

## KOVOVÉ KONSTRUKCE

Konstrukce průmyslových budov

### STŘEŠNÍ KONSTRUKCE - VAZNICE

Brno 2005

## OBSAH

1 PŘEDMLUVA .....	4
1.1 ÚVOD .....	4
1.2 ZÁSADY A KONVENCE V TEXTU .....	4
2 STŘEŠNÍ KONSTRUKCE .....	6
2.1 VAZNICE .....	11
2.1.1 GEOMETRICKÉ SCHÉMA .....	11
2.1.2 ZATÍŽENÍ .....	12
2.1.3 NÁVRH A POSOUZENÍ - VAZNICE 3 .....	13
2.1.3.1 Horní pás, prut H5 .....	14
2.1.3.1.1 Statická schémata pro nejnepříznivější kombinace zatížení .....	14
2.1.3.1.2 Posouzení uprostřed prutu H5 – montážní stav .....	15
2.1.3.1.3 Posouzení na koncích prutu H5 – montážní stav .....	18
2.1.3.1.4 Posouzení uprostřed prutu H5 – provozní stav .....	21
2.1.3.1.5 Posouzení na konci prutu H5 – provozní stav .....	23
2.1.3.2 Spodní pás, prut S5 .....	25
2.1.3.2.1 Posouzení mezního stavu únosnosti .....	25
2.1.3.3 Diagonála D1, (diagonály D2 až D6) .....	26
2.1.3.3.1 Posouzení mezního stavu únosnosti .....	27
2.1.3.4 Vertikály V (všechny) .....	27
2.1.3.4.1 Posouzení mezního stavu únosnosti .....	28
2.1.3.5 Posouzení mezního stavu únosnosti – přípoje .....	28
2.1.3.5.1 Dilenské přípoje .....	28
2.1.3.5.2 Montážní přípoje .....	30
2.1.3.6 Posouzení mezního stavu použitelnosti .....	30
2.1.4 VÝKAZ POLOŽEK .....	32
3 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	32

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.2-1 Složky zatížení vaznic.....	7
Obr. 1.2-2 Táhla vaznic .....	8
Obr. 1.2-3 Jednoduchá táhla vaznic – axonometrie .....	8
Obr. 1.2-4 Konstrukční uspořádání kloubových vaznic.....	9
Obr. 1.2-5 Statická schémata kloubových vaznic .....	10
Obr. 1.2-6 Konstrukční uspořádání kloubu vaznic.....	10
Obr. 1.2-7 Konstrukční schéma vzpěrkové a zavěšené vaznice.....	10
Obr. 2.1-1 Geometrické schéma vaznic – půdorys, řez, pohled.....	11
Obr. 2.1-2 Statické schéma pro nejneprůzračnější kombinaci zatížení – provozní stav.....	14
Obr. 2.1-3 Statické schéma pro nejneprůzračnější kombinaci zatížení – montážní stav .....	14
Obr. 2.1-4 Průřez horního pásu .....	15
Obr. 2.1-5 Průběh ohybových momentů, motážní stav .....	17
Obr. 2.1-6 Průběh napětí v průřezu.....	21
Obr. 2.1-7 Průřez dolního pásu.....	25
Obr. 2.1-8 .....	27
Obr. 2.1-9 .....	28
Obr. 2.1-10 Připoj prutů D1, D2, V2 na spodní pás .....	28
Obr. 2.1-11 Připoj prutu D1 na spodní pás .....	29
Obr. 2.1-12 Připoj prutu D1 na spodní pás .....	29

## SEZNAM TABULEK

TAB. 2.1-1 Zatížení stálé, nahodilá a kombinace zatížení .....	12
TAB. 2.1-2 Výpis materiálu vaznice V3 .....	32

## 1 PŘEDMLUVA

## 1.1 ÚVOD

V předloženém textu je zpracována problematika navrhování jednopodlažních ocelových průmyslových budov. Text vychází a respektuje obsah a členění skript [1]. Vzhledem k tomu, že v těchto skriptech jsou aplikovány výpočetní postupy platné v době jejich vydání, byly tyto výpočetní postupy nahrazeny v souladu s metodikou popsanou v platných normách. Konstrukční zásady zůstaly v podstatě zachovány.

## 1.2 ZÁSADY A KONVENCE V TEXTU

• Text od kapitoly **2 STŘEŠNÍ KONSTRUKCE** je koncipován především jako statický výpočet, opatřený poznámkami. V praxi při sestavování statického výpočtu je již v současnosti používána výpočetní technika, tento přístup ale není v textu použit zejména proto, aby bylo možné sledovat praktické sestavování výpočtu a používání podkladů. Při sestavování statického výpočtu je vhodné, aby:

- hala (obecně jakýkoliv objekt) byla rozčleněna na jednotlivé části (obecně na kapitoly), např. tak, jak je uvedeno v dalším textu a
- konstrukce byla počítána tak, že nejprve budou navrženy a posouzeny ty části, které budou naposledy montovány.
- V jednotlivých kapitolách byl dodržována posloupnost jednotlivých kroků (obecně odstavců). Vždy by se nejprve měl zpracovat odstavec, ve kterém bude sestaveno geometrické schéma počítané části. V druhém odstavci by mělo být popsáno a kvantifikováno zatížení, které bude na počítanou část působit. Ve třetím odstavci pak bývá provedeno navržení a posouzení profilů a přípojů. Přitom obsah jednotlivých odstavců lze naplnit následovně:

## 1 Geometrické schéma

- 1.1 Vynést, popsat a zakótovat půdorysnou osnovu objektu
- 1.2 Vykreslit, popsat a zakótovat tvar počítané části - půdorys a řezy, (detaily se obvykle v tomto odstavci neřeší).

