

Zadání č. 4: Posouzení průhybu

Posouzení ohybové štíhlosti

Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (Štefan)

Zadání Úlohy 4

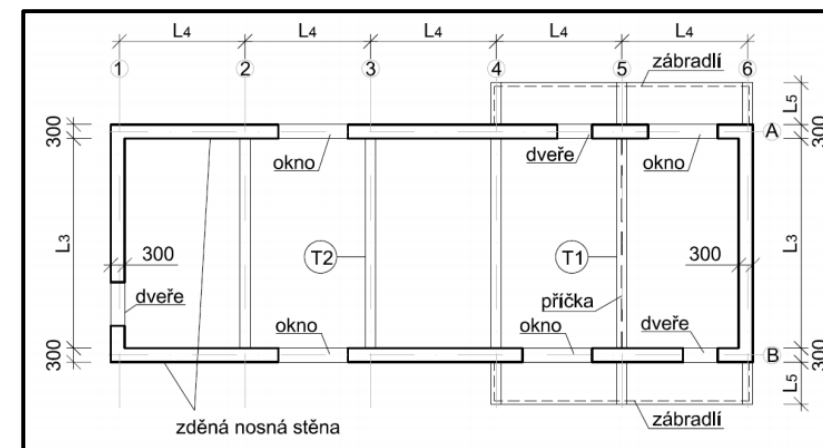
Zadání Úlohy 2

Pro prvky řešené v úloze 2:

- stropní deska,
- konzola trámu T1,
- trám T1 v poli,

provedte posouzení průhybu užitím podmínky omezení ohybové štíhlosti.

U každého posouzení uveďte, co z Vašeho 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.

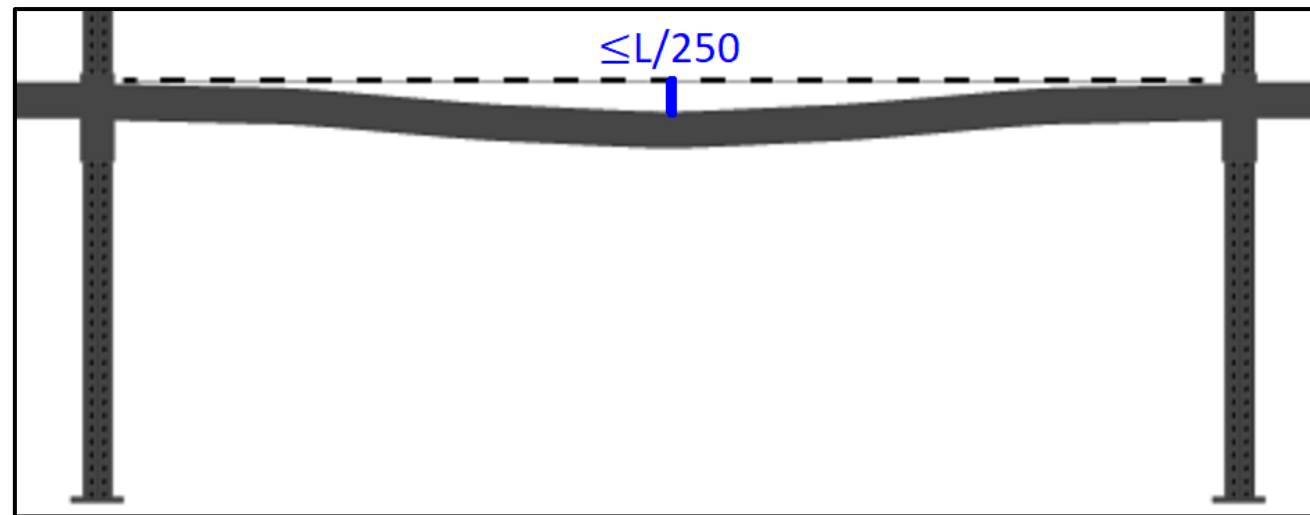
V této prezentaci se zaměříme pouze na mezní stav omezení průhybů*.

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*.

