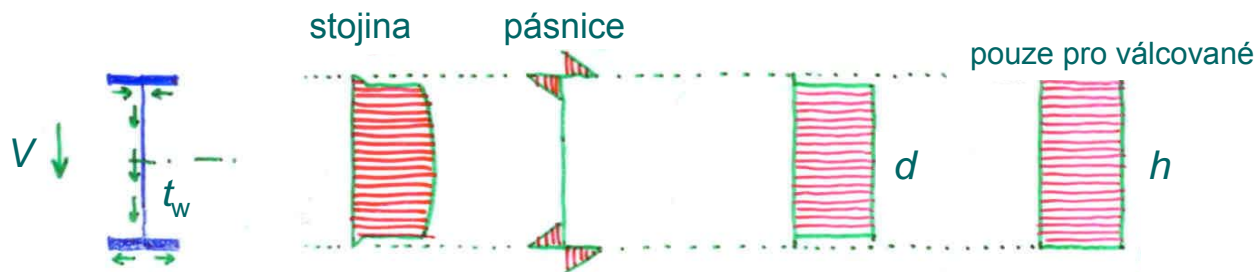


5. Ohýbané nosníky

Únosnost ve smyku, momentová únosnost, klopení, MSP, hospodárny nosník.

Únosnost ve smyku



pružně: $\tau = \frac{VS}{t_w I} (\leq \tau_{pl,Rd})$ plasticky: $\tau = \frac{V}{A} (\leq \tau_{pl,Rd})$

Posouzení na smyk: $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$

Plastická smyková únosnost (platí pro tř. 1, 2, 3, 4):

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$$

$\tau_{pl,Rd}$ (pointing to the fraction)

Plocha přenášející smyk:

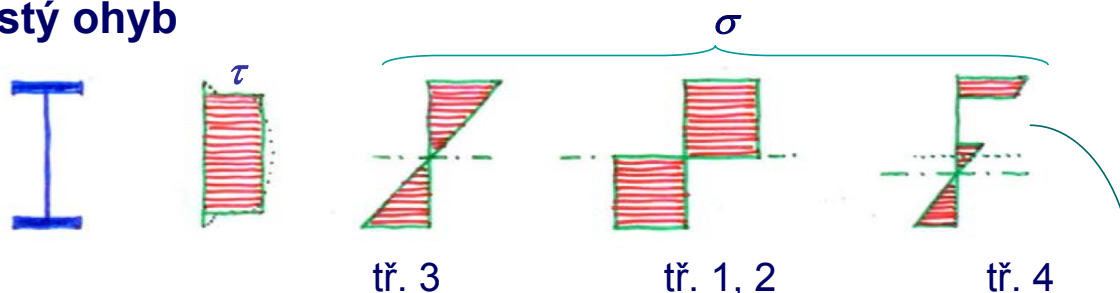
$A_v =$ plocha částí \parallel se smykem ($d t_w$);

$A_v = h t_w$ (jen válcované průřezy).

Momentová únosnost

- v prostém ohybu (pro $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$)
- se ztrátou příčné a torzní stability ("klopení")

Prostý ohyb



boulící část se vyloučí pomocí součinitele boulení (předmět OK01)

MSÚ

a) Ohyb s malým smykem:

platí $V_{Ed} \leq \frac{1}{2} V_{pl,Rd}$

... neovlivňuje momentovou únosnost

Posouzení průřezu:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{c,Rd} \begin{cases} \text{tř. 1, 2: } W_{pl} f_y / \gamma_{M0} \\ \text{tř. 3: } W_{el} f_y / \gamma_{M0} \\ \text{tř. 4: } W_{eff} f_y / \gamma_{M1} \end{cases}$$

Pozn.: V zápisech lze nahradit $f_y / \gamma_M = f_{yd}$ (návrhová mez kluzu)

Stanovení W_{pl} :

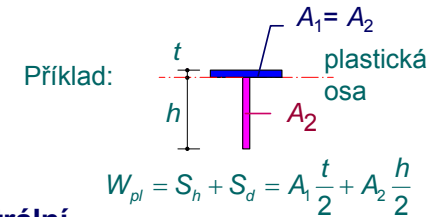
- válcované průřezy mají v tabulkách;

