

6 Mezní stavy únosnosti

6.1 Všeobecně

(1) Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu γ_M , definované v 2.4.3, se mají uvažovat pro různé charakteristické hodnoty únosnosti v této kapitole následovně:

- únosnost průřezů kterékoliv třídy: γ_{M0}
- únosnost průřezů při posuzování stability prutů: γ_{M1}
- únosnost průřezů při porušení oslabeného průřezu v tahu: γ_{M2}
- únosnost spojů: viz EN 1993-1-8.

POZNÁMKA 1 Pro další doporučené číselné hodnoty, viz EN 1993-2 až EN 1993-6. Národní příloha může definovat dílčí součinitele γ_{Mi} jiných konstrukcí, které nejsou zahrnuty v EN 1993-2 až EN 1993-6; tyto dílčí součinitele γ_{Mi} se doporučuje určovat podle EN 1993-2.^{NP13)}

POZNÁMKA 2B Dílčí součinitele γ_{Mi} pro pozemní stavby je možné stanovit v národní příloze. Doporučují se následující číselné hodnoty.^{NP14)}

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

6.2 Únosnost průřezů

6.2.1 Všeobecně

(1)P Návrhová hodnota účinku zatížení ve všech částech průřezu nesmí překročit odpovídající návrhovou únosnost. Jestliže několik účinků zatížení působí současně, nesmí jejich kombinovaný účinek překročit únosnost při této kombinaci.

(2) Účinky smykového ochabnutí a účinky lokálního boulení se mají vyjádřit pomocí účinné šířky podle EN 1993-1-5. Účinky smykového boulení se rovněž mají uvažovat podle EN 1993-1-5.

(3) Návrhové hodnoty únosnosti se mají určovat v závislosti na klasifikaci průřezu.

(4) Pružnostní ověření může být pro všechny třídy průřezu provedeno stanovením pružné únosnosti za předpokladu, že při ověření průřezu třídy 4 se počítá s vlastnostmi účinného průřezu.

(5) Při pružnostním ověření může být v rozhodujícím bodu průřezu splněna následující podmínka plasticity, pokud se nepoužije jiný interakční vztah, viz 6.2.8 až 6.2.10:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1 \quad (6.1)$$

kde $\sigma_{x,Ed}$ je návrhová hodnota podélného normálového napětí v uvažovaném bodu;

$\sigma_{z,Ed}$ návrhová hodnota příčného normálového napětí v uvažovaném bodu;

τ_{Ed} návrhová hodnota smykového napětí v uvažovaném bodu.

POZNÁMKA Ověření podle (5) může být konzervativní, protože nepočítá s částečným plastickým rozdělením napětí, dovoleným v pružnostním návrhu. Proto se má použít pouze tehdy, když nemůže být použita interakce založená na únosnostech N_{Rd} , M_{Rd} a V_{Rd} .

(6) Plastická únosnost průřezů se má ověřit pomocí rozdělení napětí, která nepřekračují mez kluzu a jsou v rovnováze s vnitřními silami. Toto rozdělení napětí má být v souladu s vyvolanými plastickými deformacemi.

^{NP13)} NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NA.2.13.

^{NP14)} NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NA.2.14.

(7) Pro všechny třídy průřezu je možné použít konzervativní lineární sumaci složek využití průřezu pro všechny složky výslednice napětí. Pro průřezy třídy 1, 2 nebo 3, namáhané kombinací N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ a $M_{z,Ed}$ je možné v tomto případě použít následující vztah:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$

kde N_{Rd} , $M_{y,Rd}$ a $M_{z,Rd}$ jsou návrhové hodnoty únosnosti, určené v závislosti na klasifikaci průřezu, včetně jejich redukce v důsledku účinků smyku, viz 6.2.8.

POZNÁMKA Pro průřezy třídy 4, viz 6.2.9.3(2).

(8) Jestliže všechny tlačené části průřezu jsou alespoň třídy 2, lze uvažovat, že průřez je schopný rozvinout plnou plastickou únosnost za ohybu.

