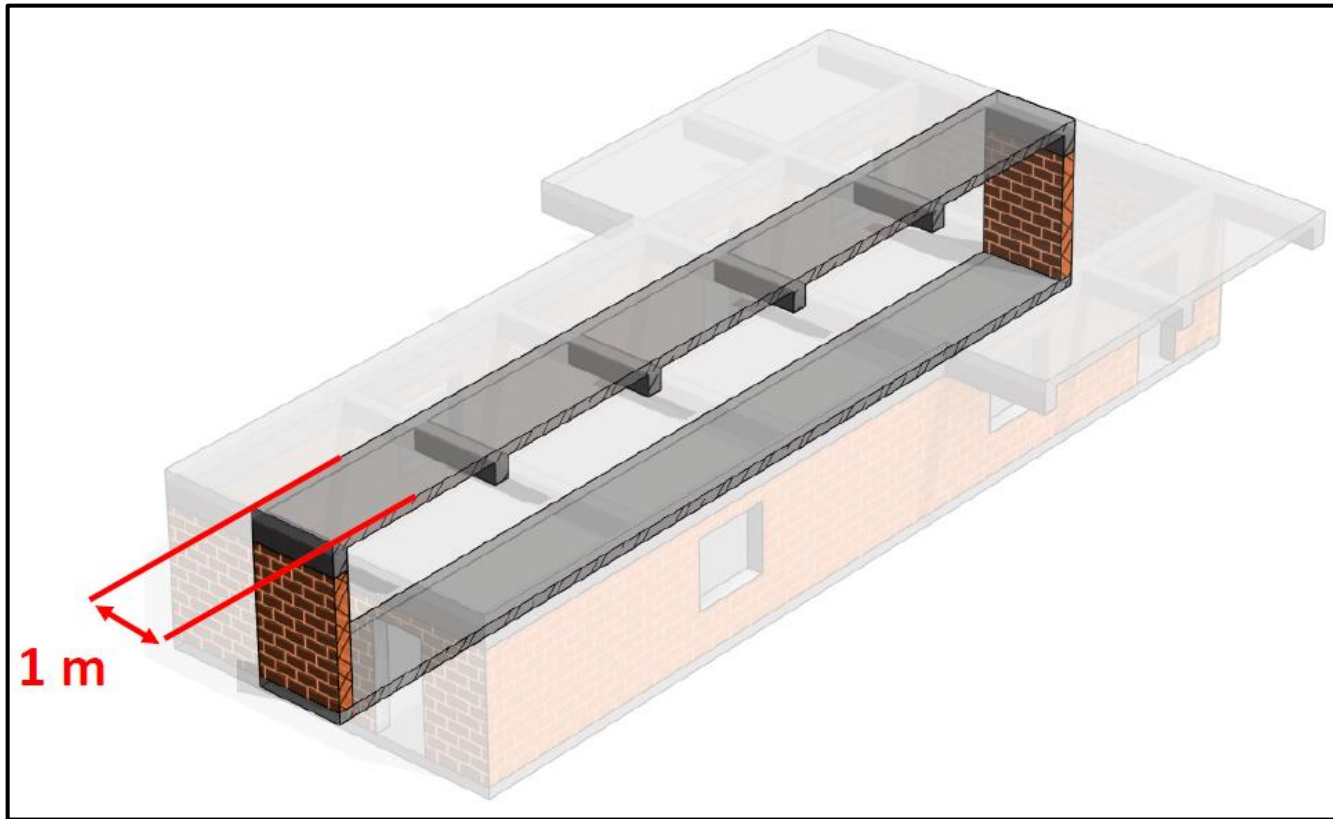
# Návrh nosné výztuže a posouzení desky

*Návrh nosné výztuže a posouzení desky*  
Řešený průřez desky



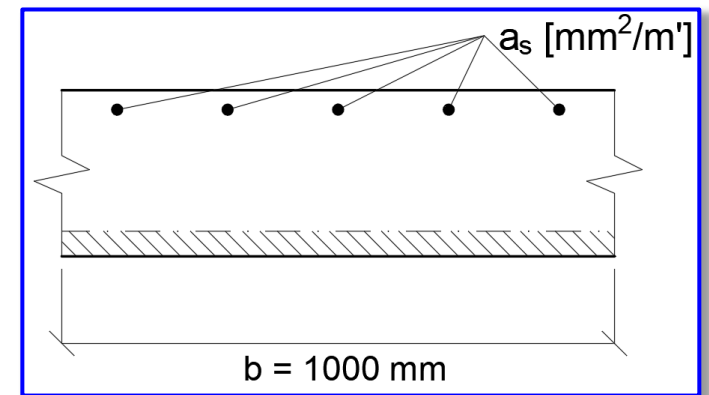
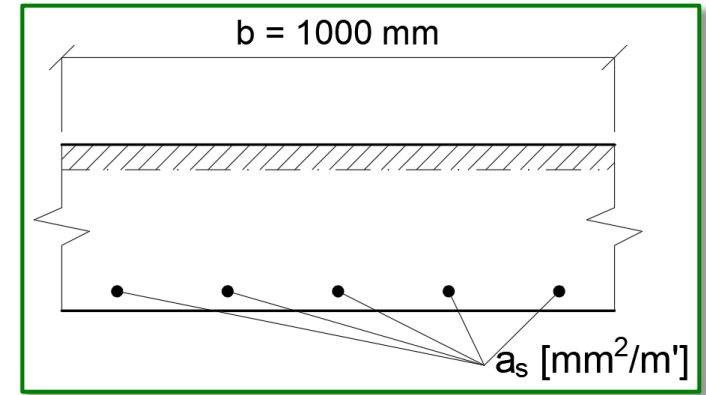
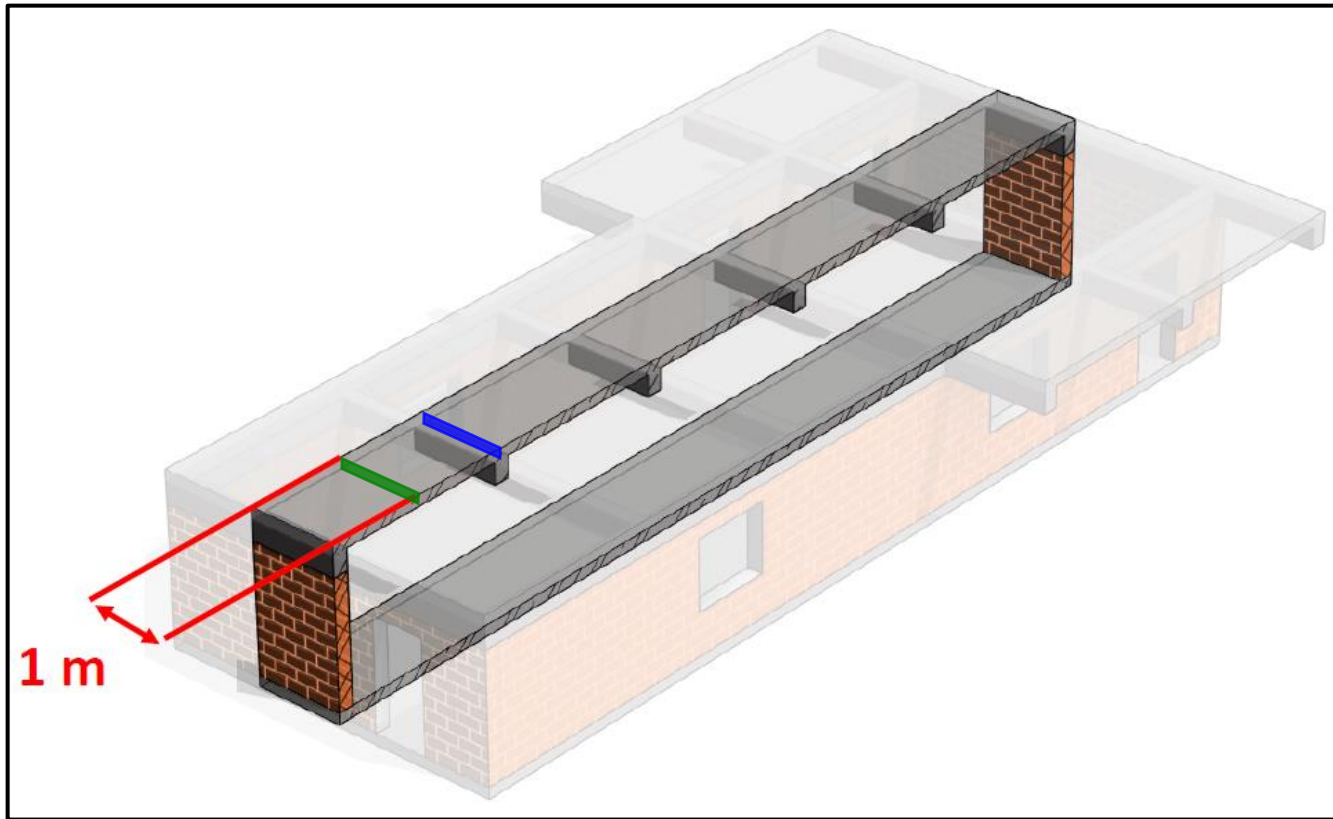
# Řešený průřez desky