## 2 Zatížení

- Vypsat zatížení v členění na stálá, nahodilá, charakteristická (normová), návrhová (výpočtová)
- Stanovit velikost zatížení
- Pokud je to možné a přehledné, určit zde i nejneprůzračnější kombinace zatížení

## 3 Návrh a posouzení

Pro každou dílčí část je obvykle vyžadováno:

- 3.1 stanovení výpočtových modelů (statických schémat), z nich pak je možná
- 3.2 kvantifikace velikosti vnitřních účinků (sil a momentů), obvykle s použitím pružnostního výpočtu nebo při splnění požadovaných podmínek s použitím plasticitního výpočtu;
- 3.3 na základě těchto účinků a konstrukčních požadavků je navržen vhodný typ profilu, rozměry profilu a materiál profilu.
- 3.4 Následuje posudek navrženého profilu:
  - 3.4.1 z hlediska mezních stavů únosnosti, tzn. zejména posudky na:
    - 3.4.1.1 nejneprůzračnější kombinace vnitřních sil a momentů,
    - 3.4.1.2 způsobu připojení profilu do konstrukce s uvážením vlivu:
      - 3.4.1.2.1 materiálu připojení a
      - 3.4.1.2.2 požadovaného konstrukčního řešení přípojů (např. dilenské styky, montážní styky),
    - 3.4.2 na mezní stavy použitelnosti, obvykle je požadováno pouze vyhodnocení deformací.

- V poslední kapitole je seznam použité literatury dle následujícího vzoru:

[1] Melcher, Straka	KOVOVÉ KONSTRUKCE, konstrukce průmyslových budov, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, 1977 – SNTL
[2] ČSN 73 0035:1988	ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ
[3] ČSN 73 1401:1998	NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ
[4] ČSN 01 3483:1987	VÝKRESY KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ
[5] ...	...

- Pokud jsou v textu použity vzorce nebo citace, je u nich uveden zdroj a jejich označení ve zdroji podle vzorů:

$$1 \quad F_d = \gamma_F \cdot F_k \quad \text{dle } \underline{\underline{III}} \text{ (3.1)}$$

Ve vzoru je uveden příklad z ČSN 73 1401:98 - III, vzorec - (3.1), který je uveden na str.12

$$2 \quad \text{Pevnostní třída šroubu 4.6 ... } f_{yb} = 240 \text{ MPa, } f_{ub} = 400 \text{ MPa} \quad \text{dle } \underline{\underline{III}} \text{ Tab.4.6}$$

Ve vzoru je uveden příklad z ČSN 73 1401:98 - III, údaj z *Tabulky 4.6*, uvedená na str. 18

- V elektronické podobě je vložen k příslušnému odkazu tzv. „křížový odkaz“ pro jednodušší vyhledání zdroje seznamu použité literatury.

- V textu používáno několik druhů písma, které mají následující význam:

- Times New Roman CE

- **OBYČEJNÉ** nebo **TUČNÉ** - nadpisy kapitol, nebo nadpisy odstavců, takto psaný text se obvykle píše do statického výpočtu;
- obyčejné nebo **tučné** - tímto typem písma je psán text odstavců, který se obvykle píše do statického výpočtu;
- *kurzíva obyčejná* nebo *tučná* - tímto typem písma je psán text, které se obvykle nepíše do statického výpočtu;
- **obyčejné, podtržené modré** nebo **tučné, podtržené modré** - tímto typem písma je v textu, který se obvykle píše do statického výpočtu, zvýrazněn odkaz na jiné místo v textu;
- *kurzíva obyčejná, podtržená modrá* nebo *tučná, podtržená modrá* - tímto typem písma je v textu, který se obvykle nepíše do statického výpočtu, zvýrazněn odkaz na jiné místo v textu;

## 2 STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

*Nosné střešní systémy z oceli jsou s ohledem na výhody kovu jako základního konstrukčního materiálu velmi často užíváno i u budov se zděným, popřípadě železobetonovým nosným systémem svislých konstrukcí objektu.*

### 2.1 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

*Podle funkce a druhu použitého materiálu tvoří střešní plášť obvykle tyto části:*

- *krytina plnicí funkci izolace proti vodě,*
- *tepelná izolace,*
- *vrstvy materiálu s jiným účelem – vyrovnávací, odvětrávací, parotěsná zábrana, atd.*
- *nosný podklad střešního pláště.*

*V závislosti na účelu budovy mohou některé části střešního pláště odpadnout (např. vyrovnávací vrstva).*

#### 2.1.1 Krytina

*Jako krytiny chránící ostatní části konstrukce před vnikáním srážkové vody se používají alternativně živичné krytiny, povlakové krytiny z plastů (které nejsou samonosné), ocelové trapézové pozinkované plechy (které jsou samonosné).*

*Návrh a posouzení krytiny tento text neobsahuje.*

#### 2.1.2 Tepelná izolace

*Tepelná izolace střešních jednáků zabráňuje tepelným ztrátám zastřešeného prostoru a jednáků chrání střešní plášť před účinky vnější teploty. Lze použít desky nebo pásy z minerálních vláken, případně desky z polystyrénu nebo polyuretanu.*

