



Posouzení ohybové štíhlosti

Prezentace k 12. cvičení NNKB

Zadání Úlohy 4

Pro prvky řešené v úloze 2, tj.

- stropní deska,
- trám T1 převislá část,
- trám T1 v poli,

provedte posouzení podmínky **omezení ohybové štíhlosti**.

U každého ověření uveďte, co z Vašeho výsledku vyplývá, a případně jaké kroky či opatření by bylo potřeba provést.

Mezní stavy použitelnosti

Mezní stavy použitelnosti

Při posuzování konstrukcí musíme kromě mezních stavů únosnosti (tj. kdy to spadne) **řešit i mezní stavy použitelnosti** (tj. bude konstrukce v pořádku při běžném provozu?).

Mezní stavy použitelnosti

V současnosti řešíme **tři obvyklé stavy** použitelnosti:

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

Mezní stavy použitelnosti

V současnosti řešíme **tři obvyklé stavy** použitelnosti:

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

V tomto cvičení se **zaměříme** pouze na **mezní stav omezení průhybů***.

*Ostatní mezní stavy použitelnosti jsou také velmi důležité, ale zaměříte se na ně až v dalších předmětech.

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**.

Podrobně popsáno v [ČSN EN 1992-1-1, čl. 7.4].

Mezní stav omezení průhybů

Takže **stačí vypočítat průhyb a porovnat ho s $l/250$.**

Vypočítat průhyb je ale **dost náročné**, a proto norma umožňuje **zjednodušený přístup** – tj. omezení ohybové štíhlosti.

Omezení ohybové štíhlosti

Omezení ohybové štíhlosti

Norma udává, že **pokud** nosníky nebo desky **splňují omezující hodnoty poměru $\lambda = l/d$** , lze předpokládat, že **průhyby nepřekročí limitní hodnoty**. (A nemusíme tedy počítat a přímo posuzovat průhyb.)

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,

λ_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 vymezení 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*.

*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.

Součinitel rozpětí prvku κ_{c2}

Součinitel tvaru průřezu 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 (a je složité ho vypočítat). 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 výztuže v průřezu,

$A_{s,req}$ je požadovaná plocha výztuže z hlediska působících vnitřních sil,

f_{yk} je charakteristická hodnota pevnosti výztuže.

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

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

$\lambda_{d,tab}$ pro vnitřní pole spojitého nosníku a různé třídy betonu

	Pevnostní třída betonu						
ρ %	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	40/50	50/60
0,5	21,9	23,7	25,5	27,8	30,8	38,6	48
1,5	18,3	18,9	19,5	20,3	21	22,5	24

Pro hodnoty stupně vyztužení mezi 0.5 a 1.5 je třeba interpolovat tabulkové hodnoty.

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

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

$\lambda_{d,tab}$ pro konzoly a různé třídy betonu

	Pevnostní třída betonu						
ρ %	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	40/50	50/60
0,5	5,8	6,3	6,8	7,4	8,0	10,3	12,8
1,5	4,9	5,0	5,2	5,4	5,6	6,0	6,4

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

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

$\lambda_{d,tab}$ pro krajní pole spojitého nosníku a různé třídy betonu

	Pevnostní třída betonu						
ρ %	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	40/50	50/60
0,5	19,0	20,5	22,1	24,1	26	33,5	41,5
1,5	15,9	16,4	16,9	17,6	18	19,5	20,8

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

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

$\lambda_{d,tab}$ pro lokálně podporovanou desku a různé třídy betonu |

	Pevnostní třída betonu						
ρ %	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	40/50	50/60
0,5	17,5	19,0	20,4	22,2	24,6	30,9	38,4
1,5	14,6	15,1	15,6	16,2	16,8	18,0	19,2

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

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

$\lambda_{d,tab}$ pro prosté nosníky a různé třídy betonu

	Pevnostní třída betonu						
ρ %	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	40/50	50/60
0,5	14,6	15,8	17,0	18,5	20,5	25,8	32,0
1,5	12,2	12,6	13,0	13,5	14,0	15,0	16,0

Teorie navíc

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

Poznámka:

Tabulkové hodnoty základní vymezující štíhlosti vycházejí z přesného vztahu v normě.

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

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

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.**

Konec

Poděkování

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

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

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