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



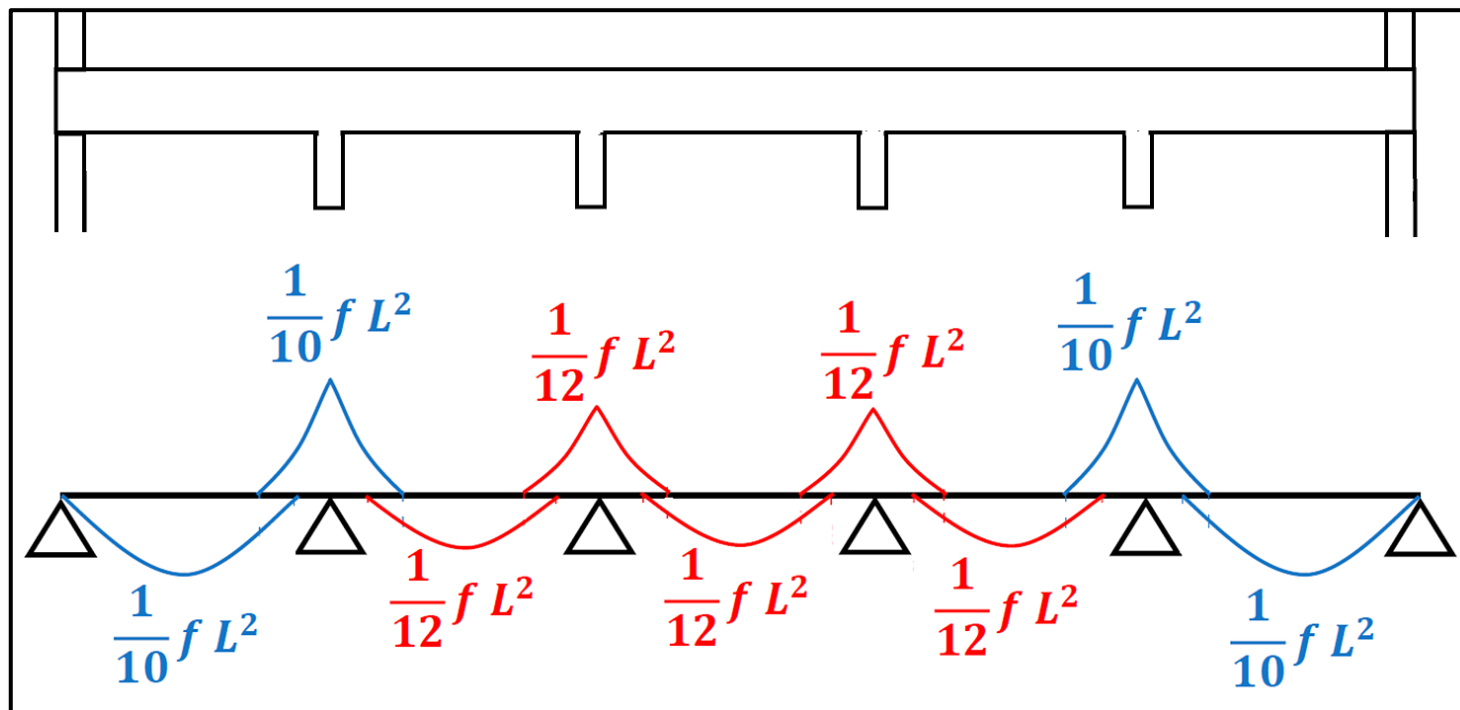
# Řešený průřez desky

A do toho jednoho metru šířky budeme navrhovat výztuž.



# Řešený průřez desky

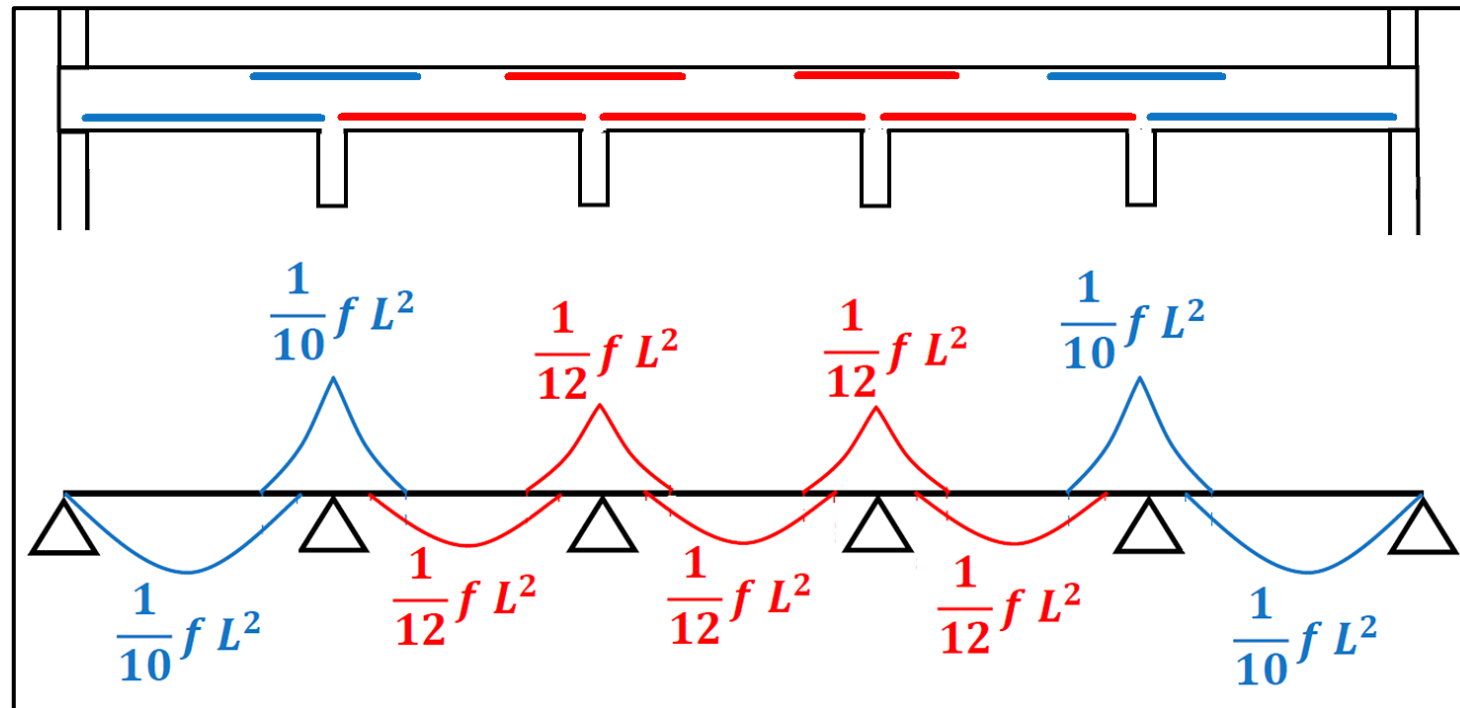
Na desce nám působí ohybové momenty. Desku musíme vyztužit tak, aby tyto ohybové momenty byla schopná přenést.



# Řešený průřez desky

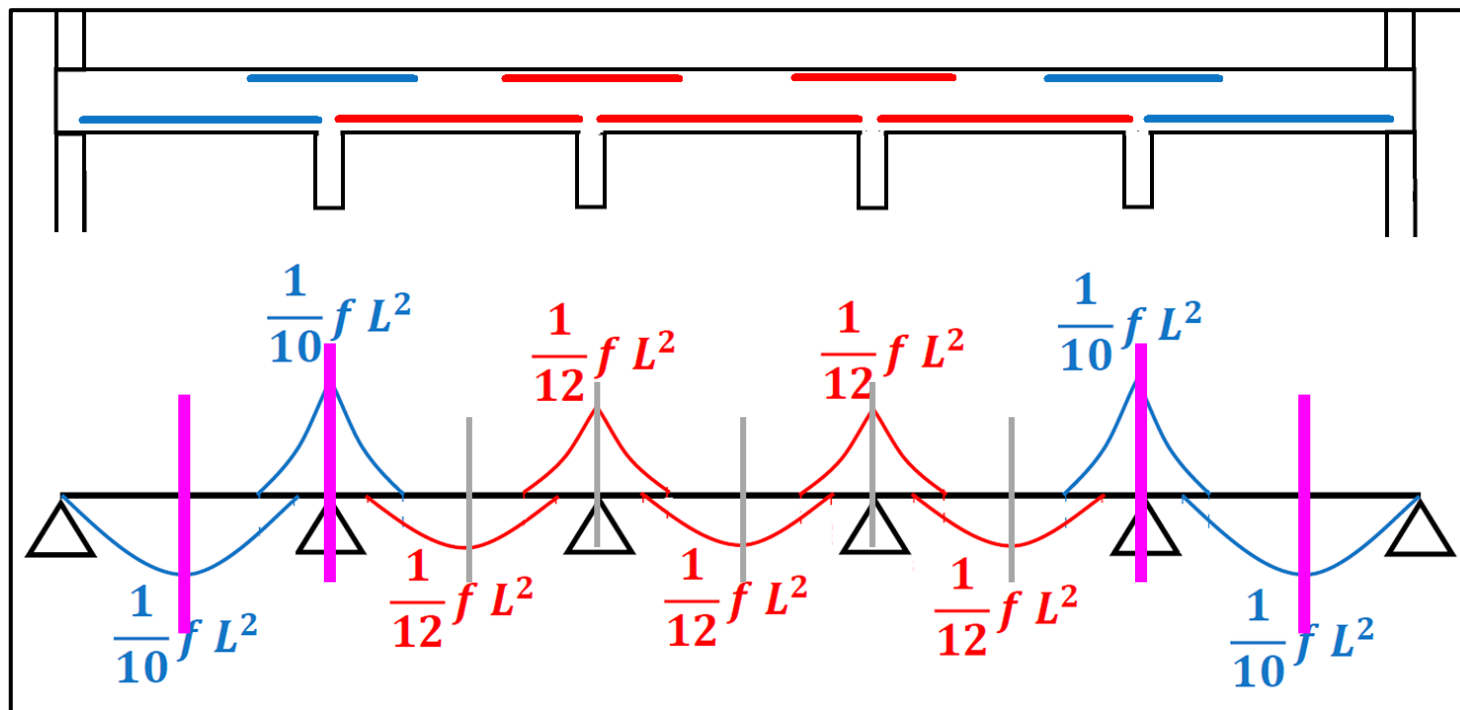
Výztuž musíme dát ke každému taženému\* povrchu. Momenty vždy kreslíme na stranu tažených vláken.

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

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

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

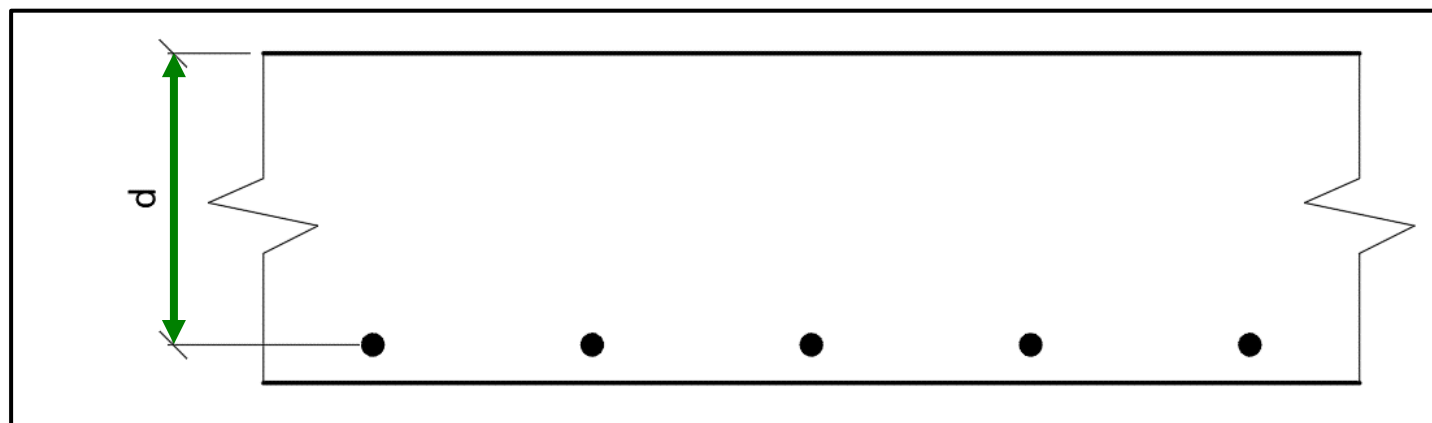
# Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu**
- 3) Návrh výztuže 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

