

NCCI: Pravidla pro návrh nosníků s otvory ve stojinách

Tento NCCI dokument seznamuje s pravidly pro návrh nosníků s kruhovými nebo obdélníkovými otvory ve stojinách. Uvedené postupy jsou použitelné pro spřažené a ocelové nosníky.

Obsah

1.	Úvod	2
2.	Zjednodušený návrh nosníků s ojedinělými otvory	2
3.	Podrobný návrh pro obecné použití	4
4.	Nosníky navržené výpočetními programy	15
5.	Literatura	16

1. Úvod

Součástí mnoha budov jsou konstrukce a pásma pro rozvody technických zařízení, která jsou obvykle umístěná pod stropními konstrukcemi, tj. ve stejné úrovni se stropními nosníky, tak aby nebyla redukována světlá výška podlaží. V těchto integrovaných konstrukcích jsou často ve stropních nosnících provedeny otvory různého typu a velikosti. Tyto otvory mohou být ve tvaru pravidelných kruhových otvorů (prolamované nosníky s kruhovými otvory) nebo ojedinelých obdélníkových otvorů ve válcovaných či svařovaných nosnících.

Tento NCCI dokument seznamuje se třemi přístupy, od nejjednodušší po nejsložitější úroveň řešení, pro navrhování nosníků s otvory ve stojinách.

2. Zjednodušený návrh nosníků s ojedinelými otvory

2.1 Kruhové otvory

Nevyztužené otvory

Nevyztužené kruhové otvory mohou být ve stěně nosníku umístěny bez dalšího posouzení účinků otvorů na průřezové charakteristiky v případě splnění následujících předpokladů:

- a) Prvek je třídy 1 nebo 2.
- b) Otvory jsou umístěny ve střední třetině výšky nosníku.
- c) Otvory jsou umístěny na střednicové ose nosníku.
- d) Otvory jsou umístěny ve středu rozpětí nosníku.
- e) Rozestup mezi středy dvou sousedních otvorů měřený ve směru osy prvku není menší než 2,5 krát průměr většího z otvorů.
- f) Vzdálenost od osy každého otvoru k nejbližšímu zatíženému bodu není menší než výška prvku.
- g) Prvek je zatížen převážně rovnoměrně rozděleným zatížením.
- h) Maximální smyková síla v prvku nepřevyšuje 50% smykové únosnosti redukováného průřezu.

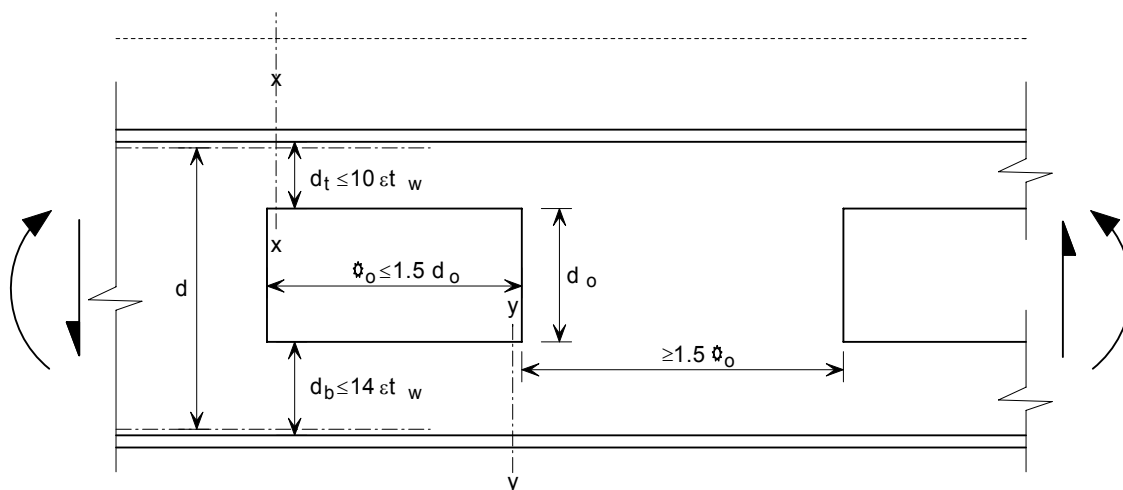
2.2 Obdélníkové otvory

Jednotlivé obdélníkové otvory mohou být rozmístěny po délce nosníku za předpokladu, že geometrie a vzdálenost otvorů splňuje omezení uvedená níže.