- pro ostatní průřezy platí:

- plastická osa dělí průřez na 2 stejné plochy,

- $W_{pl} = S_h + S_d$

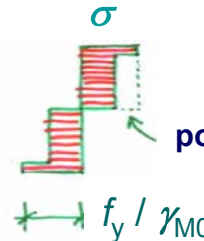
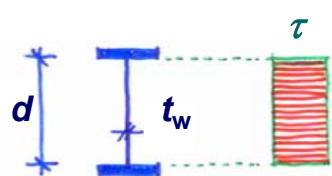
tj. součet statických momentových ploch nad neutrální osou (S_h) a pod neutrální osou (S_d).



b) Ohyb s velkým smykem:

pokud $V_{Ed} > \frac{1}{2} V_{pl,Rd}$

... je nutné zahrnout interakci napětí σ a τ ve stejné průřezu:



počítá se s nižším σ → redukovaný $M_{V,Rd}$

vzorec redukce viz Eurokód

Posouzení: $\frac{M_{Ed}}{M_{V,Rd}} \leq 1$

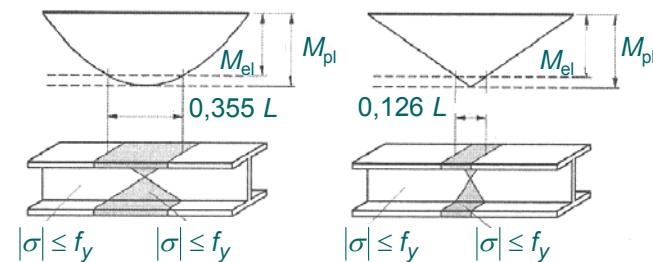
únosnost redukovaná pro vliv V_{Ed}

Statically indeterminate structures with cross-sections of class 1 :

Internal forces can be determined by plastic analysis.

Plastic analysis:

a) **Elasto-plastic** (progressive formation of plastic zones, spreading from the most stressed fibers towards the neutral axis and along the beam). MKP, software – example:



b) **Rigid-plastic** (upon reaching the plastic capacity in a given cross-section, a „sudden“ plastic hinge is formed, which changes the static scheme – for further loading it is considered as a hinge, reducing the static indeterminacy, and a kinematic mechanism is gradually formed). Hand calculations, standard software).

Common rigid-plastic calculations:

Warning: for statically determinate structures there is no difference between class 1 and 2 !!

1. Method of progressive plastification up to the formation of a kinematic mechanism

(i.e. the above mentioned formation of plastic hinges with a change in the static system for further loading – has almost every standard software).

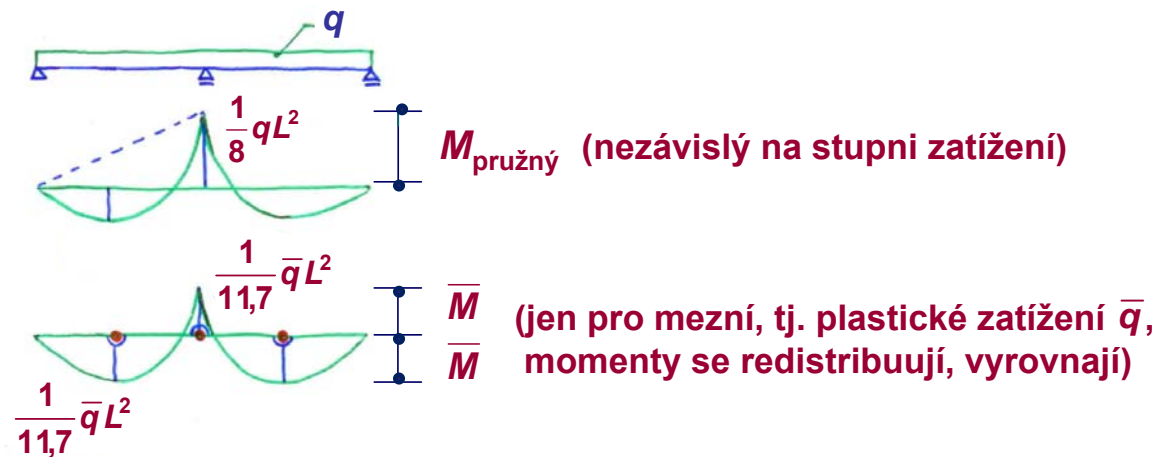
2. Využití principu virtuálních prací na kloubovém mechanismu.

