



*Úloha 4 – Posouzení průhybu*

# Posouzení ohybové štíhlosti

Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (paralelka Štefan)

# Zadání Úlohy 4

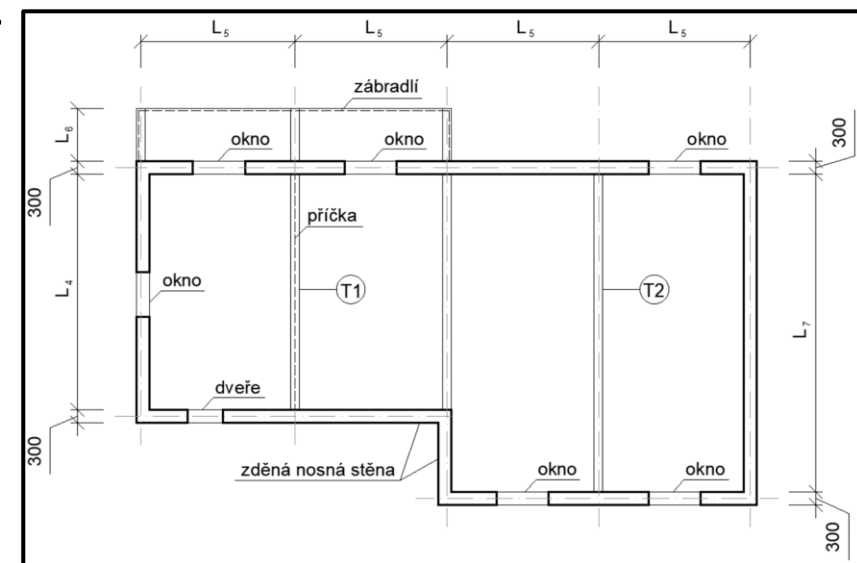
# Zadání Úlohy 4

Pro prvky řešené v úloze 2:

- stropní deska,
- trám T1,
- trám T2.

provedte posouzení průhybu užitím podmínky omezení ohybové štíhlosti.

U každého posouzení uveďte, co z výsledku vyplývá, a případně jaké kroky či opatření je nutné provést.



# Mezní stavy použitelnosti

# Mezní stavy použitelnosti

Při posuzování konstrukcí musíme kromě mezních stavů únosnosti\* řešit i mezní stavy použitelnosti – tj. zda bude konstrukce v pořádku při běžném provozu.

# Mezní stavy použitelnosti

V praxi řešíme tři obvyklé stavy použitelnosti:

- mezní stav omezení napětí,
- mezní stav omezení trhlin,
- mezní stav omezení průhybů.

# Mezní stavy použitelnosti

V praxi řešíme tři obvyklé stavy použitelnosti:

- mezní stav omezení napětí,
- mezní stav omezení trhlin,
- mezní stav omezení průhybů.

V této prezentaci se zaměříme pouze na mezní stav omezení průhybů\*.