Zesílením stojiny nad a pod obdélníkovým otvorem lze vyrovnat ztrátu únosnosti ve smyku. Vyztužení má být provedeno okolo otvoru v takové vzdálenosti, aby lokální smykové napětí způsobené přenosem síly mezi výztuhou a stojinou, nepřekročilo hodnotu $f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$.

Nevyztužené otvory

- Výška stojiny nad a pod otvorem má splňovat meze uvedené na obrázku 2.1.
- Výška otvoru nemá překročit $0,6 \times$ výšku nosníku.
- Délka otvoru nemá překročit $1,5 \times$ výšku otvoru.
- Vzdálenost mezi okraji otvorů má být alespoň $1,5 \times$ délka delšího z otvorů.
- Smykové napětí pro oslabenou smykovou plochu v místě otvoru nemá překročit hodnotu $f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$.
- Napětí v řezech XX a YY v obrázku 2.1 má pro lokální osově síly splňovat podmínky uvedené v [EN 1993-1-1 §6.2.10](#). Při stanovení smyku a ohybu na ekvivalentním Vierendeelově nosníku se nemá uvažovat s vlivem spřažené ocelobetonové desky.
- Vzdálenost jakékoliv části otvoru k nejbližšímu zatíženému bodu nemá být menší než polovina výšky prvku (nebo průmět pod 45° z horní hrany nosníku).