(9) Jestliže všechny tlačené části průřezu jsou třídy 3, má se jeho únosnost stanovit pro pružnostní rozdělení napětí po průřezu. Tlaková napětí v nejvíce namáhaných vláknech mají být omezena hodnotou meze kluzu.

POZNÁMKA Při posuzování mezních stavů únosnosti je možné za nejvíce namáhaná vlákna považovat vlákna ve střední rovině pásnic. Pro výpočet na únavu, viz EN 1993-1-9.

(10) Jestliže první plastifikace nastane na tažené straně průřezu, je možné při určení únosnosti průřezů třídy 3 využít částečnou plastickou rezervu tažené oblasti.

6.2.2 Vlastnosti průřezu

6.2.2.1 Neoslabený průřez

(1) Vlastnosti neoslabeného průřezu se mají stanovit s použitím jmenovitých rozměrů. Díry pro spojovací prostředky není potřebné odečítat, má se však brát zřetel na větší otvory. Příložky ve spojích se nemají do průřezu uvažovat.

6.2.2.2 Oslabená plocha

(1) Oslabená plocha průřezu se má uvažovat jako plocha neoslabeného průřezu, zmenšená vhodným způsobem o všechny díry a jiné otvory.

(2) Při výpočtu průřezových charakteristik oslabeného průřezu se má od plochy neoslabeného průřezu odečíst plocha jednotlivých děr pro spojovací prostředky v rovině jejich osy. U děr pro zapuštěné spojovací prostředky se má přiměřeně uvážit tvar zapuštění.

(3) Jestliže díry pro spojovací prostředky nejsou vystřídáné, má se celková plocha oslabení určit jako největší součet průřezových ploch děr v libovolném řezu, kolmém k ose prutu (viz čáru porušení Σ na obrázku 6.1).

POZNÁMKA Největší součet určuje polohu rozhodující lomové čáry.

(4) Jestliže jsou díry pro spojovací prostředky vystřídáné, má se celková plocha oslabení určit jako větší z hodnot:

– oslabení pro nevystřídáné díry podle (3);

$$– t \left(nd_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right) \quad (6.3)$$

kde s je rozteč vystřídáných děr, která se rovná vzdálenosti středů dvou děr v sousedních řadách, měřená rovnoběžně s osou prutu;

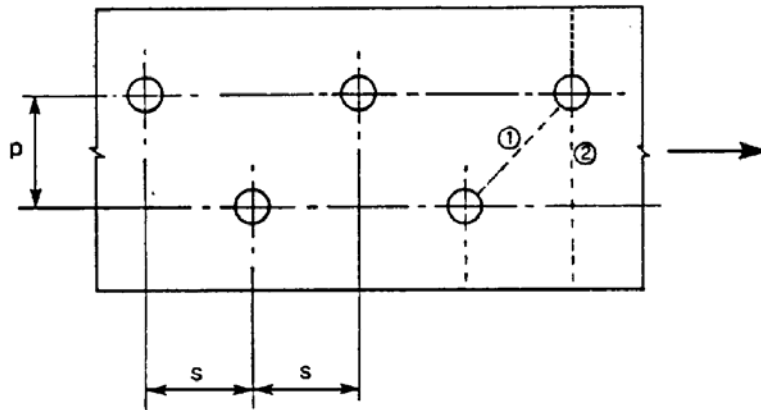
p rozteč středů dvou děr v sousedních řadách, měřená kolmo k ose prutu;

t tloušťka;

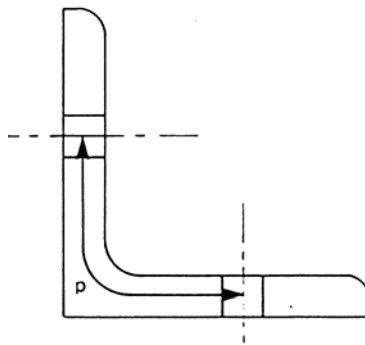
n počet děr v libovolné šikmé nebo lomené čáře po šířce prutu nebo části prutu, viz obrázek 6.1;

d_0 průměr díry.

(5) U úhelníků nebo jiných profilů s dírami ve více než jedné rovině, se má rozteč p měřit uprostřed tloušťky materiálu, viz obrázek 6.2.