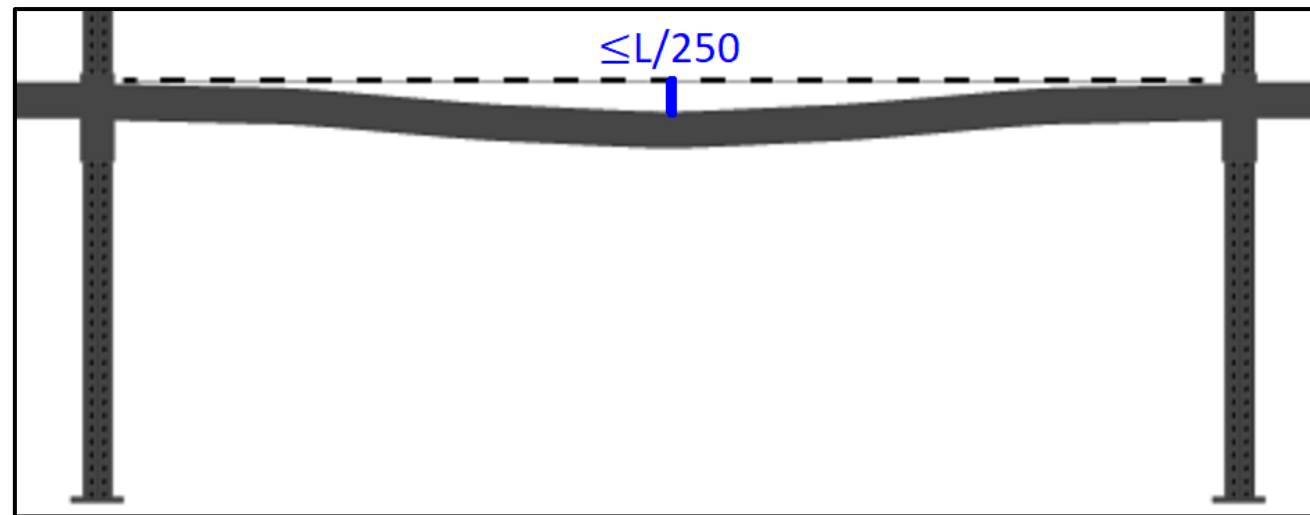
# Mezní stav omezení průhybů



# Mezní stav omezení průhybů

Norma nám obecně udává, že deformace prvku nesmí nepříznivě ovlivnit jejich řádnou funkčnost nebo vzhled.

Konkrétně norma zmiňuje, že vzhled a obecná použitelnost mohou být ohroženy, pokud vypočtený průhyb při kvazi-stálém zatížení překročí hodnotu  $1/250$  rozpětí.



# Mezní stav omezení průhybů

Takže stačí vypočítat průhyb

$$w = ?$$

a porovnat ho s limitní hodnotou

$$w_{lim} = \frac{L}{250}$$

Vypočítat průhyb je ale hodně náročné, a proto nám norma umožňuje použít zjednodušený přístup omezení ohybové štíhlosti.

# Omezení ohybové štíhlosti

# Omezení ohybové štíhlosti

Norma udává, že pokud nosník splňuje podmínku **ohybové štíhlosti**

$$\lambda \leq \lambda_d,$$

Ize předpokládat, že průhyby nepřekročí limitní hodnoty\*.

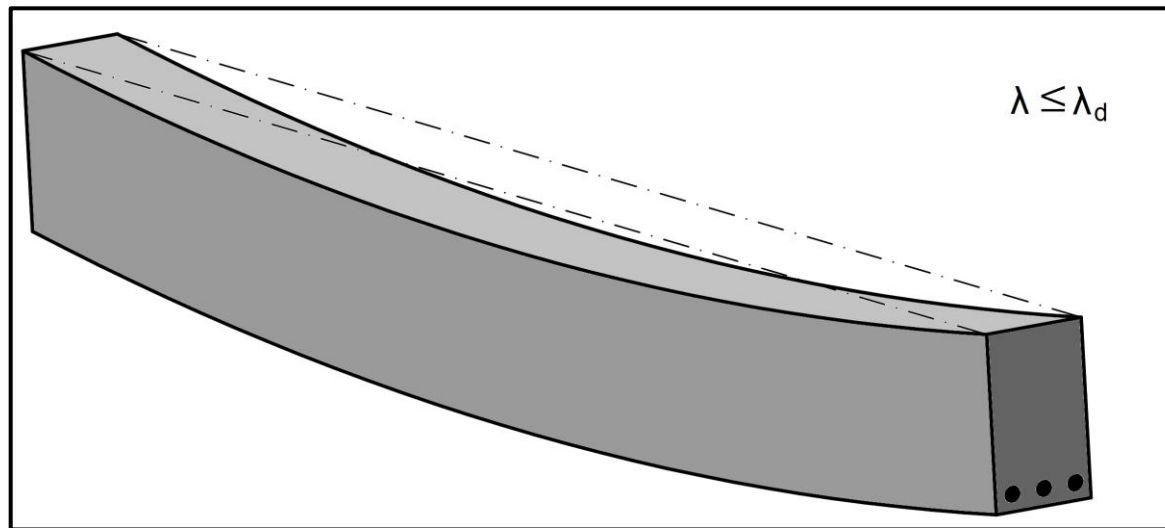
# Omezení ohybové štíhlosti

Musíme tedy ověřit, zda platí

$$\lambda \leq \lambda_d,$$

kde  $\lambda$  je ohybová štíhlost prvku,

$\lambda_d$  je vymežující ohybová štíhlost.