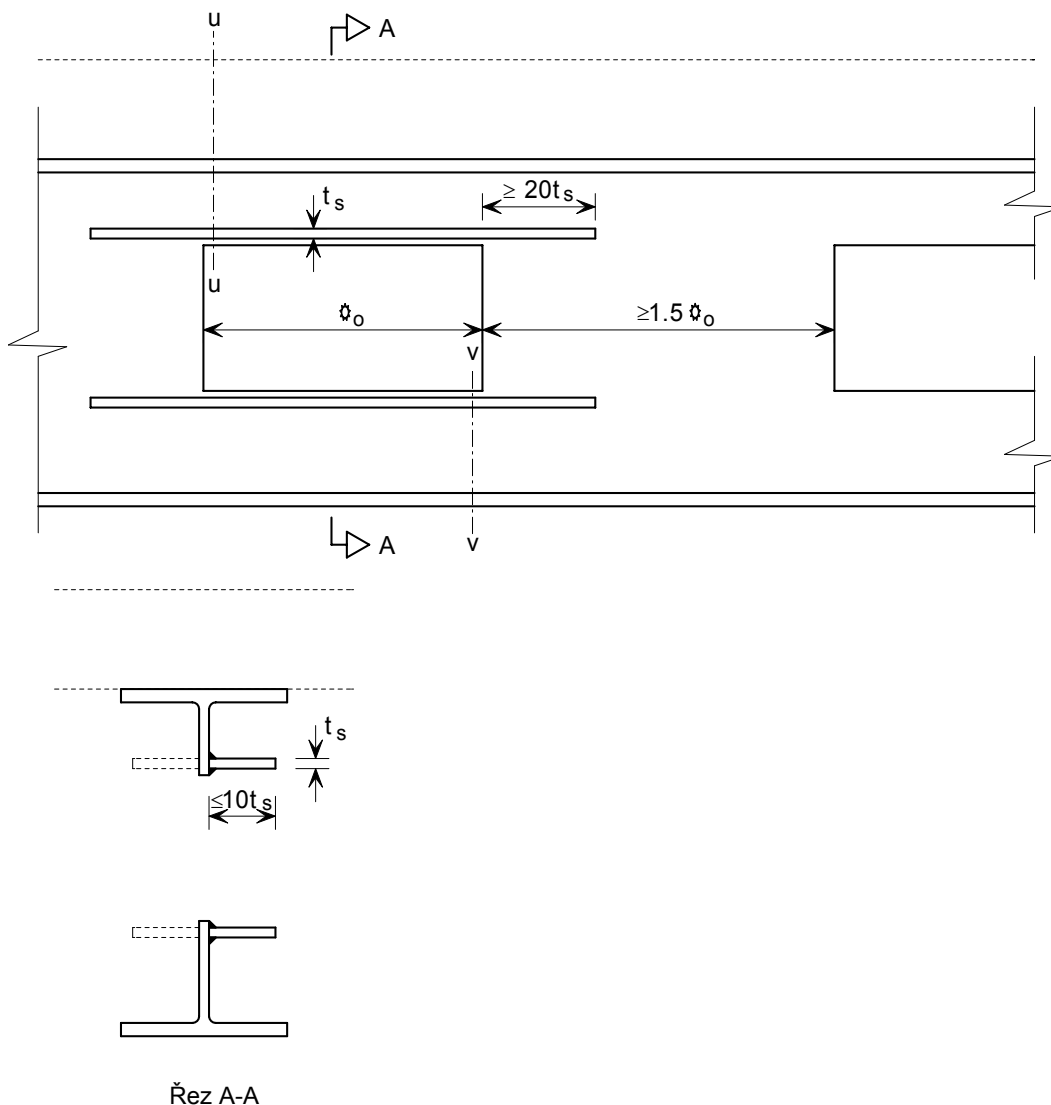


Obrázek 2.1 Rozměry nevyztužených otvorů

Vyztužené otvory

- Rozměry vyztužení a vzdálenosti mezi otvory mají splňovat požadavky uvedené na obrázku 2.2. Minimální přesah výztuh okolo otvorů má být alespoň $20t_s$, kde t_s je tloušťka výztuhy.
- Vodorovná osa otvoru má být umístěna do vzdálenosti menší než $d/10$ od podélné osy nosníku.
- Smykové napětí pro oslabenou smykovou plochu v místě otvoru nemá překročit hodnotu $f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$.
- Napětí v řezech UU a VV na obrázku 2.2 při působení lokální osově síly, ohybu na ekvivalentním Vierendeelově nosníku a smykové síly mají splňovat podmínky uvedené v [EN 1993-1-1 §6.2.10](#). Při stanovení smyku a ohybu na ekvivalentním Vierendeelově nosníku je svislý smyk rozdělen stejným dílem na horní a dolní T-pás, zároveň nemá být uvažován vliv spřažené ocelobetonové desky.

- e) Vzdálenost jakékoliv části otvoru k nejbližšímu zatíženému bodu nemá být menší než výška nosníku.



Obrázek 2.2 Rozměry vyztužených otvorů

3. Podrobný návrh pro obecné použití

Návrhová metoda popsaná níže je založena na doporučeních uvedených v [1], která je částí závěrečné zprávy projektu RFCS *Velké otvory ve stěnách nosníků pro rozvody technických zařízení v ocelobetonových stropních konstrukcích*. Metoda je použitelná jak pro ocelobetonové tak i pro ocelové nosníky. Při použití metody pro ocelové nosníky se mají zanedbat členy pro betonové nebo spřažené desky včetně jejich vlivu na posouzení. Pravidla se vztahují na prolamované nosníky s kruhovými otvory i na nosníky s ojedinělými otvory. Metoda rovněž zahrnuje postupy pro nosníky s vyztuženými otvory.

3.1 Použité značení

A_b	průřezová plocha dolního T průřezu
A_f	průřezová plocha pásnice
A_s	průřezová plocha vodorovné výztuhy
A_t	průřezová plocha horního T průřezu
A_w	průřezová plocha stojiny T-pásu = $d_t t_{w,eff}$
b_f	šířka pásnice ocelového nosníku
d_o	výška otvoru (nebo průměr)
d_t	výška stojiny horního T-pásu
d_b	výška stojiny dolního T-pásu
e	excentricita osy otvoru od osy nosníku
e_s	vzdálenost odsazení středu výztuhy od hrany stojiny
f_{cd}	návrhová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_y	mez kluzu oceli
h	výška ocelového průřezu
h_{eff}	účinná výška ocelového průřezu mezi těžišti T-pásů
h_p	výška krycího profilu
h_s	tloušťka desky
$h_{s,eff}$	účinná výška ke středu tlačené části desky
k_ℓ	redukční součinitel zohledňující délku otvoru
ℓ_e	vzpěrná délka sloupku stojiny při vybočení
ℓ_o	délka otvoru
$M(x)$	celkový ohybový moment v bodu x od přilehlé podpory
$M_{b,red}$	redukovaná ohybová únosnost dolního T-pásu způsobená osovým tahem
$M_{el,T,red}$	redukovaná pružná únosnost T-pásu
M_h	moment působící na sloupek stojiny
$M_{h,e}$	pružná ohybová únosnost sloupku stojiny
$M_{c,e}$	moment vyvolaný lokálním účinkem spřažení mezi horním T-pásem a deskou na délce s
$M_{pl,T,red}$	redukovaná plastická únosnost T-pásu
M_v	ohybový moment na ekvivalentním Vierendeelově nosníku
$M_{vc,Rd}$	momentová únosnost na ekvivalentním Vierendeelově nosníku vyvolaná lokálním účinkem spřažení