3. Metoda vyrovnání momentů (vhodná zejména pro spojitě nosníky):

Obecně pro n x stat. neurčitou soustavu vzniká $n + 1$ plastických kloubů = úplný kinematický mechanismus.

U některých konstrukcí vzniká mechanismus přeúplný nebo neúplný (např. spojitý nosník o mnoha polích, zatížený v jednom poli).

Pro nosník o 2 polích rovnoměrně zatížený je typický přeúplný mechanismus:



Pozn.: pro obecné nesymetrické zatížení tohoto nosníku vzniknou zřejmě 2 plastické klouby (nad podporou a ve více zatíženém poli), tzn. úplný kinematický mechanismus.

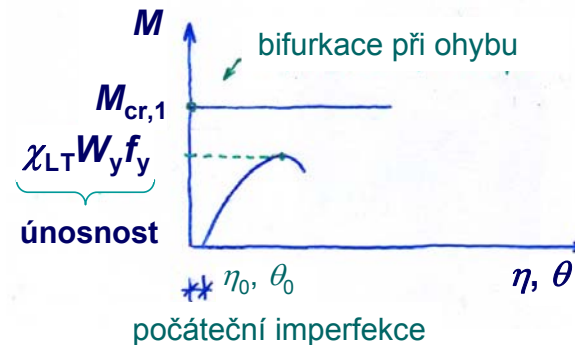
Ohyb se ztrátou příčné a torzní stability („klopení“)

- Opět:
- stabilita ideálního nosníku,
 - únosnost skutečného imperfektního nosníku.

Stabilita ideálního (přímého) nosníku při ohybu



Únosnost skutečného nosníku (s počátečními imperfekcemi η_0, θ_0)



Další postup jako u vzpěru:

M_{cr} ... řešení podle Vlasovovy teorie tenkostěnných prutů (vzorce, MKP)

Štíhlost pro ztrátu stability při ohybu:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

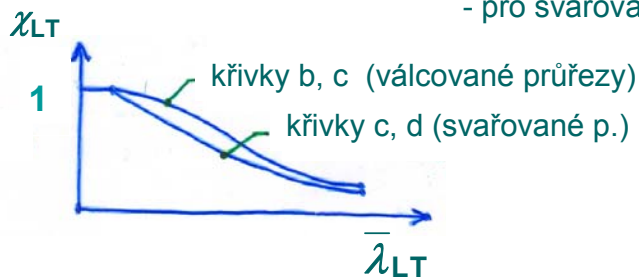
W_y ... modul průřezu podle třídy:

1, 2	W_{pl}
3	W_{el}
4	W_{eff}

únosnost (pointing to $W_y f_y$)
kritická únosnost (pointing to M_{cr})

Z tabulek součinitelů vzpěrnosti plyne pro štíhlost $\bar{\lambda}_{LT}$ „součinitel klopení“ χ_{LT} :

- pro válcované průřezy se bere z křivek b, c
 - pro svařované průřezy se bere z křivek c, d
- } podle h/b

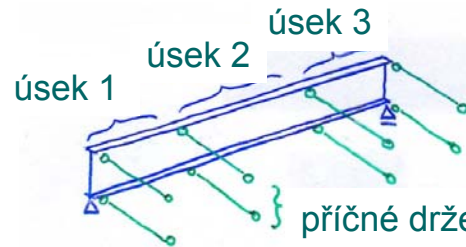


Posudek:

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y f_y / \gamma_{M1}$$

Stanovení M_{cr} :

1. Nosník se rozdělí na úseky délky L_{LT} podle příčného držení:

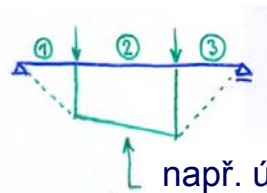


příčné držení pro ohyb a kroucení podle obrázku 6
(ale stačí držení "blízko" tlačené pásnice)

2. V úseku se určí tvar momentu:



odtud z tabulek součinitel $C_1 \geq 1$:



např. úsek 2:



1



~1,77



~2,56

a) obvykle lineární průběh



b) téměř nikdy



(zatížení zde většinou tvoří souvislé držení tlač. pásu)

3. Určit uložení konců úseku délky L_{LT} : obvykle $k = 1$ (kloubové pro příčný ohyb)
(vlastně souč. "vzpěrné délky") obvykle $k_w = 1$ (volná deplanace průřezu)

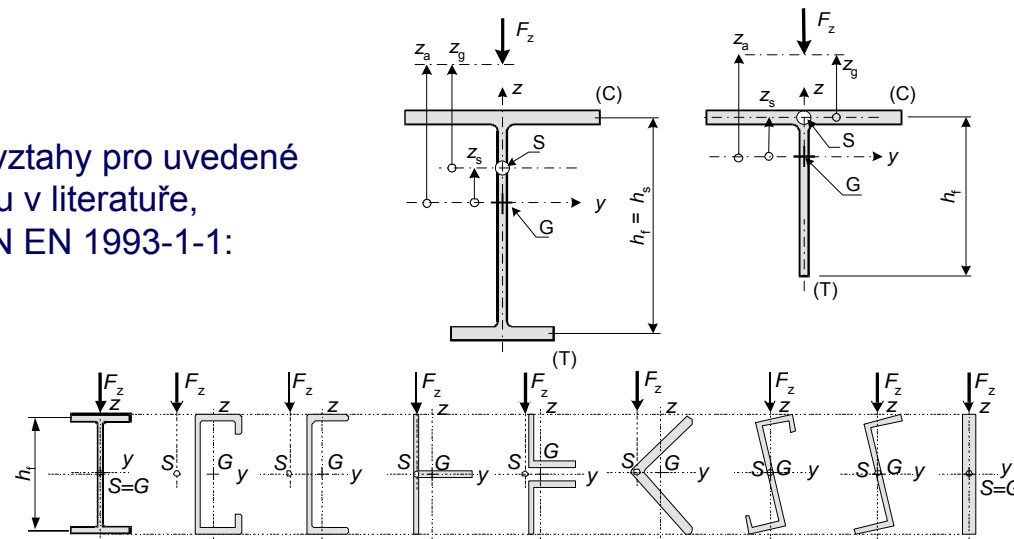
4. Vztah pro M_{cr} závisí dále na:

- tvaru průřezu,
- poloze zatížení vůči středu smyku.

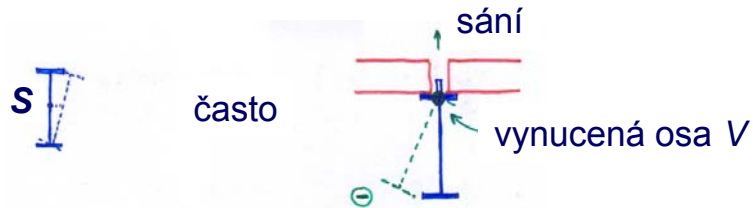
Pro dvojose symetrický průřez a nosník bez přímého příčného zatížení platí:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k L_{LT})^2} \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k L_{LT})^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} \right]^{0,5}$$

Obecnější vztahy pro uvedené průřezy jsou v literatuře, popř. v ČSN EN 1993-1-1:



Ztráta stability k "vynucené ose" (k vynucenému středu smyku V)



Výsečový moment setrvačnosti

$$I_{w,v} > I_w$$

tzn. větší M_{cr} ,
vliv držení je příznivý



nosník při sání (směrem vzhůru)
klopí k vynucené ose v místě přípoje
trapézových plechů

Poznámka:

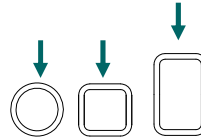
Velmi výhodné pro obecné určení M_{cr} (pro libovolný průběh vnitřních sil M , N a příčné držení) je použití softwaru LTBeamN, volně ke stažení (angl., fr.) na:

<https://www.cticm.com/content/ltbeamn-version-102>

Nosníky, které se neposuzují na stabilitu ("neklopí"):

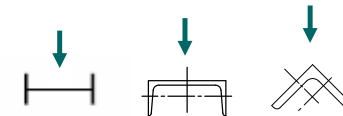
1. Uzavřené průřezy:

Důvod: velké $I_t \Rightarrow$ velký M_{cr}



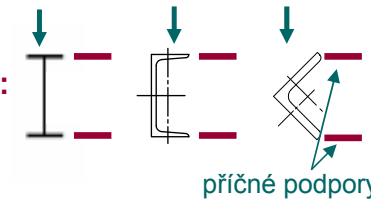
2. Nosníky ohýbané v rovině menší tuhosti:

Důvod: velké $I_z \Rightarrow$ velký M_{cr}



3. Krátký úsek L_{LT} ($\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$) - všechny průřezy, např.:

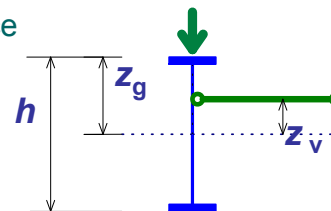
Důvod: $\chi_{LT} \approx 1$



4. Místo úseku L_{LT} stačí souvislé držení pouze „tlačeného“ pásu:

Stačí i "blízko" tlačené pásnice (např. pro I profil do vzdálenosti $\approx h/4$)

zatížena tlačená pásnice



k zabránění klopení je nutné:

$$z_v \geq 0,47 z_g$$

MSP

Posuzuje se pro provozní (= charakteristické) zatížení!

I. Průhyb

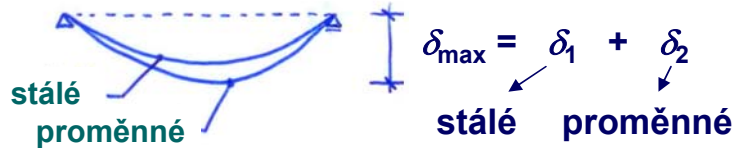
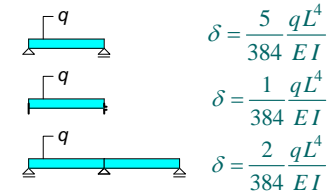
1. Nejprve zjistit, zda je nosník pro provozní zatížení v pružném stavu:

$$M_{Ek} \leq W f_y \quad \text{tzn. pro } \gamma_M = 1 \text{ (lze připustit až mez kluzu)}$$

2. Potom lze pružně stanovit δ :

- vzorce
- princip virtuálních prací
- Mohrovy věty

} umět alespoň 1 způsob!



Posudek průhybů ČR:

		δ_{max}	δ_2
střechy:	vaznice	-	L/200
	vazníky	-	L/250
stropy:	stropnice	-	L/250
	průvlaky	-	L/400

II. Kmitání

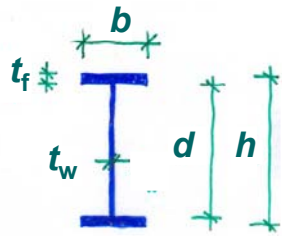
- u pochozích konstrukcí (stropů) : $f_1 > 3 \text{ Hz} \approx \delta_{max} < 28 \text{ mm}$
- u tělocvičen a sálů (rytmický pohyb): $f_1 > 6 \text{ Hz} \approx \delta_{max} < 10 \text{ mm}$



$$f_1 \approx \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EIg}{qL^4}} \quad \left(\begin{array}{l} g - \text{gravitační zrychlení} \\ q - \text{celkové zatížení} \end{array} \right)$$

NNK – ocelové konstrukce (5)

Hospodárný svařovaný nosník v ohybu



Prostý nosník:

$h \approx L/15$ až $L/20$ (u štíhlých nosníků pozor na průhyb)
(spřažené nosníky: $L/25$ až $L/30$)

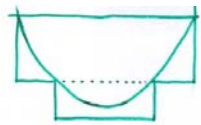
Optimalizace: $A_w/A \approx 0,45$ (ve stojně je méně materiálu)
 $t_w \approx d/100$
 $b \approx 10 t_f$ až $20 t_f$

Úspory materiálu:



odstupňování pásnic

"rozdělení materiálu"



M_{Rd}^1
 M_{Rd}^2

vynést příslušnou únosnost



1:4



1 2

volit různé průřezy:
např. tlustší nebo širší pásnice



další možnost: proměna výšky, postup obdobný