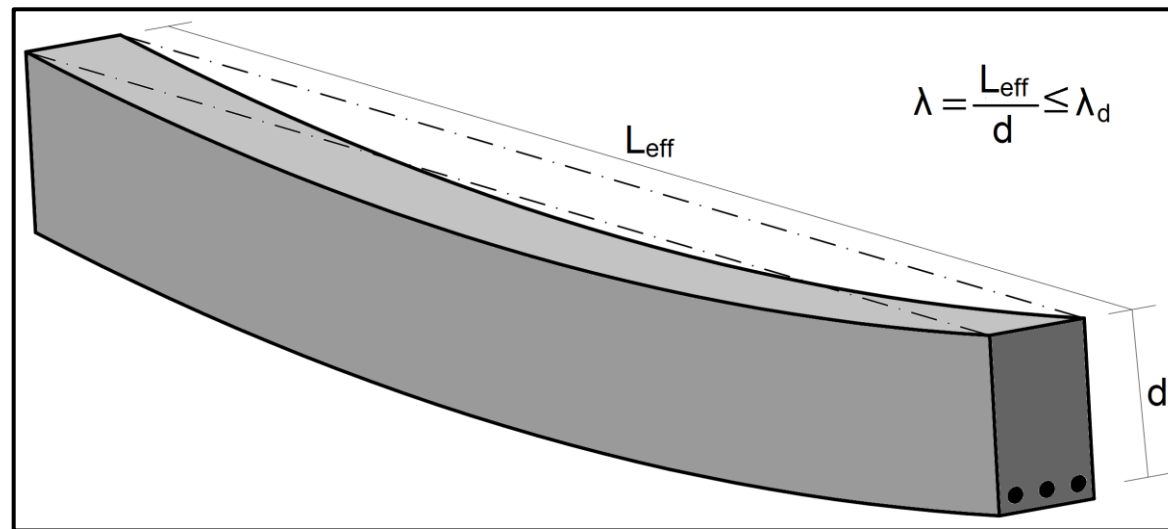


# Ohybová štíhlost prvku $\lambda$

Ohybovou štíhlost prvku určíme pomocí vztahu

$$\lambda = \frac{l}{d},$$

kde  $l$  je teoretické rozpětí (délka) prvku\*,  
 $d$  je účinná výška průřezu.



# Vymezující ohybová štíhlost $\lambda_d$

Vymezující ohybovou štíhlost určíme pomocí vztahu

$$\lambda_d = \kappa_{c1} \kappa_{c2} \kappa_{c3} \lambda_{d,tab},$$

kde  $\kappa_{c1}$  je součinitel tvaru průřezu,

$\kappa_{c2}$  je součinitel rozpětí prvku,

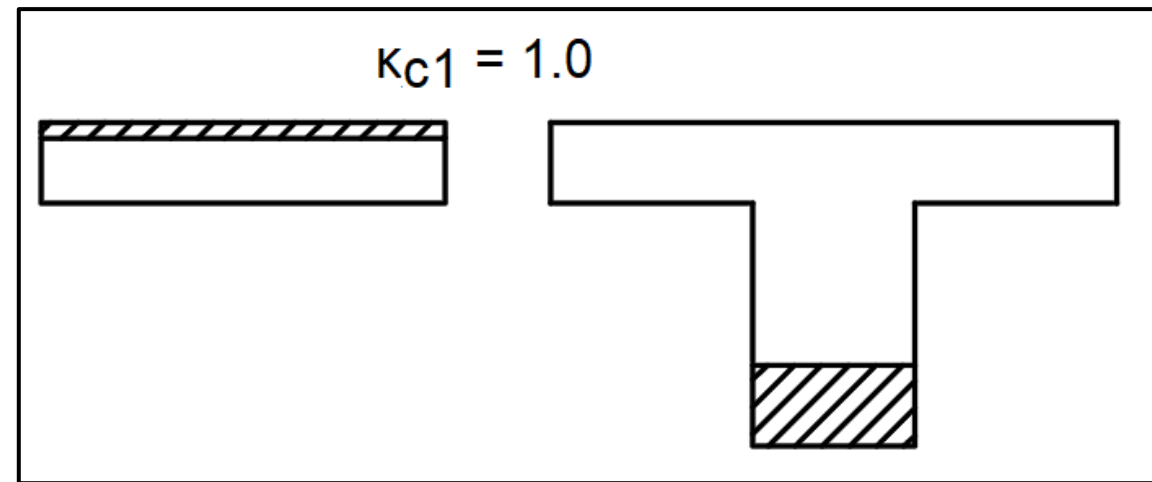
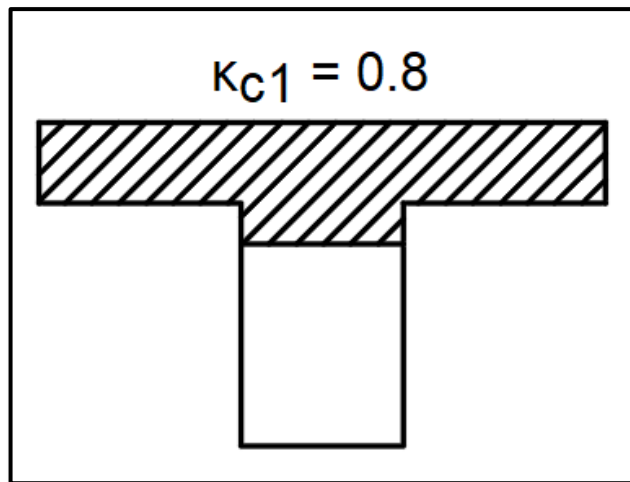
$\kappa_{c3}$  je součinitel napětí,