n_{sc}	počet spřahovacích prvků mezi středy sousedních otvorů
$n_{sc}(x)$	počet spřahovacích prvků od podpory do bodu (x)
$n_{sc,o}$	počet spřahovacích prvků na délce ℓ_o
$N(x)$	tahová osová síla v dolním T-pásu v bodu (x)
$N_c(x)$	tlaková síla v desce v bodu (x)
N_{el}	pružná únosnost v tlaku T-pásu včetně výšky stojiny, tj. průřez splňuje limity pro třídu 3
N_{pl}	plastická únosnost v tlaku T-pásu včetně výšky stojiny, tj. průřez splňuje limity pro třídu 2
P_d	návrhová únosnost spřahovacího prvku
r	poloměr zaoblení válcovaného profilu
s	vzdálenost středů otvorů
s_o	vzdálenost okrajů otvorů
t_f	tloušťka pásnice
t_{fb}	tloušťka dolní pásnice
t_{ft}	tloušťka horní pásnice
t_w	tloušťka stojiny
t_{wb}	tloušťka dolní části stojiny
$t_{w,eff}$	účinná tloušťka stěny
t_{wt}	tloušťka horní části stěny
$V_{b,Rd}$	návrhová únosnost ve smyku dolního T-pásu
$V_{c,Rd}$	návrhová únosnost desky ve smyku
V_{Ed}	působící smyková síla v ose otvoru
V_h	smyk v sloupku stojiny ve vodorovném směru
$V_{h,eff}$	účinná smyková síla ve vodorovném směru způsobená kombinací momentu a smyku
$V_{h,Rd}$	návrhová únosnost ve smyku sloupku stojiny ve vodorovném směru
$V_{t,Rd}$	návrhová smyková únosnost horního T-pásu
x	vzdálenost od podpory k nejbližšímu okraji otvoru
y_{et}	vzdálenost pružné neutrální osy horního T-pásu pod horní pásnici
δ_{add}	přídavný průhyb způsobený ojedinělým otvorem
δ_b	prostý průhyb nosníku namáhaného ohybem
ν_c	účinný součinitel betonu s trhlinami podle EN 1992-1-1
σ_c	napětí v tlaku působící ve sloupku stojiny
$\sigma_{c,Rd}$	pevnost v tlaku sloupku stojiny

3.2 Klasifikace průřezů

Pro průřezy nosníků třídy 1 a 2 mohou být použity plastické průřezové charakteristiky. Pro nosníky třídy 3 a 4 se použijí pružné průřezové charakteristiky.

Klasifikace pásnice

Pro klasifikaci pásnic mohou být použity postupy uvedené v EN 1993-1-1 a EN 1994-1-1. U spřažených nosníků může být pásnice obecně uvažována jako třída 2 s ohledem na spojení nosníků s deskou pomocí spřahovacích prostředků.

Klasifikace stojiny T-pásu

Stojina T-pásu může být klasifikována následovně:

Třída 2

$$\ell_o \leq 32t_w \varepsilon \quad \text{nebo} \quad d_t \leq \frac{10t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{32t_w \varepsilon}{\ell_o}\right)^2}} \quad (1)$$

Třída 3

$$\ell_o \leq 36t_w \varepsilon \quad \text{nebo} \quad d_t \leq \frac{14t_w \varepsilon}{\sqrt{1 - \left(\frac{36t_w \varepsilon}{\ell_o}\right)^2}} \quad (2)$$

Při posouzení stability stojiny může být za účinnou délku otvoru ℓ_o brána skutečná délka pravoúhlých otvorů, $0,7d_o$ u kruhových otvorů a u oválných otvorů skutečná délka snižená o $0,3d_o$.

Účinek osově tahové síly na klasifikaci průřezu

Klasifikace průřezu u nevyztuženého T-pásu je upravena, pokud je dolní T-pás namáhán tahem.

Stojina třídy 3 může být považována za průřez třídy 2, pokud platí:

$$\frac{N(x)}{A_b f_y} \geq 1 - \frac{20t_w^2 \varepsilon f_y}{A_b f_y} \quad (3)$$

Stojina třídy 4 může být považována za průřez třídy 3, pokud platí:

$$d_b \leq \frac{14t_w \varepsilon'}{\sqrt{1 - (36t_w \varepsilon' / \ell_o)^2}} \quad (4)$$

a pokud

$$\ell_o > 36t_w \varepsilon',$$

kde

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 - N(x)/(A_b p_y)}}.$$

3.3 Únosnost ve smyku

Únosnost ve smyku T-pásu

Únosnost ve smyku horního a dolního T-pásu svařovaných ocelových průřezů se určí jako:

$$V_{t,Rd} = d_t t_{wt} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) \quad (5)$$

a

$$V_{b,Rd} = d_b t_{wb} f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3})$$