*Návrh a posouzení tepelné izolace tento text neobsahuje.*

### 2.2 NOSNÝ PODKLAD STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ

*Nosná část střešního pláště může plnit jen vlastní nosnou funkci (např. železobetonové desky a panely nebo trapézové plechy z oceli), někdy plní funkci nosnou i tepelně izolační a hydroizolační (kovoplastické panely). Odkazy na kovoplastické panely včetně jejich únosností lze najít na Internetu.*

*Z hlediska statického uspořádání jsou panely popsány výrobcem následovně:*

- *prosté nosníky, spojitě rovnoměrně zatížené;*
- *spojité nosníky o dvou stejně dlouhých polích, spojitě rovnoměrně zatížené;*
- *spojité nosníky o třech a více stejně dlouhých polích spojitě rovnoměrně zatížené.*

*Pokud by se jednalo o jiné uspořádání, návrh i posouzení by musely vycházet ze zásad stavební mechaniky a navíc při návrhu a posouzení by musely být respektovány postupy pro tenkostěnné ocelové konstrukce.*

*Návrh a posouzení nosného podkladu střešního pláště tento text neobsahuje.*

### 2.3 STŘEŠNÍ VAZNICE

*Vaznice jsou nosníky tvořící podporu nosné části střešního pláště. Jsou uloženy na vazníku střešiny (případně na rámové příčli). Modulová vzdálenost je obvykle volena v násobku 300 mm a vychází z mezních vzdáleností podpor nosného podkladu střešního pláště.*

*Z hlediska statického uspořádání lze rozdělit vaznice na následující typy:*

- *prosté (plnostěnné, příhradové),*
- *spojité,*
- *kloubové,*
- *vzpěrkové a zavěšené.*

*Vaznice lze (především z architektonických důvodů) navrhnout též jako prolamované nosníky. Podle umístění na střeše lze vaznice dělit na okapové, mezilehlé a vrcholové. Vaznice nemusí být v jedné střeše nutně téhož druhu, např. okapová vaznice může být navržena jako prostý nosník, ostatní vaznice jako vzpěrkové.*

Mezní průhyb vaznic od charakteristického zatížení je určen v [4], případně v [5]. Z hlediska konstrukčního řešení lze vaznice navrhovat při rozponu do cca 9 m jako plnostěnné, při větších rozponech jako příhradové.

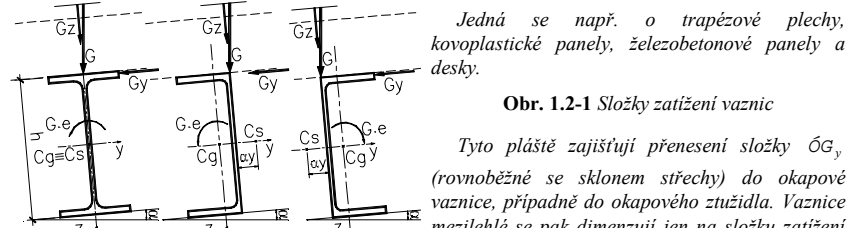
### 2.3.1 PROSTÉ VAZNICE PLNOSTĚNNÉ

Plnostěnné vaznice se navrhují z válcovaných tyčí průřezu I, IPE, U, UPE, příp. z tenkostěnných průřezů U nebo C za studena tvarovaných z plechu.

Uvedený typ vaznic se používá pro rozpon do 6 m. Pro větší rozpory jsou prosté plnostěnné vaznice nepříliš vhodné pro velkou spotřebu materiálu a značný průhyb. Jejich výhoda spočívá v jednoduchoosti výroby a montáže.

Statické řešení je závislé na druhu nosné části střešního pláště a jeho spolupůsobení s vaznicí:

#### 2.3.1.1 Střešní pláště tuhé v rovině střechy



Jedná se např. o trapézové plechy, kovoplastické panely, železobetonové panely a desky.

Obr. 1.2-1 Složky zatížení vaznic

Tyto pláště zajišťují přenesení složky  $\bar{O}G_y$  (rovnoběžně se sklonem střechy) do okapové vaznice, případně do okapového ztužidla. Vaznice mezilehlé se pak dimenzují jen na složku zatížení

$G_z$  (působící kolmo na střešní rovinu) jako ohýbaný nebo ohýbaný a kroucený nosník s tlačným pásem zabezpečeným proti klopení.

Při návrhu je nutné vyhodnotit směr působení zatížení. Pokud bude převažovat vlastní tíha střešního pláště nad účinkem sání větru, pak lze uvažovat, že tlačný pás je zabezpečený proti klopení po vzdálenostech závislých na druhu a vzdálenostech připojení střešního pláště v souladu s metodikou uvedenou v [4], případně v [5].

V případě lehké krytiny může převážít účinek sání větru nad vlastní tíhou střešního pláště a je tedy třeba ověřit dimenzi vaznice se zřetelem na možnost vybočení spodního tlačného pásu z roviny ohybu. V tomto případě se musí vyhodnotit klopení vaznice (nosníku) s vmucenou osou otáčení opět v souladu s metodikou uvedenou v [4], případně v [5].