$\lambda_{d,tab}$  je tabulková hodnota základní vymezení štíhlosti.

# Součinitel tvaru průřezu $\kappa_{c1}$

Součinitel tvaru průřezu volíme dle tvaru průřezu:

- $\kappa_{c1} = 0.8$  pro T průřez – tj. trám v poli,
- $\kappa_{c1} = 1.0$  pro obdélník – tj. deska, konzola trámu\*.



\* Konzolová část trámu (trám nad podporou) je sice monoliticky spojen s deskou (tedy T průřez), ale horní vlákna (tj. tam kde je ta deska) jsou v tahu a tažený beton my zanedbáváme. Z hlediska tlačného betonu, který nás zajímá, se tedy jedná o obdélník.

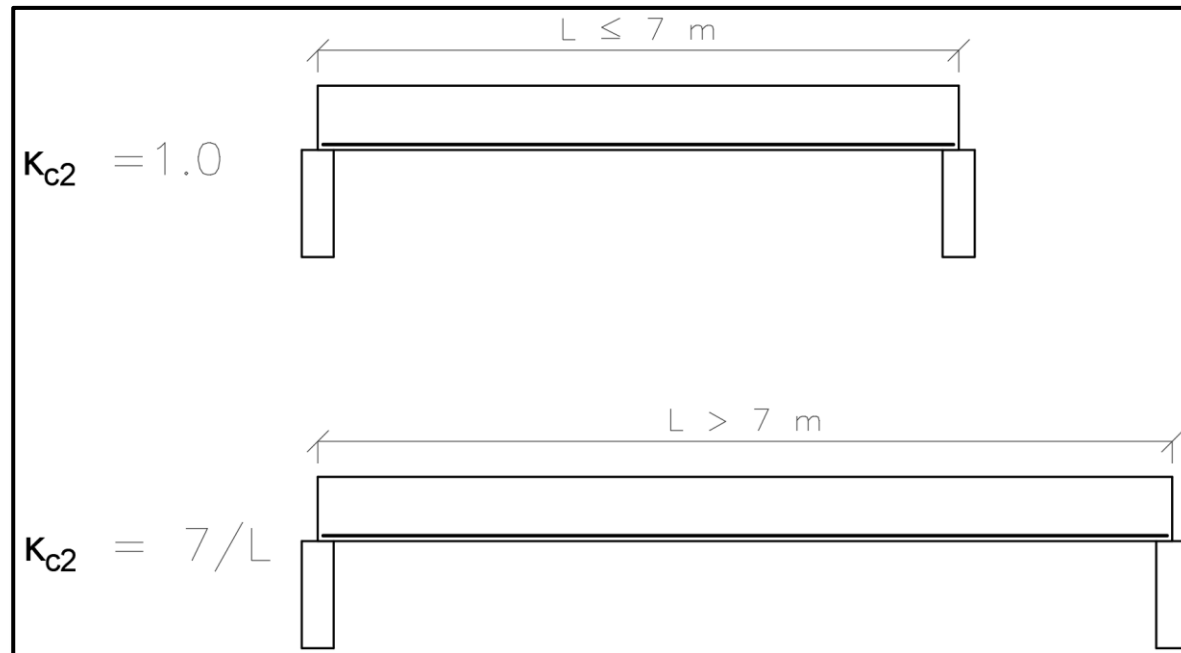


# Součinitel rozpětí prvku $\kappa_{c2}$

Součinitel rozpětí prvku vypočítáme pomocí vztahu

$$\kappa_{c2} = \min\left(1, \frac{7}{l}\right),$$

kde  $l$  je teoretické rozpětí prvku v metrech.