Únosnost ve smyku pro za tepla válcované ocelové průřezy se vypočítá podle:

$$V_{t,Rd} = 0,9[(2r + t_{wt})/2 + d_t t_{wt}] f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) \quad (6)$$

a

$$V_{b,Rd} = 0,9[(2r + t_{wb})/2 + d_t t_{wb}] f_y / (\gamma_{M0} \sqrt{3})$$

Únosnost ve smyku betonu

Únosnost ve smyku betonové desky je vypočtena za předpokladu, že účinná šířka je rovna trojnásobku tloušťky desky sečtené se šířkou pásnice nosníku.

$$V_{c,Rd} = (3h_s + b_f)(h_s - h_p) v_c, \quad (7)$$

kde v_c je pevnost betonu ve smyku se započítáním výztuže v desce. Hodnota v_c může být stanovena podle [EN1992-1-1 §6.2.2](#) pomocí větší hodnoty $V_{Rd,c}/b_w d$ dané výrazy (6.2a) a (6.2b). Hodnota je závislá na proměnných uvedených v Národní příloze k EN1992-1-1.

Prostá únosnost ve smyku oslabeného průřezu

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd} + V_{t,Rd} + V_{c,Rd} \quad (8)$$

Pro dolní T-pás je maximální smyková síla redukována vlivem ohybu na ekvivalentním Vierendeelově nosníku a je stanovena podle:

$$V_b = 2M_{b,red} / \ell_o \leq V_{b,Rd} \quad (9)$$

Redukovaná únosnost v ohybu dolního T-pásu, $M_{b,red}$, je uvedena v odstavci 3.5 jako $M_{pl,T,red}$ nebo $M_{el,T,red}$.

Únosnost ve smyku značně asymetrických průřezů

Únosnost ve smyku značně asymetrických průřezů je založena na rovnováze v dolním a horním T-pásu. Pro úzké sloupky stojin může být únosnost ve smyku vypočtena přibližně jako:

$$V_{Rd} = 2V_b / (1 + 2e/h_{eff}) + V_{c,Rd} \geq V_{Ed} \quad (10)$$

Pro širší sloupky stojin je úplné řešení stanovení únosnosti ve smyku uvedeno v rovnici (30).

Účinná tloušťka stojiny vyvolaná smykem

$$t_{w,eff} = t_w (1 - (2p - 1)^2) \quad \text{pro } p > 0,5 \quad (11)$$

nebo

$$t_{w,eff} = t_w \quad \text{pro } p \leq 0,5 ,$$

kde

$$p = V_{Ed} / (V_b + V_{t,Rd} + V_{c,Rd})$$

Boulení ve smyku

Smyková únosnost pro boulení nosníku s otvory ve stojině je uvedena v [ENV 1993-1-1 Příloha N](#). Výraz (N.8a), který se vztahuje k jednotlivým obdélníkovým otvorům, je chybný. Redukční součinitel má být vypočten podle:

$$(1 - (h_o/d_w + 0,3 \ell_o/d_w)) \quad (12)$$

Pro stojiny s velkými jednotlivými obdélníkovými otvory je tento výraz příliš konzervativní, viz [2]. K určení únosnosti nosníků s velkým obdélníkovým otvorem ve stojině se namísto toho použije výraz pro smykovou únosnost při boulení nosníku bez otvorů uvedený v EN 1993-1-5, který se upraví pomocí redukčního součinitele [4]:

$$\left(1 - \frac{\sqrt{d_o \ell_o}}{h_w} \right) \quad (13)$$

Tato metoda je dostatečně konzervativní a nevyžaduje další výpočet stability stojiny nebo lokálního ohybu na ekvivalentním Vierendeelově nosníku. K provedení přesnějšího výpočtu lze použít úplný návrhový postup, který je předveden v následujících odstavcích.

3.4 Globální působení v ohybu

Tlak v desce

Únosnost v ohybu ve vzdálenosti x po délce nosníku závisí na stupni spřažení v tomto místě. Tlakové síly v desce jsou stanoveny podle:

$$N_c(x) = n_{sc}(x) P_d \quad (14)$$

Tahová síla v dolním T-pásu

Tahová síla v dolním T-pásu vyvolaná celkovým ohybem je vypočtena v souladu s:

pro částečné smykové spojení:

$$N(x) = \frac{M(x) - N_c(x) \left((h_s + h_p) / 2 + y_{et} \right)}{h - y_{et} - y_{eb}} \quad (15)$$

pro úplné smykové spojení:

$$N(x) \leq \frac{M(x)}{h + h_{s,eff} - y_{eb}} \quad (16)$$

Síla v horním T-pásu

Síla v horním T-pásu je stanovena z rozdílu mezi $N(x)$ a $N_c(x)$, který má rovněž splňovat podmínku:

$$|N(x) - N_c(x)| \leq A_t f_y \quad (17)$$

Minimální stupeň spřažení

Pro minimální stupeň spřažení, kterého má být dosaženo v každém místě s otvorem, platí:

$$N_c(x) \geq 0,5N(x), \quad (18)$$

tj. mezi otvorem a koncem nosníku je dostatečný počet spřahovacích prostředků, které přenesou alespoň polovinu celkové tlakové síly v betonové desce vyvolané ohybem nosníku.