Okapová vaznice se obvykle navrhuje z profilu U nebo UPE, přičemž horní příruba je vyztužená nerovnoramenným profilem L. Dimenzuje se na složku kolmou na rovinu střešního pláště a výslednou složku rovnoběžnou se střešní rovinou. Výsledná složka rovnoběžná se střešní rovinou je přenášena do okapové vaznice prostřednictvím tuhého střešního pláště. Je-li okapová vaznice součástí příhradového okapového ztužidla, lze složku rovnoběžnou se střešní rovinou přisoudit také prutům ztužidla.

#### 2.3.1.2 Střešní pláště netuhé v rovině střechy

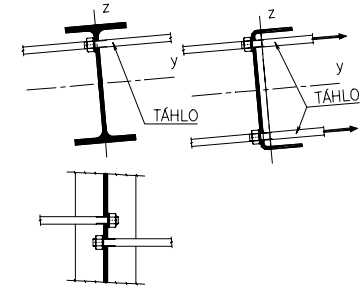
Jedná se např. o vlnitý plech připojovaný háky, případně silikátové panely v montážním stadiu před zmonolitněním, nebo pokrytí provizorních hal plachtou. Takovéto pláště nepřendávají složku rovnoběžnou s rovinou střešního pláště. Každá vaznice tedy nese celé zatížení které na ni připadá. Vaznice se dimenzují na šikmý ohyb s kroucením. Při ohybu je nutné uvažovat vliv klopení.

Ohyb v rovině střechy ovlivňuje velmi nepříznivě namáhání vaznice. V případě netuhých střešních pláštů proto ztužujeme vaznice táhly umístěnými v půdorysném průmětu vaznice uprostřed (případně ve třetinách) rozpětí.

Táhla jsou připojena na vrcholovou vaznici a tvoří podpory vaznic pro zatížení v rovině střešního pláště. Pro zatížení  $G_z$  (kolmo na rovinu střešního pláště) je potom vaznice prostým nosníkem na rozpětí rovné vzdálenosti podpor vaznice (tzn. na vzdálenost vazníků). Pro zatížení  $G_y$  (v rovině střešního pláště) působí vaznice jako spojitý nosník o dvou (třech) polích.

Táhla mohou být navržena jako jednovprvková nebo dvouprvková. Jednovprvková táhla je účelné navrhnout co nejbližee tlačené (tj. horní) přírubě vaznice.

JEDNOVPRVKOVÉ TÁHLO DVOUPRVKOVÉ TÁHLO

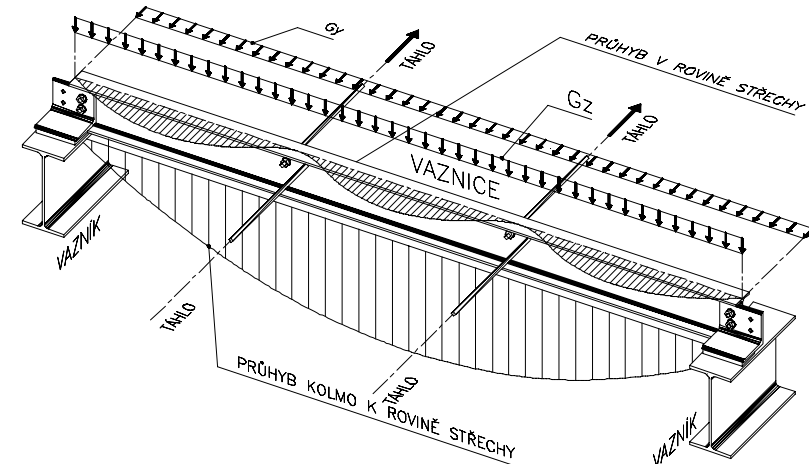


U vaznic z průřezů za studena tvarovaných z plechu je s ohledem na značné průhyby ve střešní rovině vhodné navrhnout táhla při horní i dolní přírubě (táhla dvouprvková).

Obr. 1.2-2 Táhla vaznic

Z hlediska statického modelu pak lze uvažovat v místě táhel podpory pro ohyb ve střešní rovině i pro kroucení. Pro jednovprvková táhla je tento model tím výstižnějším, čím blíže vnějších účinků je táhlo umístěno. Norma [4] určuje pouze napětí od kroucení a není v ní daný interakční vzorec pro stanovení únosnosti průřezu. Proto je nutné při posouzení průřezu určit příslušná napětí pro

každý případ zvlášť, tj. ohyb kolmo a rovnoběžně se střešní rovinou, vliv kroucení a vliv působení normálové síly, pokud ji vaznice přenáší. Tento postup je uveden v předchozím znění normy – viz [3]. Výsledná napětí v nebezpečných průřezech a v charakteristických bodech se získají superpozicí (složením).



Obr. 1.2-3 Jednovprvková táhla vaznic – axonometrie

Táhla jsou konstrukčně dělena na úseky mezi vaznicemi. Navrhují se z kulatiny na koncích opatřené závitem pro šroubový přípoj na vaznice. Při montáži je nutné dbát na řádné vyrovnání vaznic ve střešní ploše a vypnutí jednotlivých táhel.