# Součinitel napětí $\kappa_{c3}$

Součinitel napětí bere v potaz skutečné napětí ve výztuži a vypočítáme ho pomocí vztahu

$$\kappa_{c3} = \frac{310}{\sigma_s},$$

kde  $\sigma_s$  je maximální\* napětí ve výztuži\*\* (viz další slide).

\* Uprostřed rozpětí nosníku nebo ve vetknutí konzoly.

\*\* **Jedná se o napětí při kvazi-stálém zatížení.** (Tedy ne to napětí, které jsme uvažovali v předchozích úkolech při návrhu a posouzení na ohyb.

# Součinitel napětí $\kappa_{c3}$

Napětí ve výztuži ale neznáme\*. Naštěstí norma udává, že součinitel napětí můžeme zjednodušeně (a bezpečně) vypočítat pomocí vztahu

$$\kappa_{c3} = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}},$$

kde  $A_{s,prov}$  je skutečná plocha **tažené** výztuže v průřezu,

$A_{s,req}$  je požadovaná plocha **tažené** výztuže z hlediska působícího ohybového momentu,

$f_{yk}$  je charakteristická hodnota meze kluzu výztuže.

# Tabulková hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$

Tabulkovou hodnotu základní vymezuující štíhlosti odečteme z tabulky v závislosti na třídě pevnosti betonu a stupni vyztužení taženou výztuží  $\left(\frac{A_{s,prov}}{bh}\right)^*$ . Tabulky se liší pro různé druhy konstrukcí!

Hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$ pro vnitřní pole spojitého nosníku.									
$A_{s,prov} / (bh)$	Pevnostní třída betonu								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0.5%	21.9	23.7	25.5	27.8	30.8	34.5	38.6	43.2	48.0
1.5%	18.3	18.9	19.5	20.3	21.0	21.8	22.5	23.3	24.0

Ve Úloze 4 se jedná o vnitřní pole desky.

\* Pro hodnoty stupně vyztužení mezi 0.5 % a 1.5 % je třeba interpolovat tabulkové hodnoty. Pro stupeň vyztužení <0.5 % bereme hodnotu pro 0.5 %. Pro stupeň vyztužení >1.5 % bereme hodnotu pro 1.5 %.

# Tabulková hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$

Tabulkovou hodnotu základní vymezuující štíhlosti odečteme z tabulky v závislosti na třídě pevnosti betonu a stupni vyztužení taženou výztuží  $\left(\frac{A_{s,prov}}{bh}\right)^*$ . Tabulky se liší pro různé druhy konstrukcí!

Hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$ pro konzolu.									
$A_{s,prov} / (bh)$	Pevnostní třída betonu								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0.5%	5.8	6.3	6.8	7.4	8.2	9.2	10.3	11.5	12.8
1.5%	4.9	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4

V Úloze 4 se jedná o konzolu trámu T1.

\* Pro hodnoty stupně vyztužení mezi 0.5 % a 1.5 % je třeba interpolovat tabulkové hodnoty. Pro stupeň vyztužení <0.5 % bereme hodnotu pro 0.5 %. Pro stupeň vyztužení >1.5 % bereme hodnotu pro 1.5 %.

# Tabulková hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$

Tabulkovou hodnotu základní vymezuující štíhlosti odečteme z tabulky v závislosti na třídě pevnosti betonu a stupni vyztužení taženou výztuží  $\left(\frac{A_{s,prov}}{bh}\right)^*$ . Tabulky se liší pro různé druhy konstrukcí!

Hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$ pro krajní pole spojitého nosníku.									
$A_{s,prov} / (bh)$	Pevnostní třída betonu								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0.5%	19.0	20.5	22.1	24.1	26.7	29.9	33.5	37.4	41.6
1.5%	15.9	16.4	16.9	17.6	18.2	18.9	19.5	20.2	20.8

V Úloze 4 se jedná o vnitřní část trámu T1 a krajní pole desky.