V oblasti blízko u podpor nosníku nejsou stanovena žádná omezení na stupeň spřažení za předpokladu, že je uprostřed rozpětí dosaženo minimálního stupně spřažení. Spřahovací prostředky umístěné na posledních 300 mm konce nosníku mají být zanedbány vzhledem k neznámému propracování detailů spoje ve stádiu, kdy je nosník konstruován.

3.5 Únosnost v ohybu T-pásů

Plastická únosnost

$$M_{pl,t} = A_w f_y (d_t/2 + t_f - y_p) + A_f f_y (y_p - t_f/2) + A_s f_y (d_t - e_s + t_f - y_p) \quad (19)$$

$$y_p = (A_f + A_w + A_s) / (2A_f) \text{ for } A_s \leq A_f - A_w \quad (20)$$

Pružná únosnost

$$M_{el,T} = \frac{A_w f_y (d_t/2 + t_f - y_e)^2 + A_f f_y (y_e - t_f/2)^2 + A_s f_y (d_t - e_s + t_f - y_e)^2 + A_w f_y d_t^2 / 12}{(d_t + t_f - y_e)} \quad (21)$$

$$y_e = \frac{A_w (d_t/2 + t_f) + A_f t_f/2 + A_s (d_t - e_s + t_f)}{(A_w + A_f + A_s)} \quad (22)$$

K zajištění dostatečné únosnosti přilehlé plné stěny k přenesení síly z výztuhy, je průřezová plocha výztuhy omezena maximální hodnotou $0,5d_o t$.

Redukovaná ohybová únosnost vyvolaná osovou silou

Plastická únosnost T-pásů bez výztuh:

$$M_{pl,T,red} = M_{pl,T} \left(1 - (N/N_{pl})^2\right) \quad (23)$$

Plastická únosnost T-pásů s výztuhami:

$$M_{pl,T,red} = M_{pl,T} \left(1 - N/N_{pl}\right) \quad (24)$$

Pružná únosnost T-pásů s výztuhami nebo bez výztuh:

$$M_{el,T,red} = M_{el,T} \left(1 - (N/N_{el})^2\right) \quad (25)$$

3.6 Ohyb ekvivalentního Vierendeelova nosníku

Účinná délka otvoru

Pro ohyb ekvivalentního Vierendeelova nosníku může být účinná délka otvoru ℓ_o brána jako skutečná délka obdélníkových otvorů; $0,5d_o$ pro kruhové otvory a vzdálenost středů s zvětšená o $0,5d_o$ pro otvory oválné.

Působící Vierendeelův moment

Vierendeelův ohybový moment je určen podle:

$$M_v = V_{Ed} \ell_o \quad (26)$$

Lokální účinek spřažení

Ohybová únosnost ekvivalentního Vierendeelova nosníku vyvolaná lokálním účinkem spřažení desky s horním T-pásem je vypočtena jako:

$$M_{vc,Rd} = n_{sc,o} P_d (y_{et} + h_{s,eff}) k_\ell \quad (27)$$

Redukční součinitel je stanoven jako $k_\ell = [1 - \ell_o / (25h_t)]$ pro nevyztužené otvory a jako $k_\ell = [1 - \ell_o / (35h_t)]$ pro otvory vyztužené. Žádná redukce není potřeba v případě, že ℓ_o je menší než pětinásobek výšky horního T-pásu.