Obrázek 6.1 – Vystřídané díry a rozhodující lomové čáry 1 a 2



Obrázek 6.2 – Úhelník s dírami v obou ramenech

6.2.2.3 Účinky smykového ochabnutí

- (1) Výpočet účinných šířek je uveden v EN 1993-1-5.
- (2) U průřezů třídy 4 se má interakce smykového ochabnutí a lokálního boulení uvažovat podle EN 1993-1-5.

POZNÁMKA Pro tenkostěnné za studena tvarované pruty, viz EN 1993-1-3.

6.2.2.4 Účinné vlastnosti průřezů se stojinou třídy 3 a pásnicemi třídy 1 nebo 2

- (1) Jestliže se průřezy se stojinou třídy 3 a pásnicemi třídy 1 nebo 2 klasifikují jako účinné průřezy třídy 2, viz 5.5.2(11), potom se má účinný průřez vytvořit v souladu s obrázkem 6.3 tak, že tlačená část stojiny se nahradí částí o výšce $20 \epsilon_t w$ přiléhající k tlačené pásnici a další částí o výšce $20 \epsilon_t w$, umístěné u plastické neutrální osy.

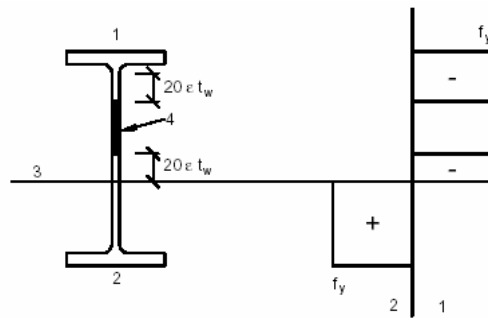
6.2.2.5 Účinné vlastnosti průřezů třídy 4

- (1) Účinné vlastnosti průřezu třídy 4 se mají stanovit podle účinných šířek jeho tlačných částí.
- (2) Pro tenkostěnné za studena tvarované průřezy, viz 1.1.2(1) a EN 1993-1-3.
- (3) Účinné šířky rovinných tlačných částí se mají stanovit podle EN 1993-1-5.
- (4) Jestliže průřez třídy 4 je namáhán osovou silou, má se posun e_N těžiště účinné plochy A_{eff} od těžiště plného průřezu má stanovit postupem podle EN 1993-1-5. Tomu odpovídá přídatný moment:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} e_N \quad (6.4)$$

POZNÁMKA Znaménko přídatného momentu závisí na účinku kombinace vnitřních sil, viz 6.2.9.3(2).

- (5) Pro kruhové duté průřezy třídy 4, viz EN 1993-1-6.



Legenda:

- | | |
|--------|---------------------------|
| 1 tlak | 3 plastická neutrální osa |
| 2 tah | 4 zanedbaná část stojiny |

Obrázek 6.3 – Stojina účinného průřezu třídy 2

6.2.3 Tah

(1)P Návrhová hodnota tahové síly N_{Ed} musí v každém průřezu splňovat podmínku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.5)$$

(2) Pro průřezy s dírami se návrhová únosnost v tahu $N_{t,Rd}$ má stanovit jako menší z hodnot:

a) návrhová plastická únosnost neoslabeného průřezu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.6)$$

b) návrhová únosnost průřezu oslabeného dírami pro spojovací prostředky:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.7)$$

(3) Při požadavku na návrh na únosnost podle EN 1998 má být návrhová plastická únosnost $N_{pl,Rd}$ podle (2)a) menší než návrhová únosnost průřezu oslabeného dírami pro spojovací prostředky $N_{u,Rd}$ podle (2)b).

(4) U spojů kategorie C, viz EN 1993-1-8, 3.4.2(1), se má návrhová únosnost v tahu $N_{t,Rd}$ v (1) pro průřezy oslabené dírami pro spojovací prostředky uvažovat jako hodnota $N_{net,Rd}$, která se stanoví z výrazu:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.8)$$

(5) Pro úhelníky připojené jedním ramenem, viz také EN 1993-1-8, 3.6.3. Obdobně se má postupovat u jiných typů průřezů s nepřipojenými odstávajícími částmi.