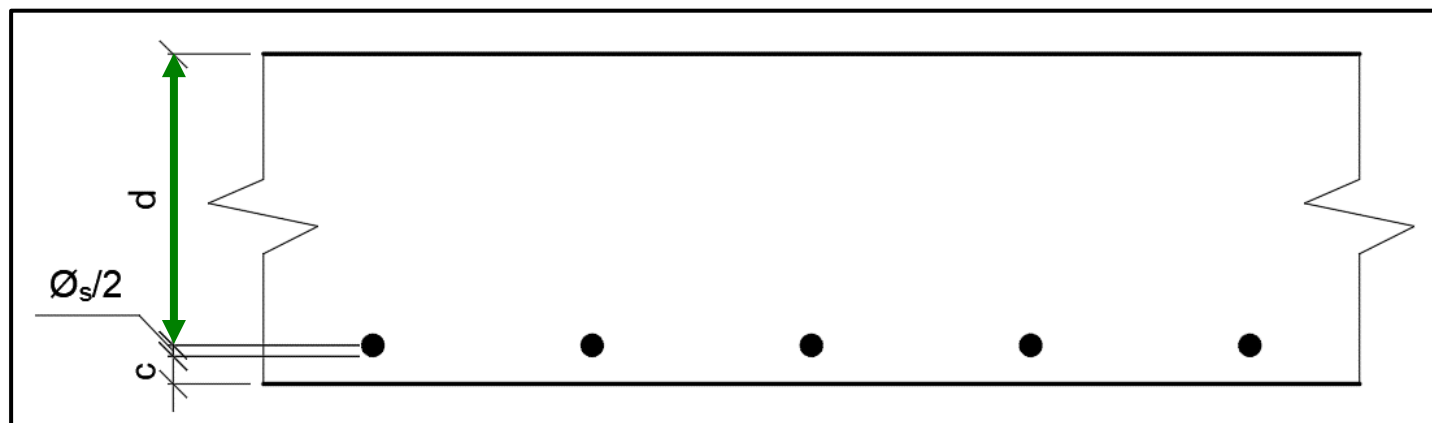
Pro vyjádření polohy výztuže se používá rozměr zvaný **účinná výška průřezu  $d$** , která se určí ze vztahu

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

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 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	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 8mm v tyčích	m	0,40 kg	24,36 / 29,48 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 10mm v tyčích	m	0,62 kg	35,96 / 43,51 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 12mm v tyčích	m	0,89 kg	49,04 / 59,34 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 14mm v tyčích	m	1,21 kg	67,36 / 81,51 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 16mm v tyčích	m	1,58 kg	87,95 / 106,42 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 18mm v tyčích	m	2,00 kg	110,20 / 133,34 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 20mm v tyčích	m	2,47 kg	136,10 / 164,68 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 22mm v tyčích	m	2,98 kg	164,20 / 198,68 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 25mm v tyčích	m	3,85 kg	212,14 / 256,69 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 28mm v tyčích	m	4,83 kg	266,13 / 322,02 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>
Ocel betonářská 32mm v tyčích	m	6,31 kg	347,68 / 420,69 Kč	<a href="#">Detail zboží</a>

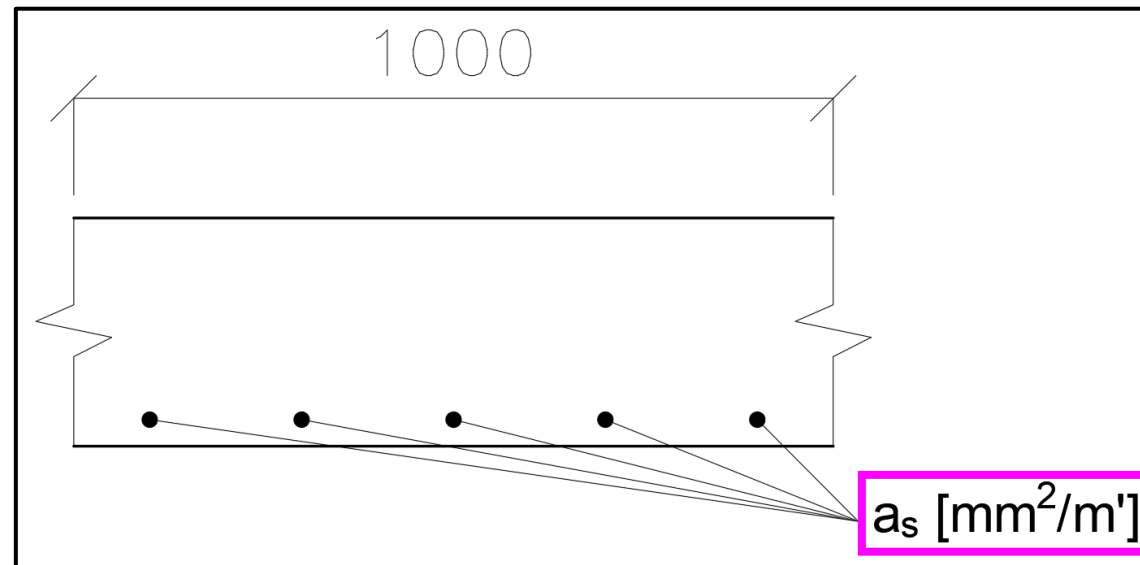
\* Z hlediska použitelnosti konstrukce (průhyb, šířka trhlin) je vždy lepší navrhovat menší průměry výztuže s menší roztečí (tj. více prutů) než větší průměry výztuže s větší roztečí (tj. méně prutů).

# Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) **Návrh výztuže** a ověření konstrukčních 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 – 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.

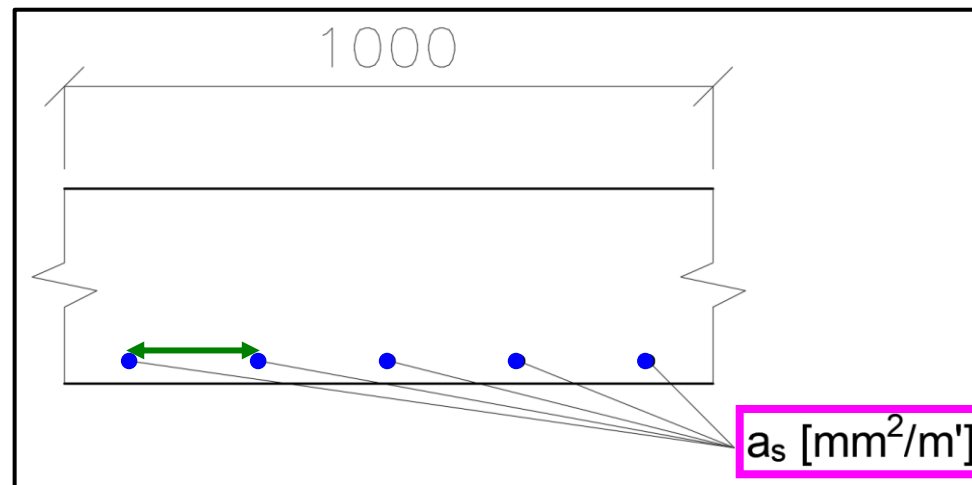
# Návrh výztuže – skutečná výztuž

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  $Z$  mm<sup>2</sup>/m'.)“

a zapisujeme ve tvaru

$\varnothing X$  po  $Y$  mm ( $a_{s,prov} = Z$  mm<sup>2</sup>/m').



# Návrh výztuže – skutečná výztuž

Skutečnou výztuž navrhujeme tak, aby **skutečná plocha výztuže**  $a_{s,prov}$  byla **větší než požadovaná plocha výztuže**  $a_{s,req}$  (např.  $a_{s,req} = 600 \text{ mm}^2/\text{m}'$ ).

Celková plocha výztuže v závislosti na průměru a rozteči prutů [mm <sup>2</sup> /m']									
		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 (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 <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]							
		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  $a_{s,req}$ .

		Celková plocha výztuže v závislosti na průměru a rozteči prutů [mm <sup>2</sup> /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 <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]							
		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 ( $a_{s,prov} = Z$  mm<sup>2</sup>/m').



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

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

$$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3} \text{ (pro } f_{ck} \leq 50; \text{ střední hodnota tahové pevnosti betonu),}$$

$f_{ck}$  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 – plocha

Skutečná plocha výztuže musí splňovat podmínky pro plochu výztuže

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

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

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

$$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3} \text{ (pro } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa)}$$

$f_{ck}$  je charakteristická

$f_{yk}$  je charakteristická

$b$  je šířka průřezu (1)

$d$  je účinná výška průřezu

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

Tabulka 3.1 – Pevnostní a deformační charakteristiky betonu

	Pevnostní třídy betonu														Analytické vztahy/ vysvětlivky
	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck}$ (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	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1+(f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,2	2,5	2,7	2,9	3	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% kvantil
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% kvantil
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22(f_{cm}/10)^{0.3}$ ( $f_{cm}$ v MPa)

# Ověření konstrukčních zásad – rozteč

Skutečná rozteč výztuže musí splňovat podmínku osově rozteče výztuže

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

kde  $s$  je osová rozteč prutů (máme navrženo – viz výše),

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

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

# Ověření konstrukčních zásad – rozteč

Skutečná rozteč výztuže musí splňovat podmínku světlé rozteče prutů

$$s_{min} \leq s_c,$$

kde  $s_c$  je světlá rozteč prutů ( $s_c = s - \varnothing_s$ ),  
 $s_{min} = \max(20 \text{ mm}, 1.2\varnothing_s, D_{max} + 5 \text{ mm})$ ,  
 $\varnothing_s$  je průměr výztuže (máme navrženo – viz výše),  
 $D_{max}$  je maximální velikost kameniva (uvažujeme 16 mm).

# 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	$\leq 400$ mm	$\leq 3h$ $\leq 400$ 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 <sup>2</sup>
	Max. podélná vzdálenost třmínků	$s_{l,max} = 0,75d(1+\cot\alpha)$ a současně $\leq 400$ mm ; pro tlačnou výztuž 15 $\phi$ ; 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	-	$\leq 400$ 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;  $f_{yd}$  - návrhová hodnota meze kluzu výztuže;  $\phi_{max}$  - maximální průměr podélné výztuže;  $b$  - šířka průřezu;  $\alpha$  - úhel svírající třmínky (ohyby) s podélnou osou prvku;  $d$  - obvod betonového průřezu; ploše  $A_c$ ;  $d_g$  průměr největšího zrna kamene;  $l$  - 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  $a_{s,max}$ .