### 2.3.2 PROSTÉ VAZNICE PŘÍHRADOVÉ

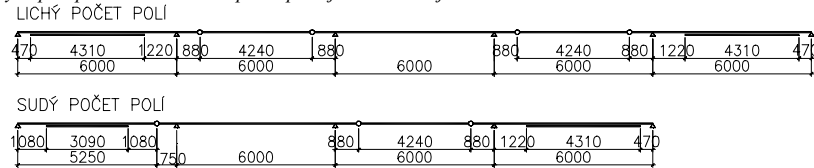
Používají se na rozpory 12 m a větší. Spotřeba materiálu je malá, pracnost výroby je ale značná. Příhradové vaznice se navrhují jako přímopásové nebo s horním pásem přímým a se spodním pásem zakřiveným, např. parabolicky.

Příklad návrhu a posouzení prosté příhradové vaznice je uveden dále.

## 2.3.3 KLOUBOVÉ VAZNICE

Navrhují se z válcovaných tyčí tvaru **I** a **U**, případně z profilů **C** nebo **U** zastudena tvarovaných, pro rozpětí 6 až 9 m. Ze statického hlediska je lze řešit jako spojitý nosník s vloženými klouby (Gerberovy nosníky).

Z hlediska spotřeby materiálu je vhodné vkládat dva klouby přes jedno pole. Vzdálenost kloubů od podpory je určena z podmínky rovnosti ohybových momentů uprostřed vnitřních polí a v podpoře vaznic. Vyrovnání nelze dosáhnout v krajních polích, kde vycházejí momenty větší. Základní průřez vaznice, navržený na vyrovnání vnitřní momenty, je proto v krajních polích zesílený příložkami na stěně nebo pásníčkách vaznice. Příklad konstrukčního uspořádání kloubové vaznice a oblast zesílení koncových polí při lichém a sudém počtu polí je na následujícím obrázku:



Obr. 1.2-4 Konstrukční uspořádání kloubových vaznic

Při dodržení poměru vzdáleností kloubů od podpor uvedených v **Obr. 1.2-4** budou vyrovnané momenty ve vnitřních polích i pro jiná rozpětí vaznice než 6 m.

Z hlediska spolupůsobení střešního pláště a vaznice je možné rozlišit opět dva základní případy:

## 2.3.3.1 Střešní pláště tuhé v rovině střechy

Tyto pláště zajišťují přenesení složky zatížení  $\sigma_{G_y}$  (rovnoběžné se sklonem střechy) z mezilehlých vaznic do okapové vaznice, případně do okapového ztužidla. Vaznice mezilehlé se pak dimenzují na složku zatížení  $G_z$  (působící kolmo na střešní rovinu) pro statické působení dle **Obr. 1.2-4**.

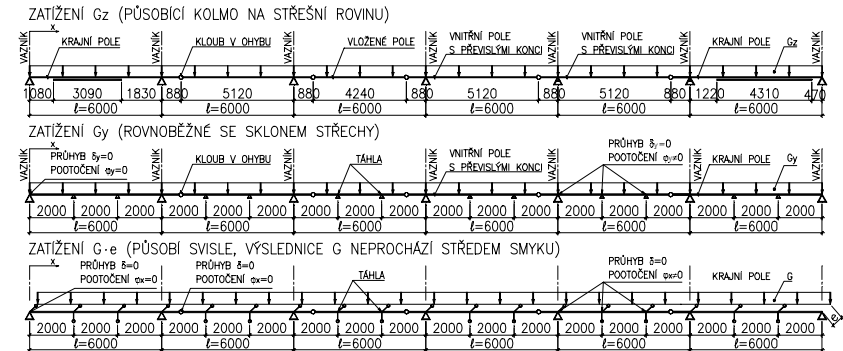
## 2.3.3.2 Střešní pláště netuhé v rovině střechy

Jedná se např. o vlnitý plech připojovaný háky, případně silikátové panely v montážním stadiu před zmonolitněním, nebo pokrytí provizorních hal plachtou. Takovéto pláště nepřenesají složku  $G_y$  (rovnoběžnou s rovinou střešního pláště). Každá vaznice tedy nese celé zatížení které na ni připadá. Vaznice se dimenzují na šikmý ohyb s kroucením. Při ohybu je nutné uvažovat vliv klopení.

Ohyb v rovině střechy ovlivňuje velmi nepříznivě namáhání vaznice. V případě netuhých střešních pláštů je proto nutné ztužit vaznice jednoprvkovými případně dvoupřvkovými táhly umístěnými v půdorysném průmětu vaznice uprostřed (případně ve třetinách) rozpětí – viz **Obr. 1.2-2**.

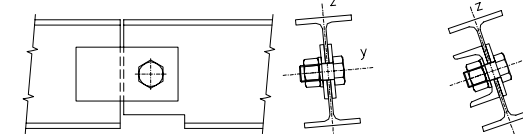
Příklad volby statického schématu pro posouzení kloubové vaznice, vyztuženě ve třetinách dvoupřvkovými táhly je na **Obr. 1.2-5** na další straně. Z hlediska statického modelu lze uvažovat v místě táhel podpory pro ohyb ve střešní rovině i pro kroucení. Pro jednoprvkovou táhla je tento model tím výstižnější, čím blíže vnějších účinků je táhlo umístěno. Norma **[4]** určuje pouze napětí od kroucení a není v ní daný interakční vzorec pro stanovení únosnosti průřezu. Proto je nutné při posouzení průřezu kloubové vaznice určit příslušná napětí pro každý případ zvlášť, tj. ohyb kolmo a rovnoběžně se střešní rovinou, vliv kroucení a vliv působení normálové síly, pokud ji vaznice přenáší. Tento postup je uveden v předchozím znění normy – viz **[3]**. Výsledná napětí v nebezpečných průřezech a v charakteristických bodech se získají superpozicí. Je zřejmé, že posudek na únosnost i použitelnost bude nutné provést ve více místech vaznice – zejména nad podporami, v místě kloubů a dále v místech, kde vznikají extrémní napětí.