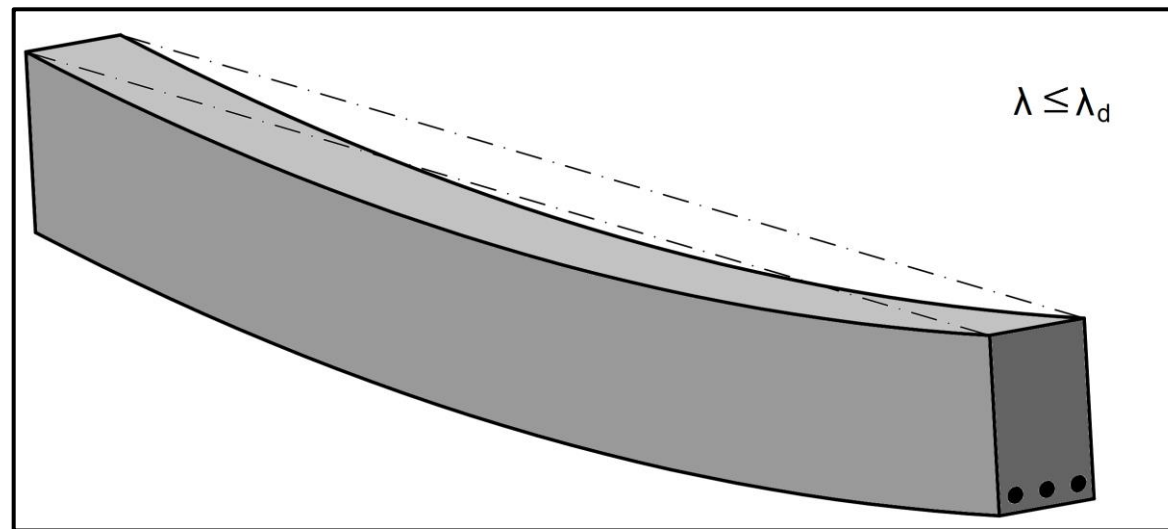
Omezení ohybové štíhlosti

Musíme tedy ověřit, zda platí

$$\lambda \leq \lambda_d,$$

kde λ je ohybová štíhlost prvku,

λ_d je vymežující ohybová štíhlost.

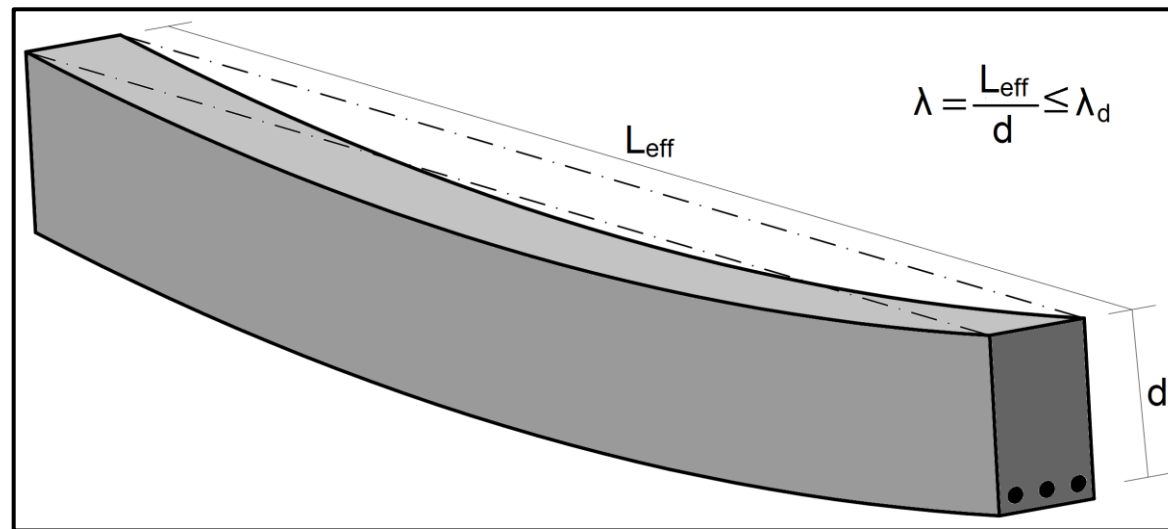


Ohybová štíhlost prvku λ

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 λ_d

Vymezující ohybovou štíhlost určíme pomocí vztahu

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

kde κ_{c1} je součinitel tvaru průřezu,

κ_{c2} je součinitel rozpětí prvku,

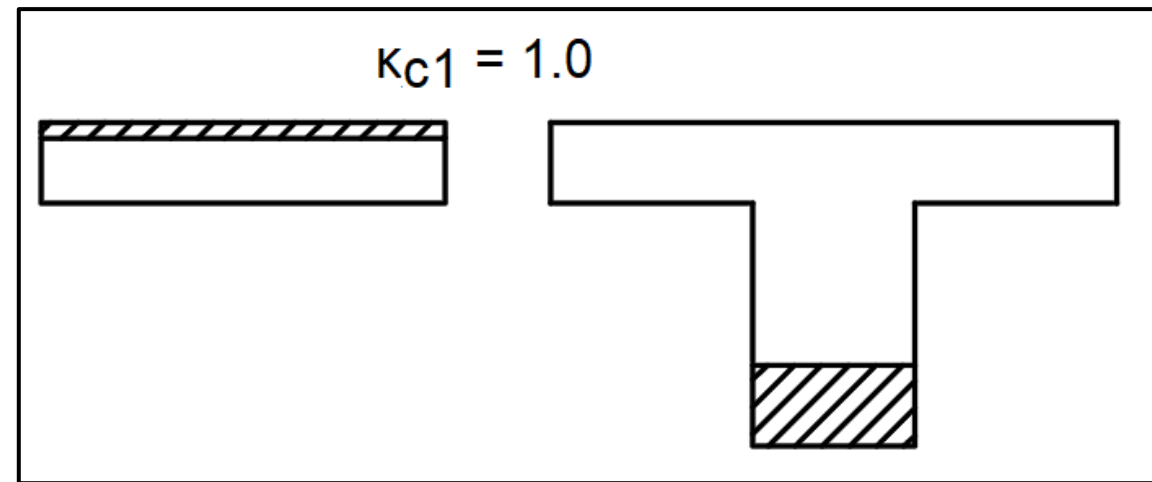
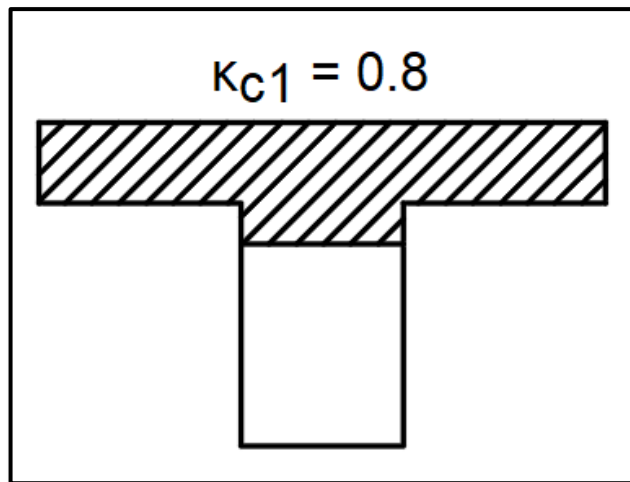
κ_{c3} je součinitel napětí,