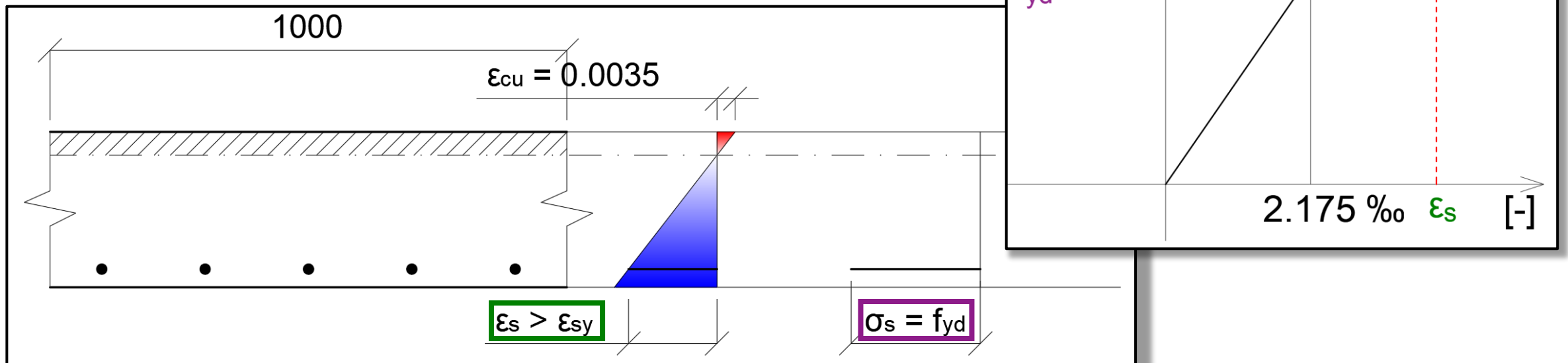
# Postup výpočtů

- 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  $f_{yd}$** .

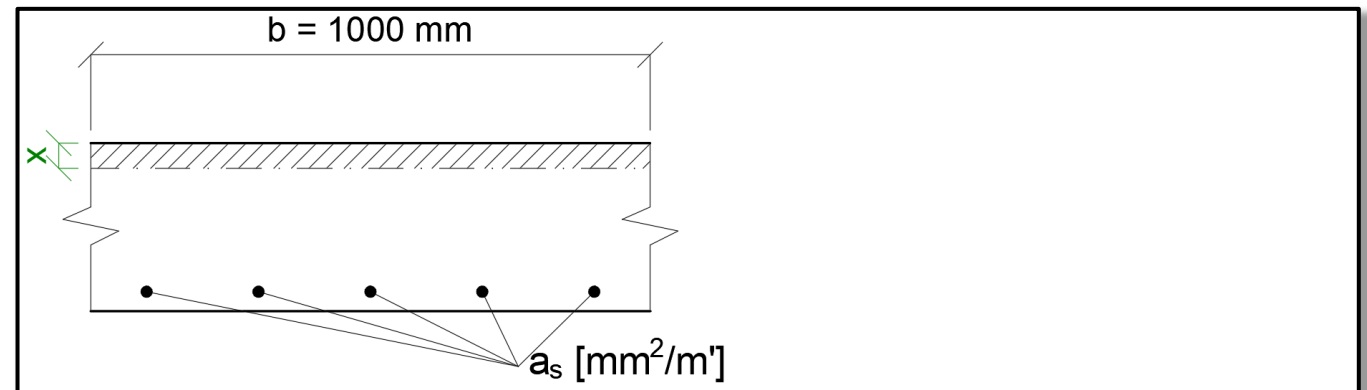


# Postup výpočtů

- 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

$$N = 0.$$

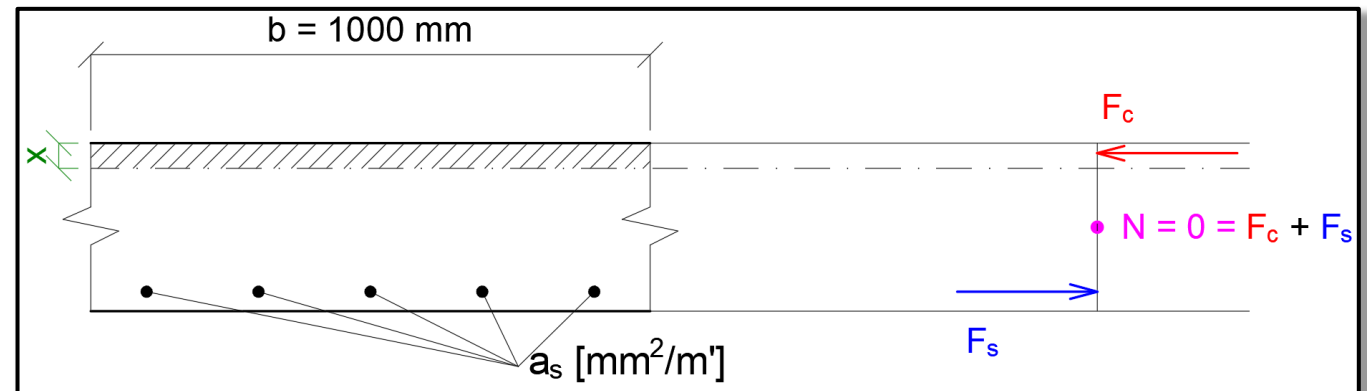
Zároveň víme, že normálová síla v průřezu je sumou všech vnitřních sil v průřezu

$$N = F_c + F_s.$$

A při uvážení směru sil můžeme rovnici vyjádřit jako

$$F_c = F_s,$$

a tedy platí rovnost vnitřních sil\*.



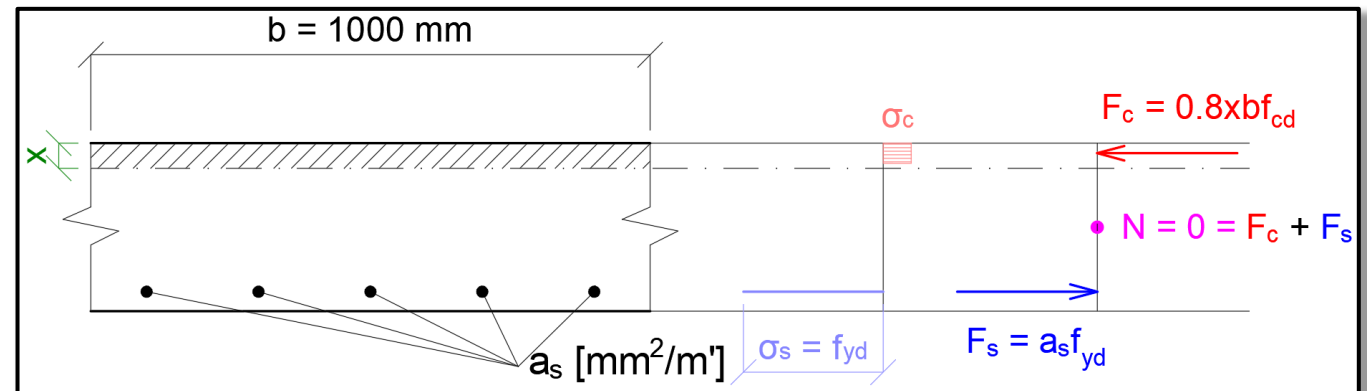
# Výška tlačené oblasti

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

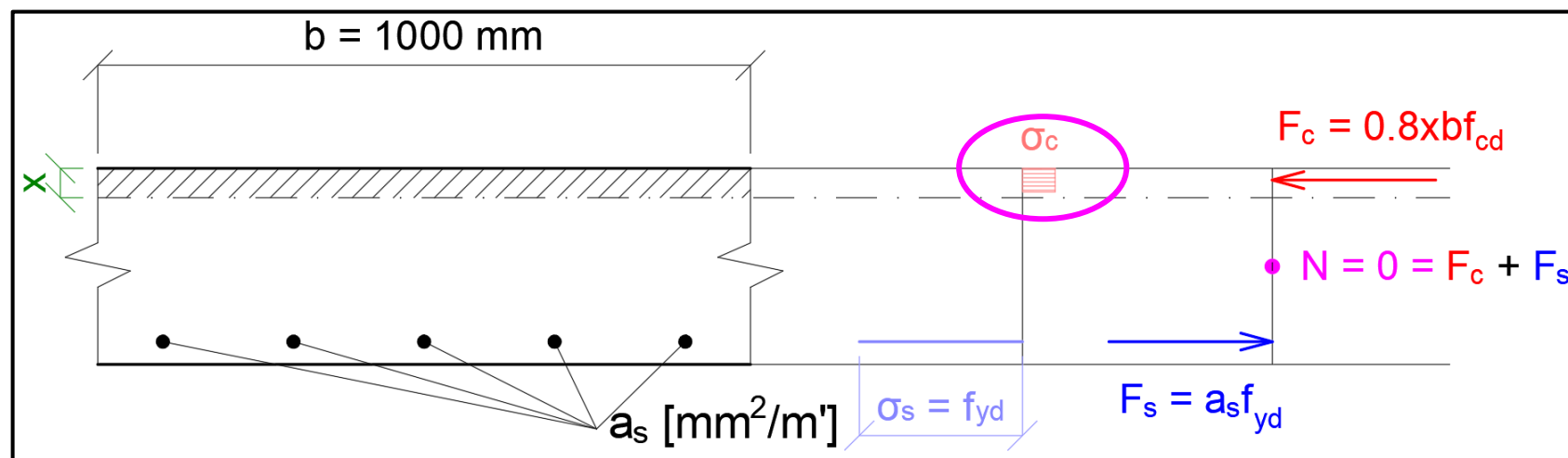
Při předchozích výpočtech jsme uvažovali dva předpoklady, a nyní musíme ověřit, zda skutečně platí.

- 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)\*.

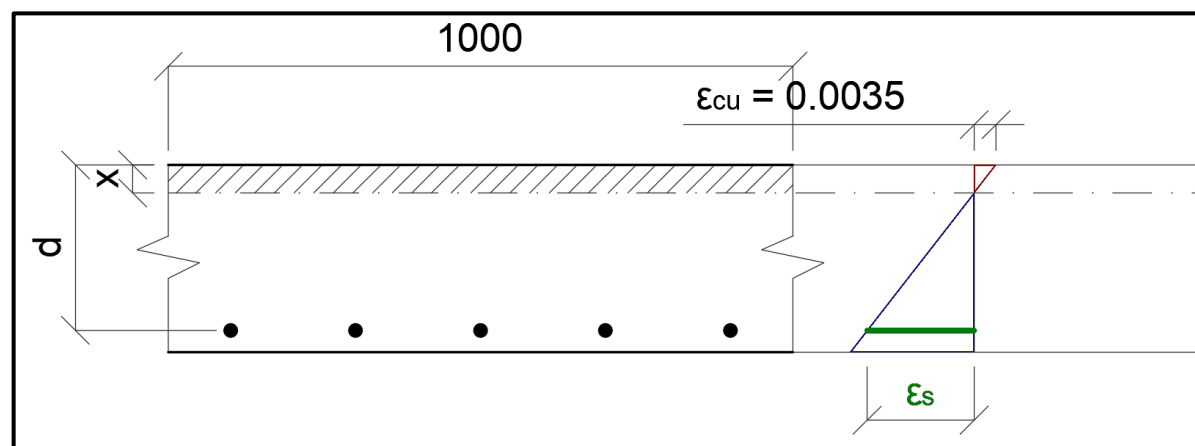




# Ověření výztuže za mezí kluzu – přímý výpočet

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.