6.2.4 Tlak

(1)P Návrhová hodnota tlakové síly N_{Ed} musí v každém průřezu splňovat podmínku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.9)$$

(2) Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku $N_{c,Rd}$ se má stanovit z výrazu:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 1, 2 nebo 3} \quad (6.10)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 4} \quad (6.11)$$

(3) Vyplněné díry pro spojovací prostředky se v tlačенých prutech nemusí uvažovat, kromě nadměrných a oválných děr, definovaných v EN 1090.

(4) U nesymetrických průřezů třídy 4 se má postupovat podle 6.2.9.3 a uvažovat přídatný moment ΔM_{Ed} , plynoucí z posunu těžišťové osy účinného průřezu, viz 6.2.2.5(4).

6.2.5 Ohybový moment

(1)P Návrhová hodnota ohybového momentu M_{Ed} musí v každém průřezu splňovat podmínku:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.12)$$

kde $M_{c,Rd}$ se určí s uvážením děr pro spojovací prostředky, viz (4) až (6).

(2) Návrhová únosnost v ohybu k některé hlavní ose průřezu se stanoví z výrazů:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 1 nebo 2} \quad (6.13)$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 3} \quad (6.14)$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pro průřezy třídy 4} \quad (6.15)$$

kde $W_{el,min}$ a $W_{eff,min}$ odpovídají vláknům s největším pružným napětím.

(3) Při ohybu okolo obou os průřezu se má použít postup podle 6.2.9.

(4) Díry pro spojovací prostředky v tažené pásnici je možné zanedbat, jestliže je pro taženou pásnici splněna podmínka:

$$\frac{A_{f,net} 0,9 f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.16)$$

kde A_f je plocha tažené pásnice.

POZNÁMKA Podmínka v (4) zajišťuje návrh na únosnost v oblasti plastických kloubů, viz 1.5.8.

(5) Díry pro spojovací prostředky v tažené části stojiny je možné zanedbat, jestliže podmínka v (4) je splněna v celé tažené oblasti, zahrnující taženou pásnici i taženou část stojiny.

(6) Vyplněné díry pro spojovací prostředky je možné v tlačené oblasti průřezu zanedbat, kromě nadměrných a oválných děr.

6.2.6 Smyk

(1)P Návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} musí v každé části průřezu splňovat podmínku:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.17)$$

kde $V_{c,Rd}$ je návrhová únosnost ve smyku. V plasticitním návrhu se $V_{c,Rd}$ uvažuje jako návrhová plastická únosnost ve smyku $V_{pl,Rd}$ podle (2), v pružnostním návrhu se $V_{c,Rd}$ uvažuje jako návrhová pružná únosnost ve smyku, která se vypočte podle (4) a (5).

(2) Jestliže nepůsobí kroucení, určí se návrhová plastická únosnost ve smyku z výrazu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (6.18)$$

kde A_v je smyková plocha.

(3) Smyková plocha A_v se může uvažovat následovně:

a) válcované I a H průřezy, zatížené rovnoběžně se stojinou: $A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$ ale ne méně než $\eta h_w t_w$;

b) válcované U průřezy, zatížené rovnoběžně se stojinou: $A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$;

c) válcované T průřezy, zatížené rovnoběžně se stojinou: $0,9(A - bt_f)$;

d) svařované I, H a pravouhlé duté průřezy, zatížené rovnoběžně se stojinami: $\eta \sum (h_w t_w)$

e) svařované I, H, U a pravouhlé duté průřezy, zatížené rovnoběžně s pásnicemi: $A - \sum (h_w t_w)$

f) válcované pravouhlé duté průřezy s konstantní tloušťkou stěny:

zatížené rovnoběžně s výškou: $Ah/(b+h)$

zatížené rovnoběžně se šířkou: $Ab/(b+h)$

g) kruhové duté průřezy s konstantní tloušťkou stěny: $2A/\pi$

kde A je průřezová plocha;

b celková šířka;

h celková výška;

h_w výška stojiny;

r poloměr zaoblení;

t_f tloušťka pásnice;

t_w tloušťka stojiny (jestliže není konstantní, má se uvažovat nejmenší tloušťka);

η viz EN 1993-1-5.