Lokální únosnost spřažení je tedy omezena vlivem možného porušení vytržením spřahovacích prvků, což vyžaduje další omezení:

$$M_{vc,Rd} \leq \ell_o P_d \quad \text{pro jednu řadu spřahovacích prvků za sebou} \quad (28)$$

$$M_{vc,Rd} \leq 1,5 \ell_o P_d \quad \text{pro spřahovací prvky ve dvou řadách.} \quad (29)$$

Otvory umístěné ve velké vzdálenosti od sebe

Celková Vierendeelova ohybová únosnost se ověřuje podle:

$$V_{Ed} \leq (2M_{b,red} + 2M_{t,red} + M_{vc}) / \ell_o \quad (30)$$

Otvory umístěné v těsné blízkosti od sebe

Pro otvory umístěné blízko sebe je únosnost ve smyku ovlivněna únosností v ohybu sloupku stojiny podle následujících výrazů:

Kruhové otvory

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red} / \ell_o + 2M_{h,e} / s)}{1 + 2e / h_{eff}} + M_{c,s} / s \quad (31)$$

S

$$M_{h,e} = s_o^2 t_w f_y / 6 \quad (32)$$

$$M_{c,s} = n_{sc} P_d (y_{c,t} + h_{s,eff}) \quad (33)$$

$$h_{s,eff} = h_s - y_{et} - y_{eb} \quad (34)$$

Člen pro $M_{c,s}/s$ nemá překročit $V_{c,Rd}$.

Oválné otvory

Pro analýzu oválných otvorů v nosnících s jinak pravidelně se opakujícími kruhovými otvory ve vzdálenosti s , má být hodnota $M_{h,e}$ brána jako 67% z hodnoty vypočtené podle výrazu (32) pro kruhový a oválný otvor vedle sebe a jako 50% z hodnoty dané výrazem (32) pro sousedící oválné otvory.

Obdélníkové otvory

Pro obdélníkové otvory blízko sebe je únosnost ve smyku dále redukována vlivem ohybu horní části sloupku stojinu podle:

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red}/\ell_o + 2M_{h,e}/s)}{1 + (2e + d_o)/h_{eff}} + M_{c,s}/s \quad (35)$$

Hodnota členu $M_{c,s}/s$ nemá překročit $V_{c,Rd}$.

3.7 Únosnost sloupku stojiny

Vodorovná smyková síla

Smyk ve stojině sloupku vzniká rozvojem podélných sil dolním T-průřezem v důsledku přenosu celkového ohybu. Vodorovná smyková síla V_h se určí jako:

pro částečné smykové spojení:

$$V_h = \Delta N = \frac{V_{Ed}s}{h_{eff}} - \frac{M_{c,s}}{s}, \quad (36)$$

pro úplné smykové spojení:

$$V_h = \frac{V_{Ed}s}{h + h_{s,eff} - y_{eb}}. \quad (37)$$

Únosnost ve vodorovném smyku

S ohledem na smykovou plochu stojiny sloupku je únosnost ve vodorovném smyku stanovena jako:

$$V_{h,Rd} = s_o t_w f_y / \sqrt{3} \quad (38)$$

Vzpěr sloupků u kruhových otvorů nemusí být kontrolován, pokud $d_o \leq 20t_w \varepsilon$.

Účinné vodorovné napětí

Vzpěr sloupků stojiny může být proveden se zřetelem na napětí v tlaku způsobené účinnou vodorovnou silou ve sloupku stojiny, která je stanovena jako:

$$V_{h,eff} = V_h - 2M_h/d_o \text{ na dolním T-pásu} \quad (39)$$

nebo

$$V_{h,eff} = V_h + 2M_h/d_o \text{ na horním T-pásu,}$$

kde M_h je moment nezbytný k dosažení rovnováhy mezi smykem v horním a dolním T-průřezu.

Napětí v tlaku ve stojině sloupku je vypočteno jako

$$\sigma_c = V_{h,eff} / (s_o t_w) \quad (40)$$

pro $s_o \leq d_o$ (kruhové otvory) nebo pro $s_o \leq \ell_o$ (obdélníkové otvory).

Pevnost v tlaku $\sigma_{c,Rd}$ je stanovena ze vzpěrnostní křivky c v [obrázek 6.4 v EN1993-1-1](#) [3], se štíhlostí $\lambda = \sqrt{12} \ell_e / t$. Vzpěrná délka sloupku stojiny je dána jako:

$$\ell_e = 0,5\sqrt{s_o^2 + d_o^2} \leq 0,7d_o \text{ pro kruhové otvory} \quad (41)$$

$$\ell_e = 0,7\sqrt{s_o^2 + d_o^2} \leq d_o \text{ pro obdélníkové otvory.}$$

Vzpěr sloupků stojiny nenastane pokud

$$\sigma_c \leq \sigma_{c,Rd} \quad (42)$$

Výsledné řešení pro vzpěr sloupku stojiny

$$V_{Ed} \leq \frac{(4M_{b,red}/\ell_o + \sigma_{c,Rd} t_w s_o)}{1 + (2e + d_o)/h_{eff}} + M_{c,s}/s \quad (43)$$

Hodnota členu $M_{c,s}/s$ nemá překročit $V_{c,Rd}$.