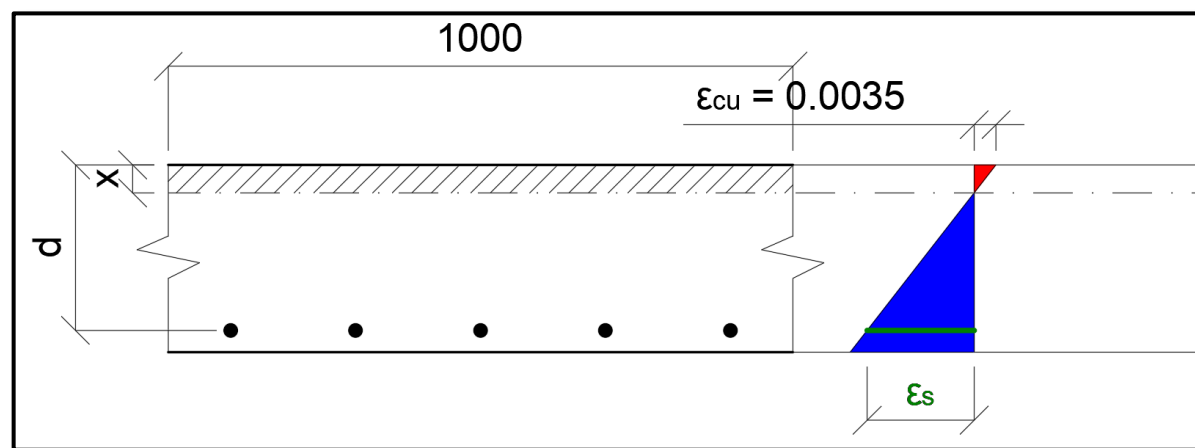
# Ověření výztuže za mezí kluzu – přímý výpočet

My už známe polohu výztuže  $d$ , výšku tlačené oblasti  $x$  a přetvoření v krajních vláknech  $\varepsilon_{cu}$ , 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**  $\varepsilon_s$  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  $\varepsilon_s$ ) 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  $\varepsilon_s$  (složitější výpočet),
- upravit návrh tak, aby výztuž byla za mezí kluzu (zvětšit výšku, zlepšit beton, ...) a znovu spočítat  $d$ ,  $x$  a  $\varepsilon_s$ .

**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\*

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

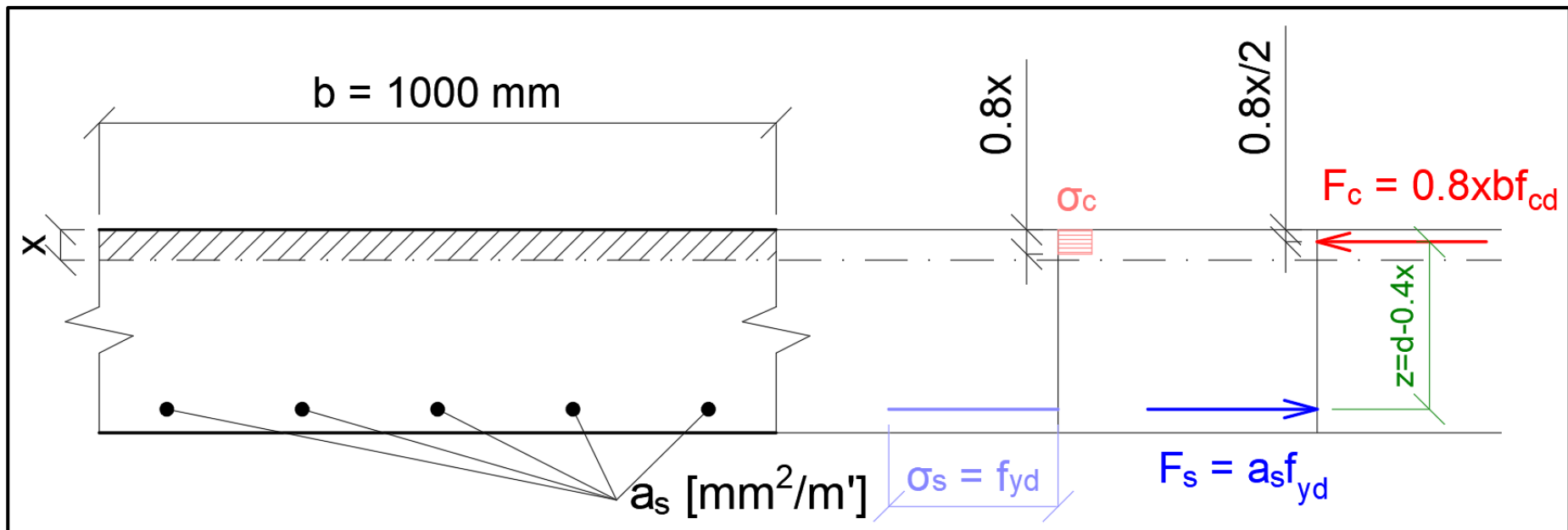
Pokud nerovnost není splněna, pak je nutné upravit návrh (zvětšit výšku, zlepšit beton atd.) a znovu spočítat  $d$  a  $x$ .

# Postup výpočtů

- 1) Definování materiálových vlastností
- 2) Definování geometrie průřezu
- 3) Návrh výztuže 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?

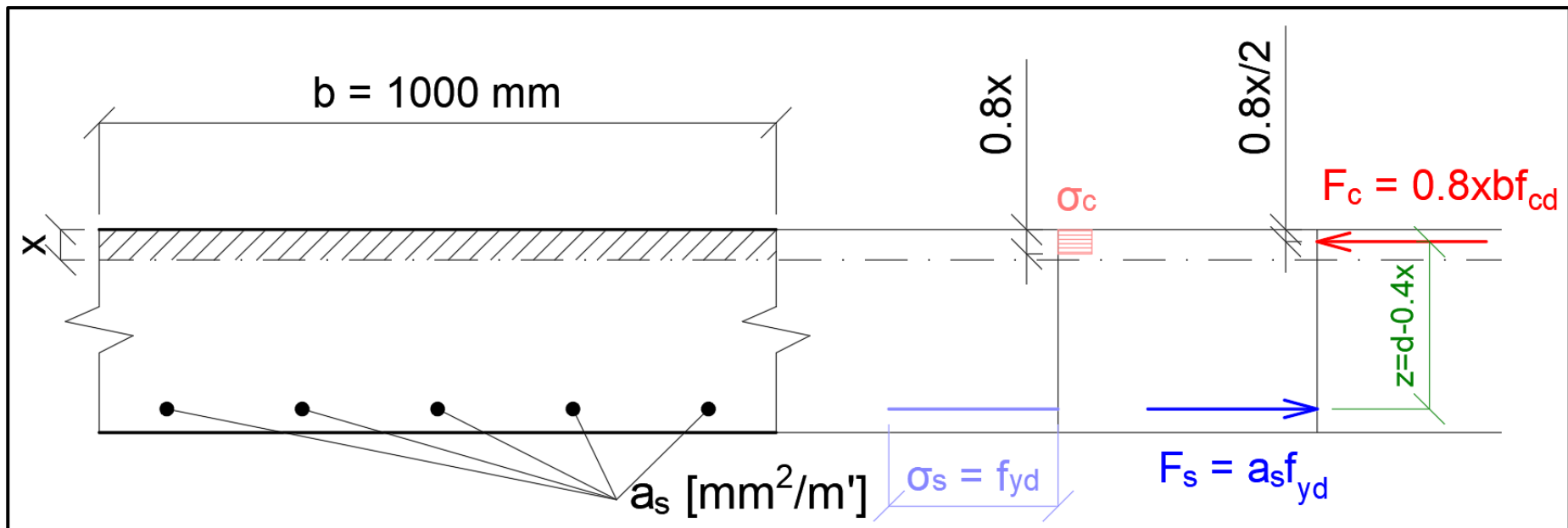




# Moment únosnosti $M_{Rd}$

Momentový účinek vnitřních sil získáme vynásobením působící síly na jejím rameni

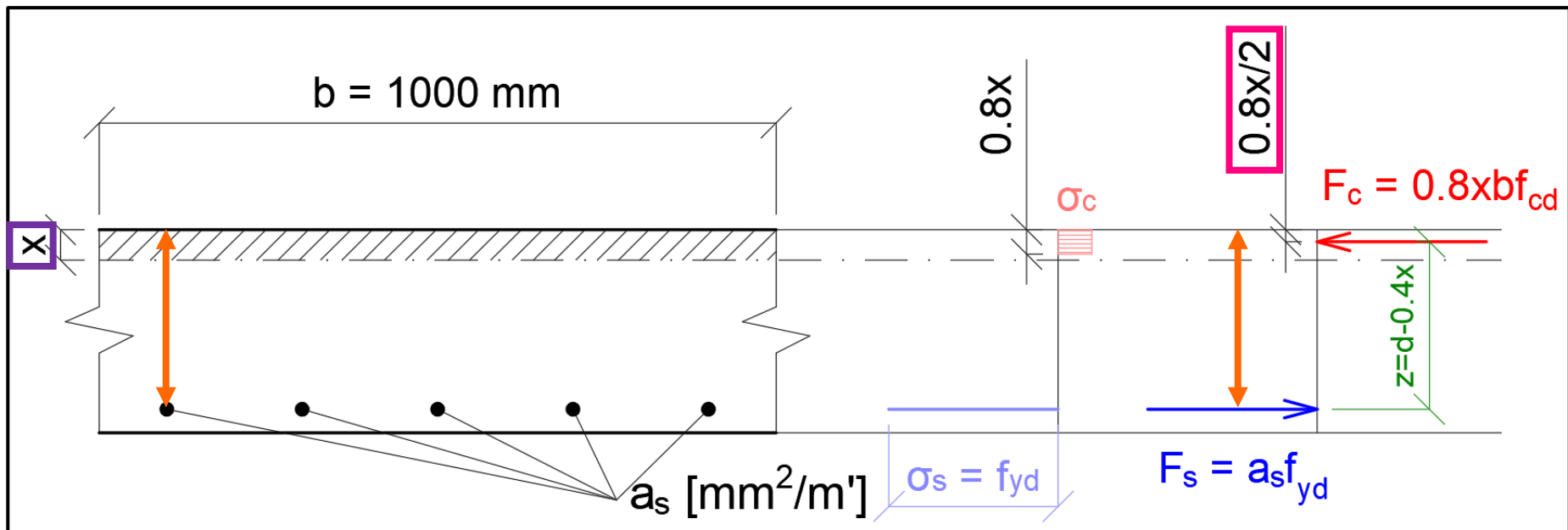
$$M_{Rd} = F_c z = F_s z = f_{yd} a_{s,prov} z.$$



# 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.

*Návrh nosné výztuže a posouzení desky*  
Shrnutí výpočtu

# Postup výpočtů - SHRNUTÍ

- 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  $\varnothing, s, a_{s,prov} = \frac{1000}{s} \cdot \frac{\pi \varnothing_s^2}{4}$
- 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  $M_{Rd} = F_s z$

*Návrh nosné výztuže a posouzení desky*  
Poznámky

# Návrh 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.



# Návrh výztuže – skutečná výztuž (rozteč)

Nejpoužívanější způsoby návrhu výztuže jsou:

- **Přesný návrh výztuže pomocí vzorce pro požadovanou plochu výztuže.**
- Vytvoření Excelu pro posouzení průřezu (stanovení  $M_{Rd}$ ) a návrh výztuže metodou pokus-omyl\*.
- Pomocí tabulek (dnes již velmi zastaralé a v praxi málo používané).