POZNÁMKA Konzervativně je možné uvažovat $\eta = 1,0$.

(4) Jestliže se neposuzuje boulení podle EN 1993-1-5, kapitola 5, může se návrhová pružná smyková únosnost $V_{c,Rd}$ v rozhodujícím bodu průřezu ověřit podle vztahu:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0 \quad (6.19)$$

kde τ_{Ed} lze určit ze vztahu:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t} \quad (6.20)$$

kde V_{Ed} je návrhová hodnota smykové síly;

S statický moment v místě posuzovaného bodu k těžišťové ose průřezu;

I moment setrvačnosti celého průřezu;

t tloušťka v posuzovaném bodu.

POZNÁMKA Ověření podle (4) je konzervativní, protože nepočítá s částečným plastickým smykovým rozdělením napětí, dovoleným v pružnostním návrhu, viz (5). Proto se má použít pouze tehdy, když není možné uplatnit posouzení s $V_{c,Rd}$ ve vztahu (6.17).

(5) Pro I a H průřezy se smykové napětí ve stojině může stanovit z výrazu:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \quad \text{jestliže } A_f/A_w \geq 0,6 \quad (6.21)$$

kde A_f je plocha jedné pásnice;

A_w plocha stojiny: $A_w = h_w t_w$.

(6) Dále se má podle EN 1993-1-5, kapitola 5, posoudit smyková únosnost stojiny bez mezilehlých výztuh při boulení, jestliže je:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (6.22)$$

Pro stanovení η , viz EN 1993-1-5, kapitola 5.

POZNÁMKA η je možné konzervativně uvažovat rovno 1,00.

(7) Díry pro spojovací prostředky není nutné při posuzování smyku uvažovat, kromě ověřování návrhové smykové únosnosti oblastí spoje podle EN 1993-1-8.

(8) Jestliže smyková síla působí v kombinaci s krouticím momentem, má se plastická smyková únosnost $V_{pl,Rd}$ redukovat podle 6.2.7(9).

6.2.7 Kroucení

(1) Pro pruty namáhané kroucením, u kterých je možné zanedbat jejich distorzní deformace, má návrhová hodnota krouticího momentu T_{Ed} ve všech průřezích splňovat podmínku:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0 \quad (6.23)$$

kde T_{Rd} je návrhová únosnost průřezu v kroucení.

(2) Celkový krouticí moment T_{Ed} se ve všech průřezích má uvažovat jako součet dvou vnitřních účinků:

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed} \quad (6.24)$$

kde $T_{t,Ed}$ je moment prostého kroucení (St. Venant);

$T_{w,Ed}$ moment vázaného kroucení.

(3) Hodnoty $T_{t,Ed}$ a $T_{w,Ed}$ se ve všech průřezích mohou stanovit z T_{Ed} pomocí pružnostní analýzy s uvážením průřezových vlastností prutu, podmínek podepření prutu na jeho koncích a rozdělení zatížení po délce prutu.

(4) Mají se uvažovat následující napětí, vyvolaná kroucením:

- smykové napětí $\tau_{t,Ed}$ od momentu prostého kroucení $T_{t,Ed}$;
- normálové napětí $\sigma_{w,Ed}$ od bimomentu B_{Ed} a smykové napětí $\tau_{w,Ed}$ od momentu vázaného kroucení $T_{w,Ed}$.

(5) Pro pružnostní ověření se může použít podmínka plasticity 6.2.1(5).

(6) Pro stanovení plastického momentu únosnosti průřezu při působení ohybu a kroucení se pouze bimoment B_{Ed} má určit z pružnostní analýzy, viz (3).

(7) Pro zjednodušení je možné u prutů s uzavřeným dutým průřezem (jako jsou konstrukční duté profily) předpokládat, že účinky vázaného kroucení je možné zanedbat. Také je možné pro zjednodušení předpokládat, že u prutů s otevřeným průřezem (jako jsou I a H profily) je možné zanedbat účinky prostého kroucení.^{NP)}

(8) Pro výpočet únosnosti T_{Rd} uzavřených dutých průřezů se má uvažovat návrhová pevnost jednotlivých částí průřezu ve smyku podle EN 1993-1-5.