Předpokladem pro návrh kloubových vaznic je dostatečná délka střechy a větší rozpory lodí. Při menším počtu polí má na úsporu materiálu nepříznivý vliv zesílení krajních polí. V příčném směru má na úsporu materiálu vliv to, že kloubové uspořádání mají pouze vaznice mezilehlé. Vrcholová vaznice bývá zpravidla tvořena (příhradovým) ztužidlem ve svislé rovině a okapová vaznice je navržena jako prostý nebo spojitý nosník, protože přenáší i zatížení ve směru sklonu střechy.



Obr. 1.2-5 Statická schémata kloubových vaznic

PRO SKLON DO 20% PRO SKLON NAD 20%



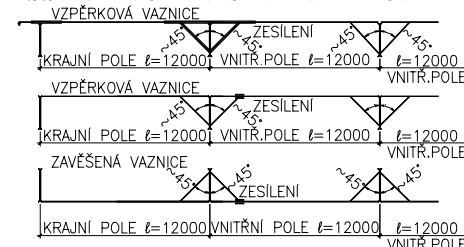
Obr. 1.2-6 Konstrukční uspořádání kloubu vaznic

## 2.3.4 SPOJITÉ VAZNICE

Navrhují se z válcovaných tyčí tvaru **I** a **U**, případně z profilů **C** nebo **U** zastudena tvarovaných, pro rozpětí 6 až 9 m. Styky spojitých vaznic se umísťují do míst malých ohybových momentů, takže není nutné styk navrhovat na plnou únosnost průřezu.

Účinek vnějšího zatížení a vliv spolupůsobení se střešním pláštěm lze uvažovat obdobně jako u prostých vaznic. U netuhých střešních pláštů je vhodné vyztužit vaznice táhly, jejichž vliv je třeba uvážit při ohybu a kroucení vaznice. Ze statického hlediska lze spojitou vaznici řešit jako spojitý nosník.

## 2.3.5 VAZNICE ZAVĚŠENÉ A VZPĚRKOVÉ



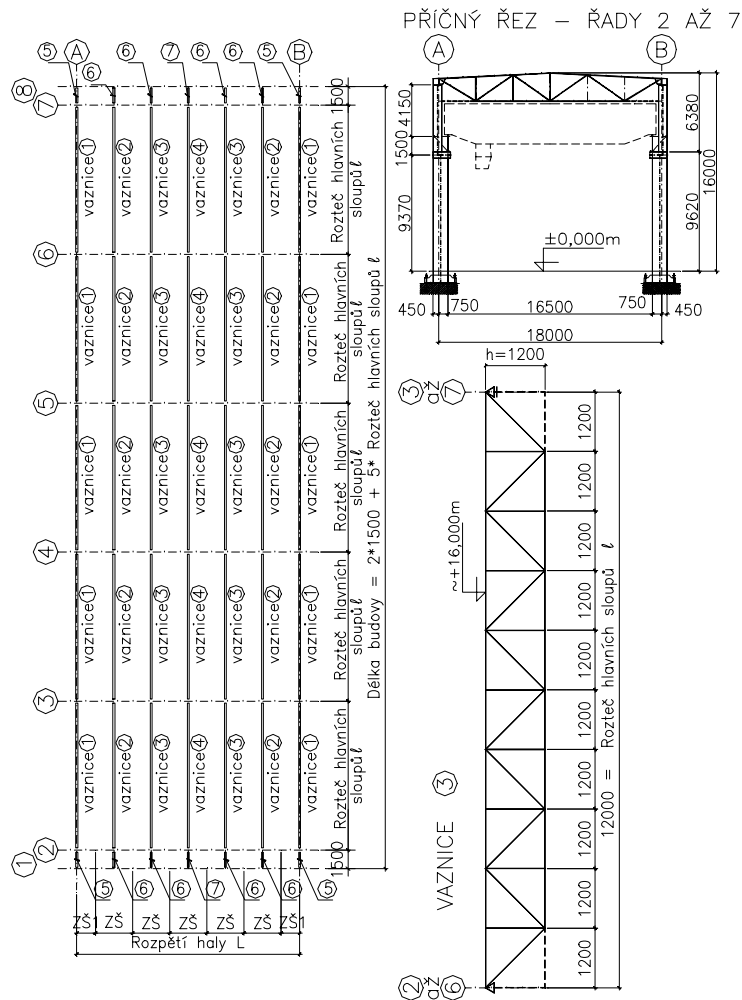
Obr. 1.2-7 Konstrukční schéma vzpěrkové a zavěšené vaznice

Na **Obr. 1.2-7** je patrný princip konstrukčního řešení vzpěrkové vaznice. Vaznici tvoří nosník z válcované tyče tvaru **I** a **U**, případně z profilů **C** nebo **U** zastudena tvarovaných, s rozpětí do 12 m. Na nosník je uložený střešní plášť, pod nosníkem jsou uchycené vzpěrky, které jsou dole uchycené ke spodnímu pásu vazniku. Přípoje je vhodné navrhnut jako šroubované. U zavěšených vaznic je nutné navrhnut důkladně detaily střešního pláště. Vzpěrky i závěsy se navrhují ve sklonu 45°.