# 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:

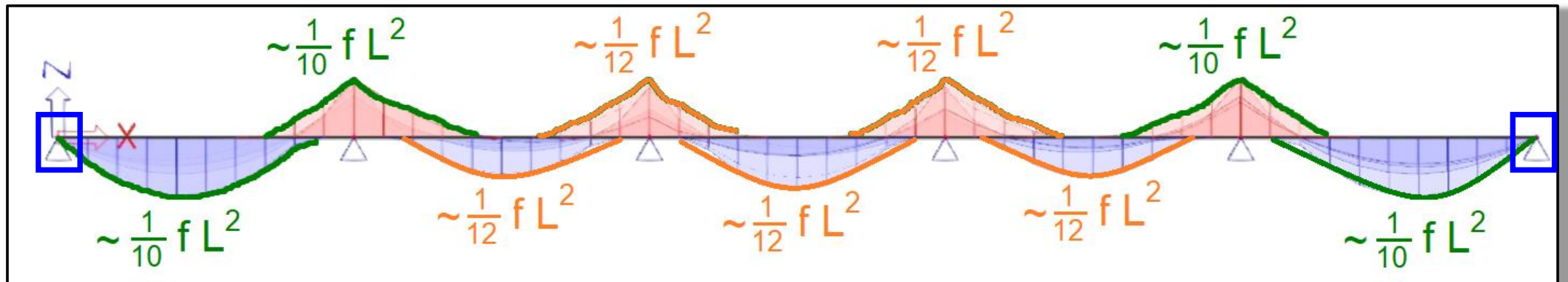
- horní výztuž nad krajní zděnou stěnou,
- rozdělovací výztuž,
- lemovací výztuž.

*Návrh konstrukční výztuže*

# Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

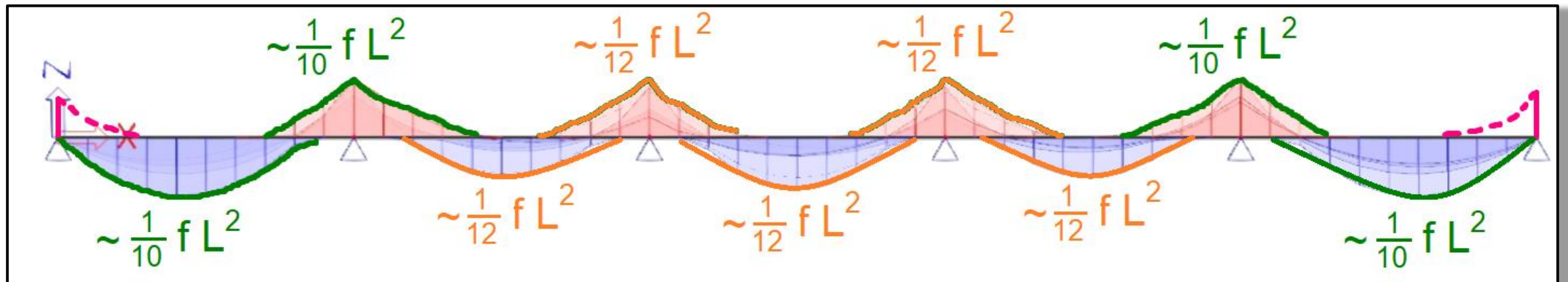
# Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

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



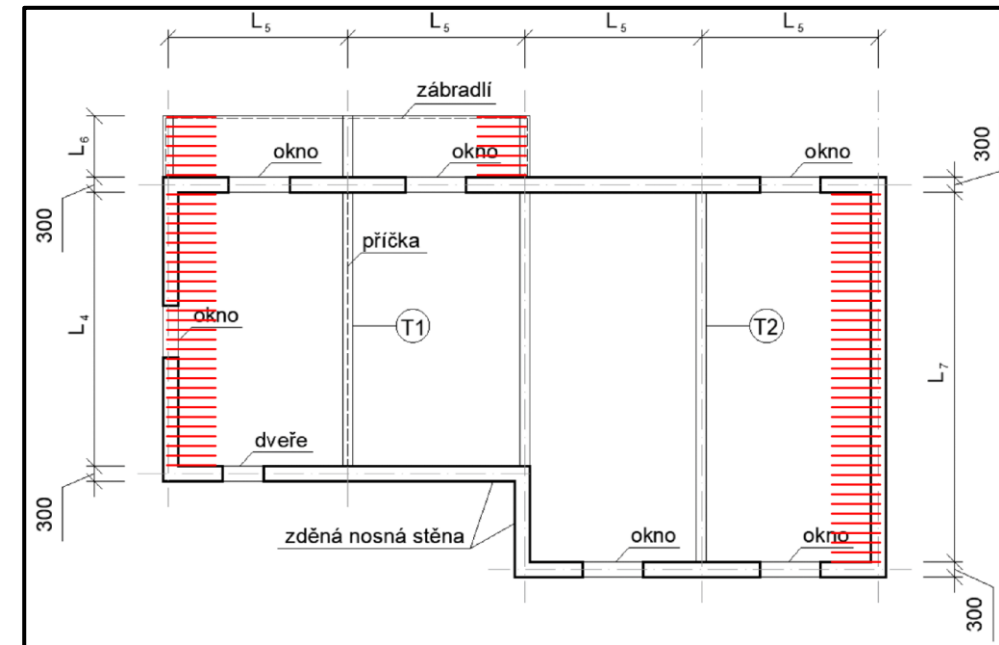
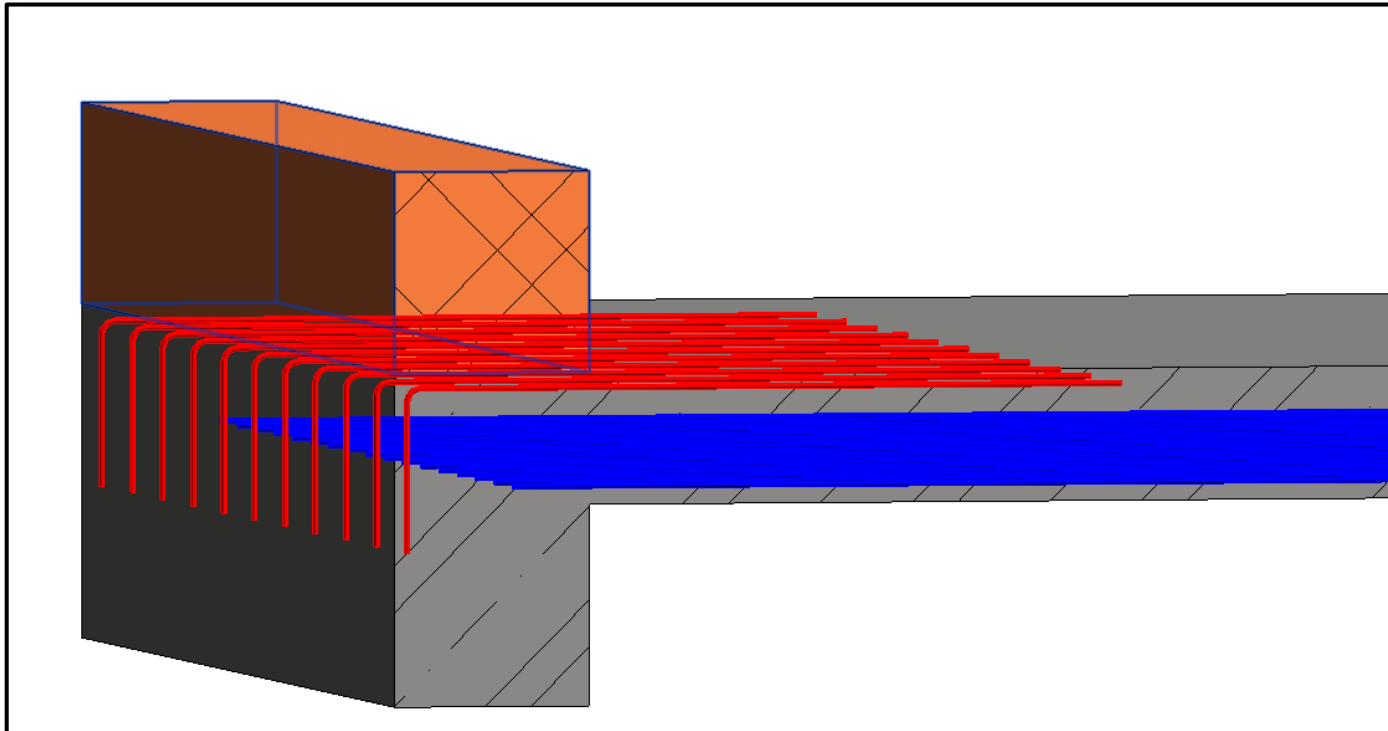
# Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

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.