(9) Při kombinaci smykové síly a krouticího momentu se má plastická únosnost ve smyku redukovat vzhledem k účinkům kroucení z hodnoty $V_{pl,Rd}$ na $V_{pl,T,Rd}$. Návrhová smyková síla má splňovat podmínku:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad (6.25)$$

kde $V_{pl,T,Rd}$ je možné odvodit následovně:

- pro I nebo H průřezy:

^{NP)} NÁRODNÍ POZNÁMKA Viz národní příloha, NB.2

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 (f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} \quad (6.26)$$

– pro U průřezy:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 (f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} \quad (6.27)$$

– pro konstrukční duté průřezy:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} \quad (6.28)$$

kde $V_{pl,Rd}$ se určí podle 6.2.6.

6.2.8 Ohyb a smyk

(1) Při stanovení únosnosti průřezu v ohybu se má uvažovat účinek smykové síly.

(2) Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat, kromě případů, kdy smykové boulení snižuje únosnost průřezu, viz EN 1993-1-5.

(3) Jinak se redukovaná únosnost v ohybu má stanovit jako návrhová únosnost průřezu, vypočtená s použitím redukované meze kluzu:

$$(1 - \rho)f_y \quad (6.29)$$

pro smykovou plochu,

kde $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ a $V_{pl,Rd}$ se určí podle 6.2.6(2).

POZNÁMKA Viz také 6.2.10(3).

(4) Jestliže působí kroucení, ρ se má stanovit z výrazu $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2$, viz 6.2.7, ale má se brát rovno 0 pro $V_{Ed} \leq 0,5V_{pl,T,Rd}$.

(5) Pro I průřezy se stejnými pánsnicemi, ohýbané okolo osy větší tuhosti, je možné únosnost průřezu v ohybu, redukovanou v důsledku smykové síly, alternativně stanovit z výrazu:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4 t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{ale } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd} \quad (6.30)$$

kde $M_{y,c,Rd}$ se určí podle 6.2.5(2) a $A_w = h_w t_w$.

(6) Pro interakci ohybu, smyku a příčného zatížení, viz EN 1993-1-5, kapitola 7.

6.2.9 Ohyb a osová síla

6.2.9.1 Průřezy třídy 1 a 2

(1) Při stanovení plastické únosnosti průřezu v ohybu se má uvažovat účinek osově síly.

(2)P Pro průřezy třídy 1 a 2 musí být splněna podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (6.31)$$

kde $M_{N,Rd}$ je návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly N_{Ed} .

(3) Pro pravoúhloú plnou tyč bez děr pro šrouby se má $M_{N,Rd}$ stanovit z výrazu:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[1 - \left(N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right)^2 \right] \quad (6.32)$$

(4) Pro dvojose symetrické I a H průřezy nebo jiné průřezy s pásnicemi není nutné uvažovat účinek osově síly na plastický moment únosnosti při ohybu okolo osy y-y, jestliže jsou splněny obě následující podmínky:

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad (6.33)$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.34)$$

Pro dvojose symetrické I a H průřezy není nutné uvažovat účinek osově síly na plastický moment únosnosti při ohybu okolo osy z-z, pokud je splněna podmínka:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

(5) Pro válcované I nebo H průřezy a pro svařované I nebo H průřezy se stejnými pásnicemi bez děr pro šrouby, je možné použít následující přibližné vztahy:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1-n)/(1-0,5a) \quad \text{ale} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \quad (6.36)$$

$$\text{pro } n \leq a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \quad (6.37)$$

$$\text{pro } n > a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad (6.38)$$