\* Pro hodnoty stupně vyztužení mezi 0.5 % a 1.5 % je třeba interpolovat tabulkové hodnoty. Pro stupeň vyztužení <0.5 % bereme hodnotu pro 0.5 %. Pro stupeň vyztužení >1.5 % bereme hodnotu pro 1.5 %.

# Tabulková hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$

Tabulkovou hodnotu základní vymezuující štíhlosti odečteme z tabulky v závislosti na třídě pevnosti betonu a stupni vyztužení taženou výztuží  $\left(\frac{A_{s,prov}}{bh}\right)^*$ . Tabulky se liší pro různé druhy konstrukcí!

Hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$ pro prostý nosník.									
$A_{s,prov} / (bh)$	Pevnostní třída betonu								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0.5%	14.6	15.8	17.0	18.5	20.5	23.0	25.8	28.8	32.0
1.5%	12.2	12.6	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0

V Úloze 4 se jedná o trám T2.

\* Pro hodnoty stupně vyztužení mezi 0.5 % a 1.5 % je třeba interpolovat tabulkové hodnoty. Pro stupeň vyztužení <0.5 % bereme hodnotu pro 0.5 %. Pro stupeň vyztužení >1.5 % bereme hodnotu pro 1.5 %.

# Tabulková hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$

Tabulkovou hodnotu základní vymezuující štíhlosti odečteme z tabulky v závislosti na třídě pevnosti betonu a stupni vyztužení taženou výztuží  $\left(\frac{A_{s,prov}}{bh}\right)^*$ . Tabulky se liší pro různé druhy konstrukcí!

Hodnota základní vymezuující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$ pro lokálně podepřenou desku.									
$A_{s,prov} / (bh)$	Pevnostní třída betonu								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
0.5%	17.5	19.0	20.4	22.2	24.6	27.6	30.9	34.5	38.4
1.5%	14.6	15.1	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0	18.6	19.2

V Úloze 4 tuto konstrukci nemáme.

\* Pro hodnoty stupně vyztužení mezi 0.5 % a 1.5 % je třeba interpolovat tabulkové hodnoty. Pro stupeň vyztužení <0.5 % bereme hodnotu pro 0.5 %. Pro stupeň vyztužení >1.5 % bereme hodnotu pro 1.5 %.



# Teorie navíc

## Hodnota základní vymezující štíhlosti $\lambda_{d,tab}$

Informace navíc: Pro určení základní vymezující štíhlosti používáme tabulkové hodnoty, protože to je jednodušší. Přesnou hodnotu bychom získali ze vztahu uvedeného v normě [ČSN EN 1992-1-1, čl. 7.4].

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad \text{pokud } \rho \leq \rho_0 \quad (7.16.a)$$

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{pokud } \rho > \rho_0 \quad (7.16.b)$$

kde  $l/d$  je mezní poměr rozpětí k účinné výšce;

$K$  součinitel, kterým se zohledňují různé nosné systémy;

$\rho_0$  referenční stupeň vyztužení  $\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}}$  ;

$\rho$  požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží ve středu rozpětí (u konzoly ve vetknutí) na ohybový moment vyvozený návrhovým zatížením;

$\rho'$  požadovaný stupeň vyztužení tlakovou výztuží ve středu rozpětí (u konzoly ve vetknutí) na ohybový moment vyvozený návrhovým zatížením;

$f_{ck}$  v jednotkách MPa.

# Omezení ohybové štíhlosti

Nyní, když známe ohybové štíhlosti prvků i vymezuující ohybové štíhlosti, můžeme provést ověření pomocí vztahu

$$\lambda \leq \lambda_d,$$

kde  $\lambda$  je ohybová štíhlost prvku,

$\lambda_d$  je vymezuující ohybová štíhlost.

Když nevyjde podmínka ohybové štíhlosti, neznamená to, že konstrukce nevyhovuje! Znamená to jen, že musíme přesně vypočítat průhyb a přímo ho posoudit\*.

# Omezení ohybové štíhlosti v Úkolu 4.1

Ověření podmínky omezení ohybové štíhlosti v Úkolu 4.1 provedeme pro:

- vnitřní pole stropní desky,
- krajní pole stropní desky,
- konzolu trámu T1,
- trám T1 v poli,
- trám T2.

díky za pozornost

# Poděkování

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

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

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