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

Součinitel tvaru průřezu κ_{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*.



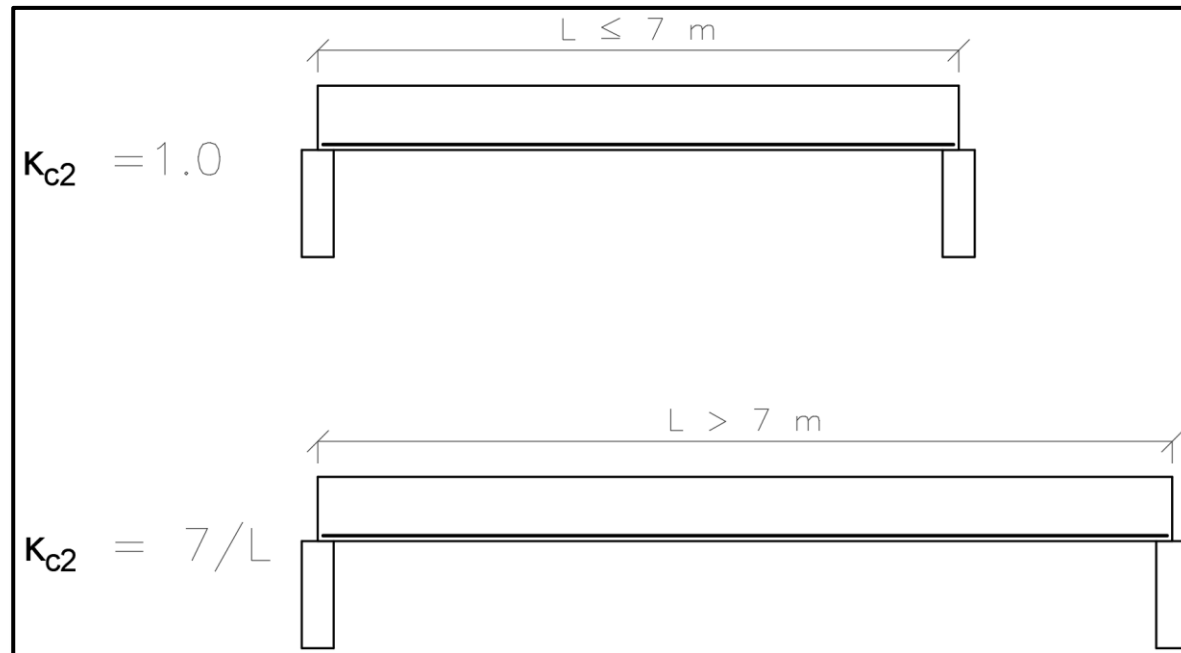
* Konzolová část trámu (trám nad podporou) je sice monoliticky spojen s deskou (tedy T průřez), ale horní vlákna (tj. tam kde je ta deska) jsou v tahu a tažený beton my zanedbáváme. Z hlediska tlačného betonu, který nás zajímá, se tedy jedná o obdélník.

Součinitel rozpětí prvku κ_{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 κ_{c3}

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

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

kde σ_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 κ_{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 $\lambda_{d,tab}$

Tabulková hodnota 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 část trámu T1 a 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 $\lambda_{d,tab}$

Tabulková hodnota 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

Ve Úloze 4 se jedná o konzoly 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 $\lambda_{d,tab}$

Tabulková hodnota 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

Ve Úloze 4 se jedná o 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 $\lambda_{d,tab}$

Tabulková hodnota 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 $\lambda_{d,tab}$

Tabulková hodnota 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;

ρ_0 referenční stupeň vyztužení $\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}}$;

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

ρ' 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 λ je ohybová štíhlost prvku,

λ_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:

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

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.

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