$$\text{kde } n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$$

$$a = (A-2bt_f)/A \quad \text{ale} \quad a \leq 0,5$$

Pro pravoúhlé duté konstrukční průřezy stejné tloušťky a pro svařované pravoúhlé duté průřezy se stejnými pásnicemi a stejnými stojinami bez děr pro šrouby je možné použít následující přibližné vztahy:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1-n)/(1-0,5a_w) \quad \text{ale} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \quad (6.39)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1-n)/(1-0,5a_f) \quad \text{ale} \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd} \quad (6.40)$$

$$\text{kde } a_w = (A-2bt_f)/A \quad \text{ale} \quad a_w \leq 0,5 \quad \text{pro duté průřezy;}$$

$$a_w = (A-2bt_f)/A \quad \text{ale} \quad a_w \leq 0,5 \quad \text{pro svařované duté průřezy;}$$

$$a_f = (A-2ht)/A \quad \text{ale} \quad a_f \leq 0,5 \quad \text{pro duté průřezy;}$$

$$a_f = (A-2ht_w)/A \quad \text{ale} \quad a_f \leq 0,5 \quad \text{pro svařované duté průřezy.}$$

(6) Pro šikmý ohyb lze použít vztah:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad (6.41)$$

kde α a β jsou konstanty, které je možné konzervativně uvažovat hodnotou 1,0. Jinak je možné počítat:

$$- \text{ pro I a H průřezy:} \quad \alpha = 2; \beta = 5n \quad \text{ale } \beta \geq 1$$

$$- \text{ pro kruhové duté průřezy:} \quad \alpha = 2; \beta = 2$$

$$- \text{ pro pravoúhlé duté průřezy:} \quad \alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13n^2} \quad \text{ale } \alpha = \beta \leq 6$$

$$\text{kde } n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} .$$

6.2.9.2 Průřezy třídy 3

(1)P Když nepůsobí smyková síla, pak největší podélné normálové napětí v průřezu třídy 3 musí vyhovovat podmínce:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.42)$$

kde $\sigma_{x,Ed}$ je návrhová hodnota místního podélného napětí od momentu a osově síly, určená podle potřeby s uvážením děr pro šrouby, viz 6.2.3, 6.2.4 a 6.2.5.

6.2.9.3 Průřezy třídy 4

(1)P Když nepůsobí smyková síla, pak největší podélné normálové napětí v průřezu třídy 4, stanovené pro účinný průřez, viz 5.5.2(2), musí vyhovovat podmínce:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.43)$$

kde $\sigma_{x,Ed}$ je návrhová hodnota místního podélného normálové napětí od momentu a osově síly, určená podle potřeby s uvážením děr pro šrouby, viz 6.2.3, 6.2.4 a 6.2.5.

(2) Má se použít následující podmínka:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \quad (6.44)$$

kde A_{eff} je účinná plocha rovnoměrně tlačенého průřezu;

$W_{eff,min}$ účinný modul průřezu (odpovídající vláknu s největším pružným napětím), který je namáhán pouze momentem okolo příslušné osy;

e_N posun příslušné těžišťové osy rovnoměrně tlačенého průřezu, viz 6.2.2.5(4).

POZNÁMKA Znaménka N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ a $\Delta M_i = N_{Ed} e_{Ni}$ se stanoví podle kombinace příslušných normálových napětí.

6.2.10 Ohyb, smyk a osová síla

(1) Při stanovení únosnosti průřezu v ohybu se má uvažovat účinek smyku a osově síly.

(2) Jestliže návrhová hodnota smykové síly V_{Ed} není větší než 50 % návrhové plastické smykové únosnosti $V_{pl,Rd}$, je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly podle 6.2.9, kromě případů, kdy smykové boulení snižuje únosnost průřezu, viz EN 1993-1-5.

(3) Jestliže V_{Ed} je větší než 50 % $V_{pl,Rd}$, má se návrhová únosnost průřezu při kombinaci momentu a osově síly vypočítat s použitím redukované meze kluzu:

$$(1-\rho)f_y \quad \text{pro smykovou plochu,} \quad (6.45)$$

kde $\rho = (2V_{Ed}/V_{pl,Rd} - 1)^2$ a $V_{pl,Rd}$ se určí podle 6.2.6(2).

POZNÁMKA Místo redukce meze kluzu je také možné redukovat tloušťky příslušných částí průřezu.