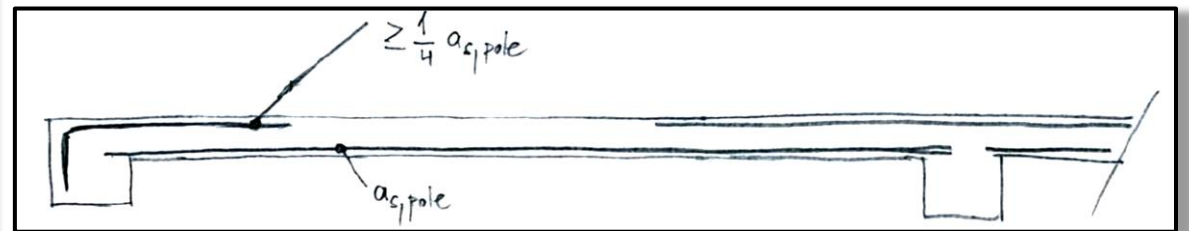
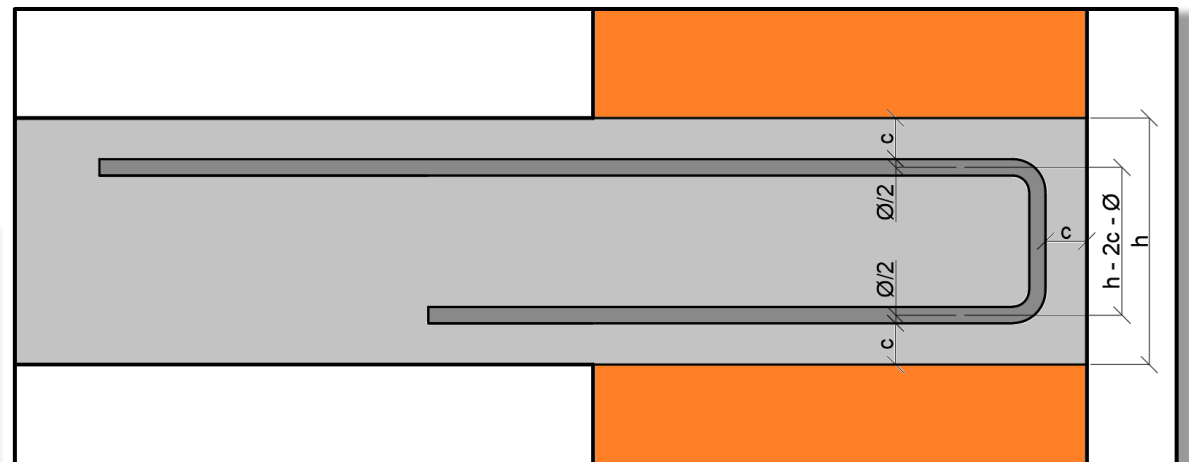
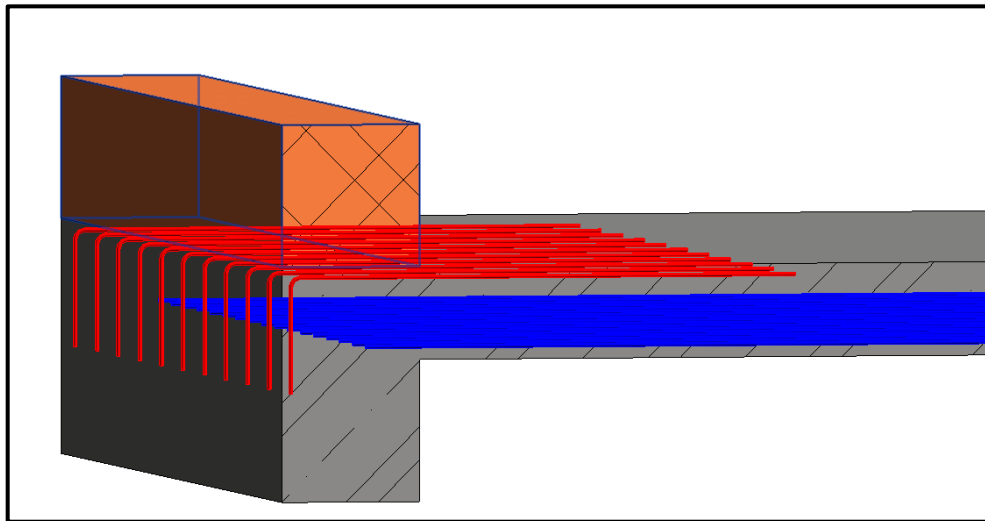


# Horní výztuž nad krajní zděnou stěnou

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

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

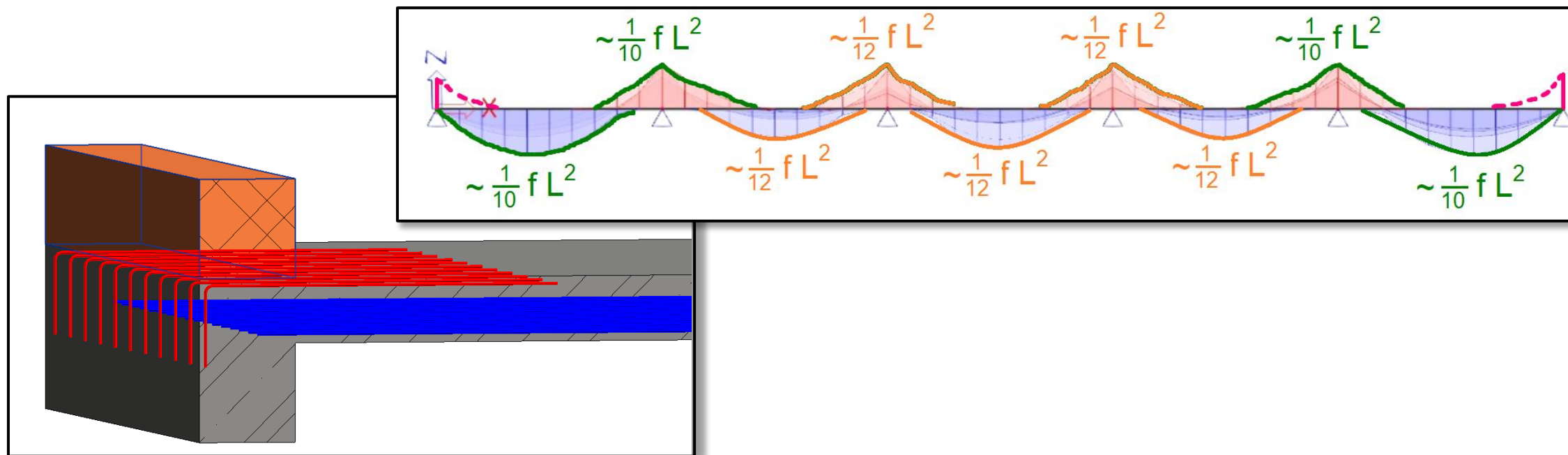
$$s_{hor} \leq s_{max} = \min(2h, 250 \text{ mm}).$$





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



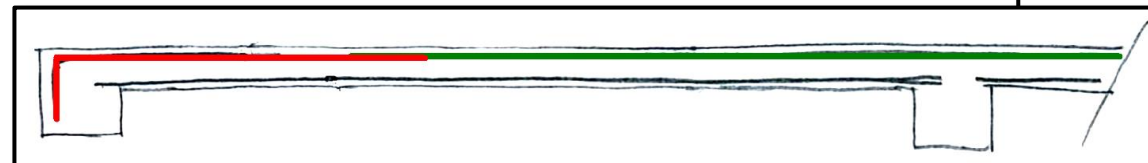
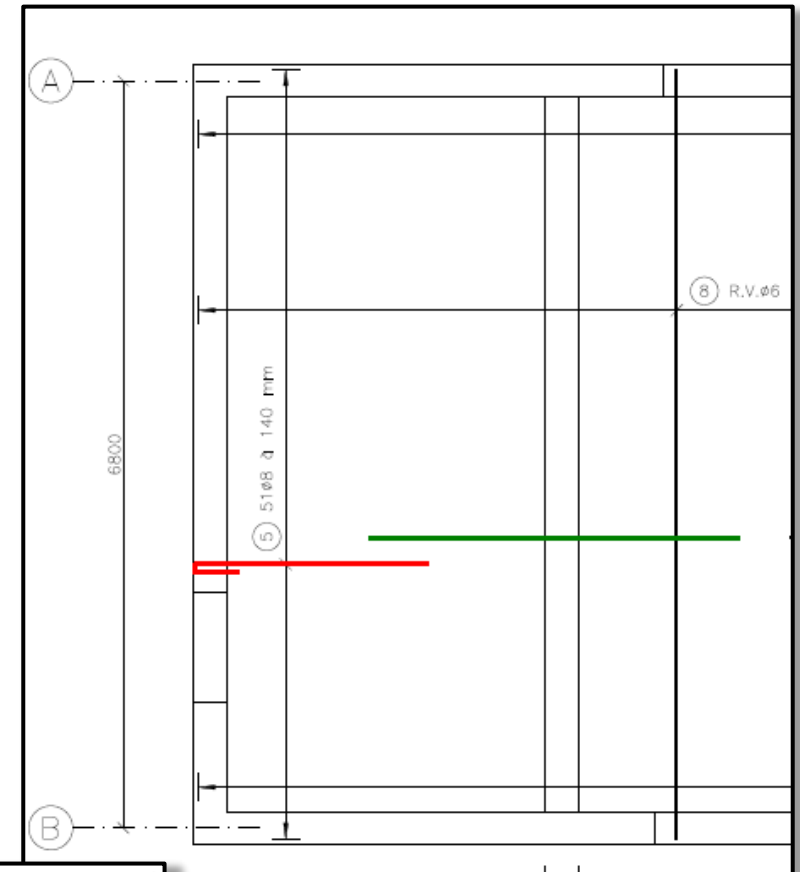
\*proto je taky pravidlo pro rozteč výztuže ( $s_{max} = \min(2h, 250 \text{ mm})$ ) stejné jako u hlavní nosné výztuže.

“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.

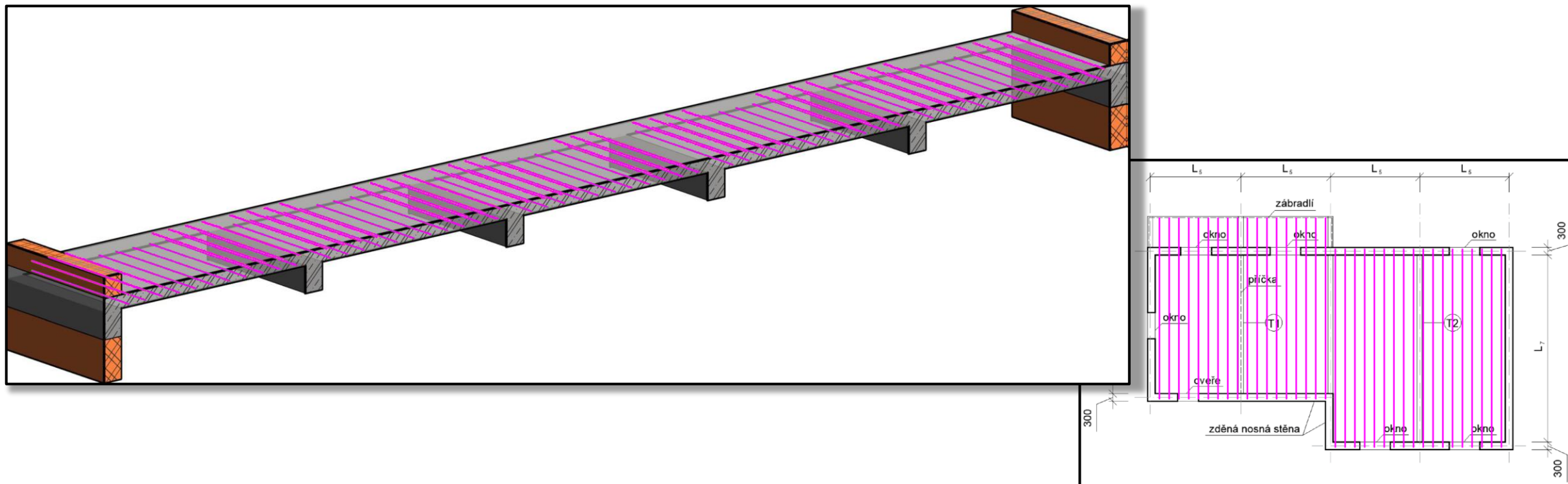
Klíčové slovo je VHODNÉ. Doporučení nemusíme splnit, pokud by to způsobovalo nějaké další problémy – např. pokud by to znamenalo, že návrh bude hodně neekonomický.