Toto platí pro obdélníkové otvory a rovněž konzervativně pro otvory kruhové.

Otvory umístěné ve velkých vzdálenostech od sebe

Pro otvory umístěné ve velkých vzdálenostech od sebe mohou být zanedbány účinky interakce vzpěru sloupku stojiny a ohybu sloupku stojiny. Otvory mohou být uvažovány jako otvory ve velkých vzdálenostech od sebe, když vzdálenost jejich okrajů je větší než d_o u kruhových otvorů a ℓ_o u oválných otvorů. Pro otvory ve velkých vzdálenostech od sebe může být napětí v tlaku bráno jako větší ze svislých smykových sil v horním nebo dolním T-pásu, které působí na účinné šířce $d_o/2$. Použití větší ze smykových sil zohledňuje nesouměrnost průřezu.

$$\sigma_c = \frac{V_t}{0,5d_o t_{wt}} \geq \frac{V_b}{0,5d_o t_{wb}} \quad (44)$$

Účinná šířka sloupku stojiny se bere jako $0,7 d_o$ u kruhových nebo oválných otvorů a jako d_o u otvorů obdélníkových.

Ohyb sloupku stojiny pro obdélníkové otvory

Pokud $M_h \leq M_{h,e}$, pak není pro kruhové nebo oválné otvory požadováno další posouzení sloupku stojiny v ohybu. Pro obdélníkové nebo čtvercové otvory má únosnost v ohybu sloupku stojiny na horním i dolním okraji splňovat

$$V_{h,eff} d_o / 2 \leq M_{h,e} \quad (45)$$

$M_{h,e}$ je uvedeno v rovnici (32).

3.8 Průhyb

Dodatečný průhyb

Dodatečný průhyb způsobený samostatným otvorem v místě x je přibližně stanoven jako:

$$\frac{\delta_{\text{add}}}{\delta_o} = k_o \left(\frac{\ell_o}{L} \right) \left(\frac{d_o}{L} \right) \left(1 - \frac{x}{L} \right) \quad \text{pro } x \leq 0,5L \quad (46)$$

Součinitel k_o je:

$$k_o = 1,0 \text{ pro vyztužené otvory, ocelobetonový nosník} \quad (47)$$

$$k_o = 1,5 \text{ pro nevyztužené otvory, ocelobetonový nosník}$$

$$k_o = 1,5 \text{ pro vyztužené otvory, ocelobetonový nosník}$$

$$k_o = 2,0 \text{ pro nevyztužené otvory, ocelobetonový nosník}$$

Pro kruhové otvory $\ell_o = 0,5d_o$.

Pro vícenásobné otvory s podobnou velikostí je dodatečný průhyb dán podle:

$$\frac{\delta_{\text{add}}}{\delta_b} = 0,5N_o k_o \left(\frac{\ell_o}{L} \right) \left(\frac{d_o}{L} \right) \quad (48)$$

kde N_o je celkový počet otvorů po délce nosníku.

4. Speciální nosníky navržené výpočetními programy

Značná poptávka po nosnících s vícenásobnými otvory vede k vytváření specializovaných výrobků, které jsou podporovány samostatným softwarem.

Informace o těchto specializovaných výrobcích a přístup k softwaru jsou zajištěny na internetových stránkách, viz níže.

- www.asc.arcelor.com/EN/software/cellularbeams/default.cfm
- www.fabsec.co.uk
- www.westok.co.uk

5. Literatura

- 1 Design of composite beams with large openings (RT959), unpublished SCI Report, Ascot, 2004
- 2 Large web openings for service integrations in composite floors, Final report. RFCS Project Reference 7210-PR-315.
- 3 EN 1993-1-1 Design of steel structures, General rules and rules for buildings.
- 4 EN 1993-1-5 Design of steel structures. Plated structural elements.

Quality Record

RESOURCE TITLE	NCCI: Design rules for web openings in beams		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	Emma Unosson	SBI	
Technical content checked by	Bernt Johansson	Bernt H Johansson AB	
Editorial content checked by			
Technical content endorsed by the following STEEL Partners:			
1. UK	G W Owens	SCI	23/5/06
2. France	A Bureau	CTICM	23/5/06
3. Sweden	B Uppfeldt	SBI	23/5/06
4. Germany	C Müller	RWTH	23/5/06
5. Spain	J Chica	Labein	23/5/06
Resource approved by Technical Coordinator	G W Owens	SCI	12/7/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	M. Eliášová	CTU in Prague	31/7/07
Translated resource approved by:	J. Macháček	CTU in Prague	31/7/07
National technical contact	F. Wald	CTU in Prague	