Ze statického hlediska jsou vzpěrkové vaznice spojitou staticky neurčitou soustavou. Vyložení vzpěrek lze volit v rozmezí 0,1l až 0,2l. Výpočet statických veličin pro dimenzování průřezů lze provést jako rovinnou úlohu, za předpokladu nulového průhybu vazniku a nulového přetožení od osových sil. Úlohu lze řešit i jako prostorový problém.

## 2.1 VAZNICE

## 2.1.1 GEOMETRICKÉ SCHÉMA



Obr. 2.1-1 Geometrické schéma vaznic – půdorys, řez, pohled

## Poznámky:

- 1 Výška vaznice  $h$  byla stanovena jako desetina rozpětí vaznice. Běžně lze uvažovat, že se výška vaznice pohybuje v intervalu  $h \sim \ell/15 \div \ell/10$ .

## 2.1.2 ZATÍŽENÍ

TAB. 2.1-1 Zatížení stálé, nahodilé a kombinace zatížení

stálé				
	$X_k$ [kN/m]	$\gamma_f$	$X_d$ [kN/m]	
1	hydroizolace... 0,1*ZŠ ... 0,1*3=0,3	0,30	1,2	0,36
2	hydroizolace... 0,1*ZŠ ... 0,1*3=0,3		0,9	0,27
3	tepečná izolace 2,0 kN/m <sup>3</sup> ; tl. 160 mm ... 2*0,16*ZŠ	0,96	1,2	1,15
4	tepečná izolace 2,0 kN/m <sup>3</sup> ; tl. 160 mm ... 2*0,16*ZŠ		0,9	0,86
5	nosná část pláště - trapézový plech... 0,13*ZŠ	0,39	1,1	0,43
6	nosná část pláště - trapézový plech... 0,13*ZŠ		0,9	0,35
7	odhad vlastní tíhy vaznice ... 0,2 kN/m <sup>2</sup> *ZŠ	0,60	1,1	0,66
8	odhad vlastní tíhy vaznice ... 0,2 kN/m <sup>2</sup> *ZŠ		0,9	0,54
nahodilé				
	$X_k$ [kN/m]	$\gamma_f$	$X_d$ [kN/m]	
9	sněž... $s_n = s_0 * \mu_s * \kappa * ZŠ = 0,5 * 1,0 * 1,1 * ZŠ$	1,65	1,4	2,31
$\kappa$ ... pro normovou tíhu zastřešení $(0,1 + 0,32 + 0,13 + 0,2 = 0,75 \text{ kN/m}^2)$ je cca 1,1 $\mu_s$ ... pro sklon střechy 5% je 1,0				
10	vitr... $w_n = w_0 * \kappa_w * C_w * ZŠ = 0,55 * 1,0 * (-0,8) * ZŠ$	-1,32	1,2	-1,58
výška objektu nad terénem $h =$ cca 16 m, šířka objektu $b =$ cca 19 m $h/b = 16/19 = 0,84$ ... $C_w = C_{e3} = -0,8$				
11	osamělé břemeno	1,00 kN	1,2	1,20 kN
kombinace zatížení - charakteristické (normové) zatížení				
č.	ZS	stádium	$X_k$ [kN/m]	
K 1	ZS6; ZS8; ZS10	montáž	-0,33	
K 2	ZS1; ZS3; ZS5; ZS7; ZS9	provoz	3,90	
kombinace zatížení - návrhové (výpočtové) zatížení				
č.	ZS	stádium	$X_k$ [kN/m]	
K 1	ZS6; ZS8; ZS10	montáž	-0,69	
K 2	ZS1; ZS3; ZS5; ZS7; ZS9	provoz	4,91	

## Poznámky:

- 1 Do tabulky nahodilého zatížení by vzhledem ke konstrukčnímu uspořádání haly jako celku měly být ještě vloženy:
- 1.1 vodorovné účinky od zatížení tlakem a sáním větru v místě uložení těch vaznic, které přenášejí účinky větru do příčných ztužidel v rovině střechy. Vodorovná síla bude působit v místě uložení vaznice. Velikost normálových sil bude záviset na konstrukčním uspořádání nosných prvků čelních stěn a na konstrukčním uspořádání příčných ztužidel v rovině střechy. Dále viz kapitola **ZTUŽIDLA** a kapitola **OPLÁŠTĚNÍ STĚN**.
- 1.2 vodorovné účinky od stabilitních sil (vodorovná síla působící v místě uložení vaznice), které vznikají při zabezpečení tlacených pásů vazníků. V těch bodech pásů vazníků, které jsou zabezpečené proti vybočení (z roviny vazníku) působí vodorovná síla kolmo k vazníku. Velikost vodorovné stabilitní síly v každém uzlu vazníku, zabezpečeném proti vybočení z roviny vazníku, lze

stanovit v souladu s [4], čl. C.2.5 a obrázek C.4. Je zřejmé, že velikost stabilizní síly působící na každou vaznici bude přímo závislá na zatížení vazníků a na počtu zabezpečovaných vazníků a nepřímo závislá na počtu ztužidel ve střešní rovině. Dále viz kapitola **ZTUŽIDLA**.