*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

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

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

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

# Rozdělovací výztuž

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

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

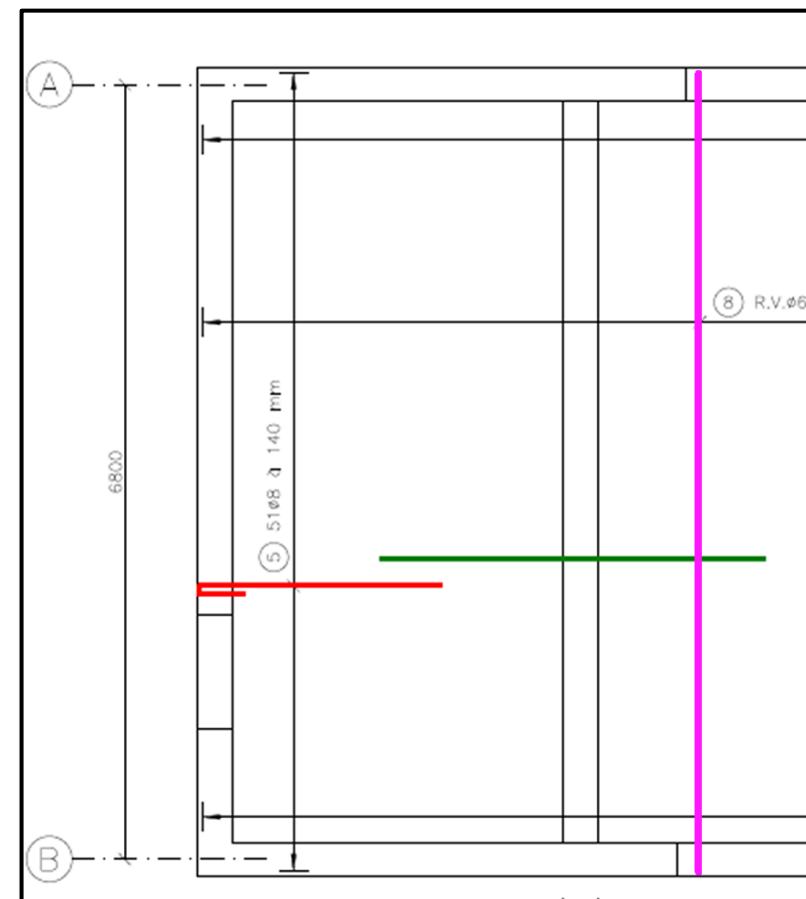
Rozteč výztuže může být větší než u hlavní nosné výztuže. Rozteč rozdělovací výztuže musí být menší než  $\min(3h; 400 \text{ mm})$ .

“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.



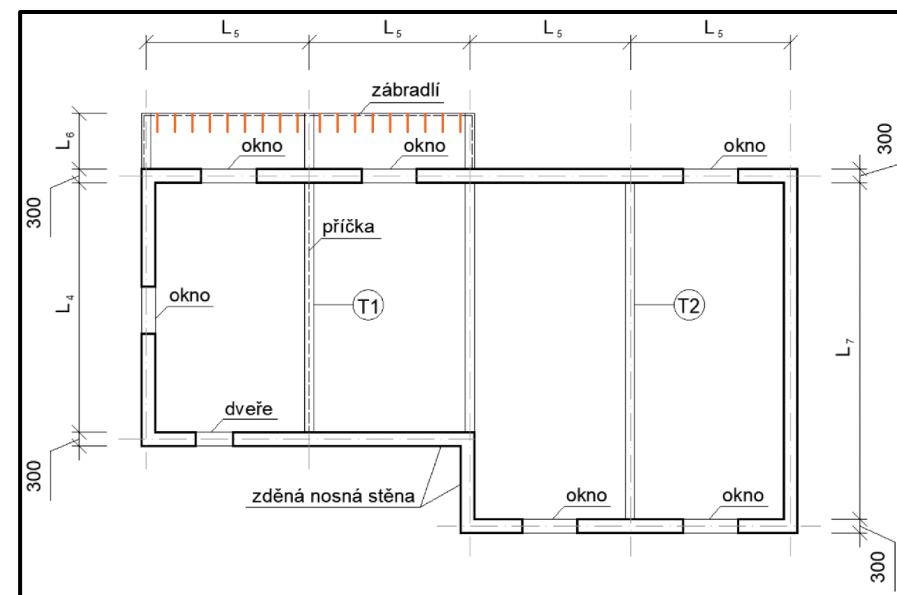
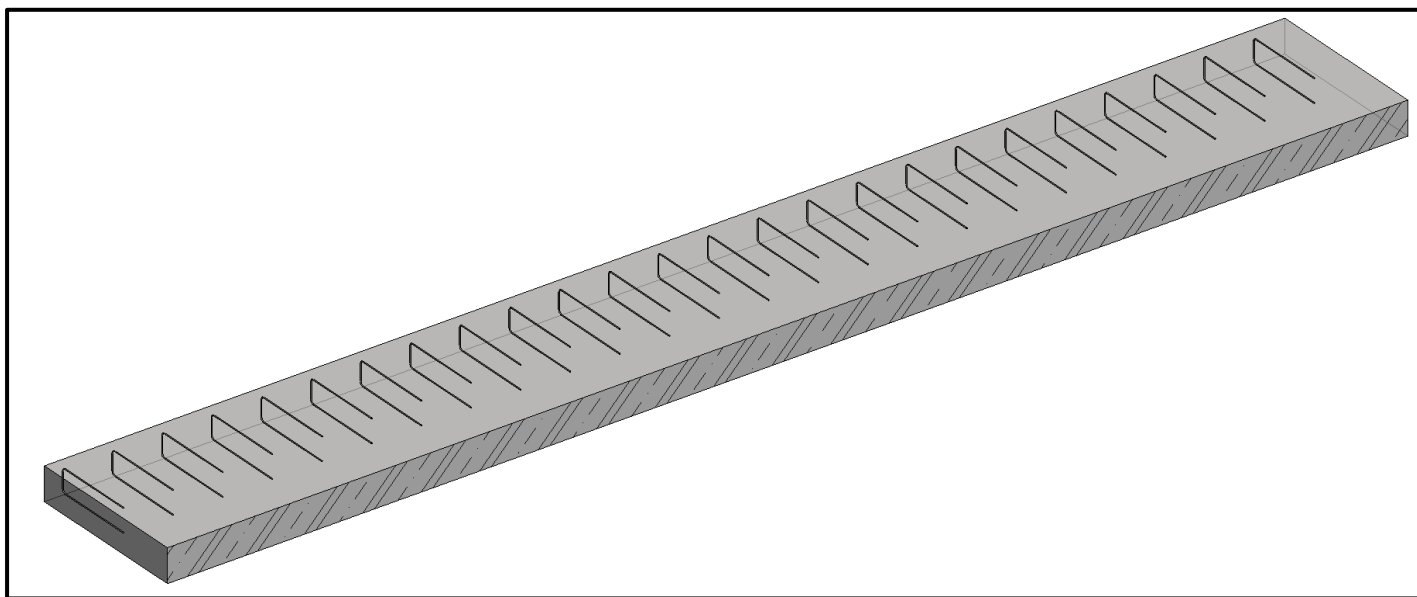


*Návrh konstrukční výztuže*  
Lemovací výztuž

# 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.



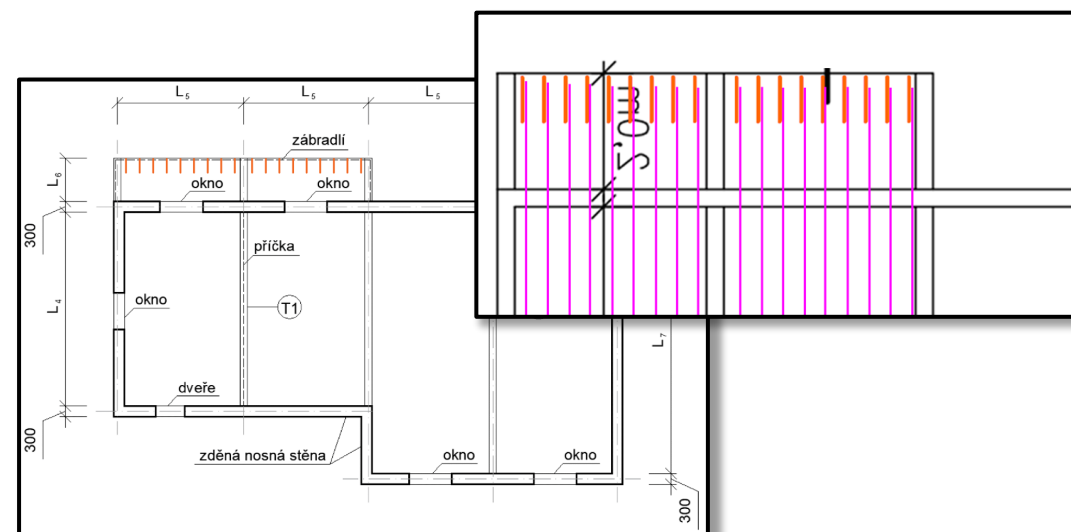
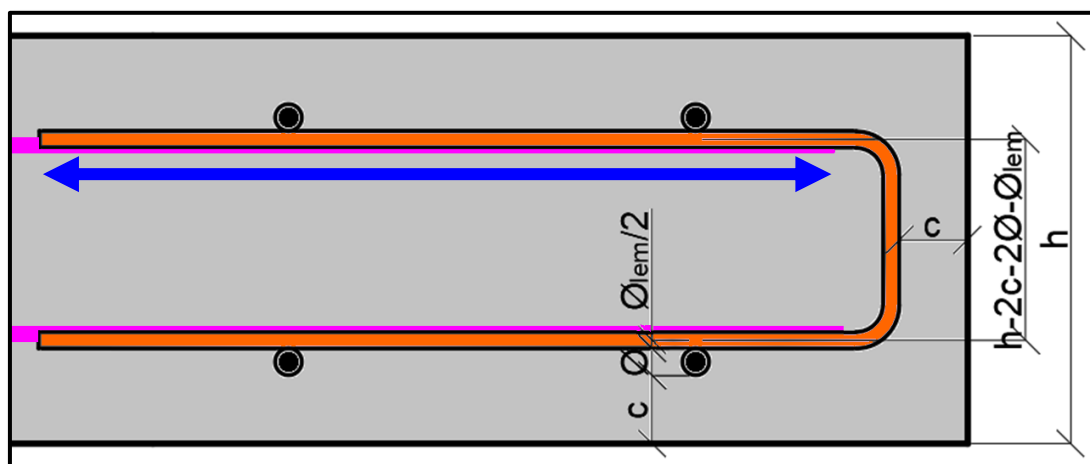
\*Tj. kraj desky, který nepokračuje do nějaké konstrukce (trámu, stěny). Je to vlastně místo, kde je betonový povrch vystaven vzduchu.

# 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  $2h$ .



“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.](#)