- 1.3 vodorovné účinky od zatížení klimatickými teplotami (vodorovné síly v místě uložení vaznic). Zatížení klimatickými teplotami se nemusí uvažovat, je-li konstrukce členěná na dilatační úseky menší než mezní rozměry uvedené v [4], čl. 3.2.2.1. Dále viz kapitola **ZTUŽIDLA**.

Výše popsané účinky nebyly v této kapitole specifikované, v jednotlivých prutech je však ponechána rezerva v únosnosti na jejich přenesení.

- 2 Pro sestavení kombinací zatížení byl použitý postup dle [2], Změna a-8/1991, čl. 54B, odst. a),
- 3 Při stanovení zatížení větrem byla výška vaznice nad terénem stanovena odhadem a bylo vycházeno ze zadání. K dané výšce konzoly jeřábové dráhy (v řešeném případě 9,6 m) se přičte odhad výšky svislého nosníku jeřábové dráhy včetně uložení ( $h_{JD} = \ell_{JD} / 10 = 12 / 10 = 1,2$  m), dále podjezdová výška jeřábu (2,7 m) a odhad výšky vazníku. Vaznice budou uloženy na vazník při horním pásu, takže dílčí součet výšek je 15,8 m a po zaokrouhlení na celé metry nahoru 16 m. ( $h_v = \ell_v / 10 + 0,05 \cdot \ell_v / 2 = 18 / 10 + 0,05 \cdot 18 / 2 = 2,25 \sim 2,3$  m)
- 4 Osamělé břemeno nebylo do kombinace uvažované, protože jeho vliv v kombinaci by nezajistil vznik extrémů vnitřních sil – zejména proto, že pro dvě nahodilá zatížení bude použitý součinitel kombinace  $\psi = 0,9$  pro každé z nahodilých zatížení.

### 2.1.3 NÁVRH A POSOUZENÍ - VAZNICE 3

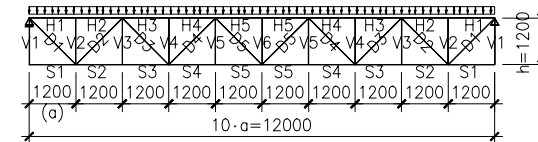
Navrženy a posouzeny by měly být všechny typy vaznic – v řešeném případě tedy vaznice 1 až vaznice 8. Dále uvedený postup pro vaznici 3 by byl použitý i pro ostatní příhradové vaznice. Vaznice na rozpon 1500 mm nebudou příhradové, bude se jednat o prostě uložené plnostěnné nosníky, jejichž posudek zde není uveden.

V dalším textu bude proveden návrh a posudek v omezeném rozsahu. Pokud by měl být návrh a posudek úplný, pak by měl obsahovat:

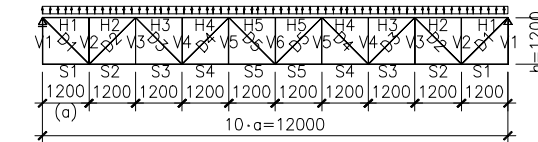
- návrh a posouzení všech úseků horního pásu (prutů **H1** až **H5**) z hlediska mezního stavu únosnosti pro montážní i provozní stav(y) včetně případných přípojů (vzhledem k rozměrům vaznice jen dílenských; při větších rozměrech než jsou přepravní možnosti by měly být určeny i montážní přípoje). Kompletní návrh a posudek bude proveden pouze pro prut **H5**, ostatní pruty by byly zpracované obdobně. Protože je prut **H5** tvořen jednoosou symetrickým průřezem, je v posudku provedeno posouzení jak horního, tak spodního okraje průřezu.
- Návrh a posouzení všech úseků dolního pásu (prutů **S1** až **S5**) z hlediska mezního stavu únosnosti pro montážní i provozní stav(y) včetně případných přípojů (vzhledem k rozměrům vaznice jen dílenských; při větších rozměrech, než jsou přepravní možnosti, by měly být určeny i montážní přípoje). Kompletní návrh a posudek bude proveden pouze pro prut **S5**, ostatní pruty by byly zpracované obdobně.
- Návrh a posouzení všech diagonál (prutů **D1** až **D5**) z hlediska mezního stavu únosnosti pro montážní i provozní stav(y) včetně přípojů (především dílenských). Návrh a posudek bude proveden pouze pro prut **D1**, ostatní pruty by byly zpracované obdobně.
- Návrh a posouzení všech vertikál (prutů **V1** až **V6**) z hlediska mezního stavu únosnosti pro montážní i provozní stav(y) včetně přípojů (především dílenských). Návrh a posudek bude proveden pouze pro prut **V2**, ostatní pruty by byly zpracované obdobně.
- Návrh a posouzení montážních přípojů vaznice - není v této kapitole řešeno.
- Posouzení vaznice jako celku z hlediska mezního stavu použitelnosti – bude provedeno.

### 2.1.3.1 Horní pás, prut H5

#### 2.1.3.1.1 Statická schémata pro nejneprůzračnější kombinace zatížení



Obr. 2.1-2 Statické schéma pro nejneprůzračnější kombinaci zatížení – provozní stav



Obr. 2.1-3 Statické schéma pro nejneprůzračnější kombinaci zatížení – montážní stav

Vnitřní síly a ohybové momenty na horním pásu budou určeny podle zásad stavební mechaniky. To znamená, že je nutné určit nejen tvar vaznice, její zatížení a podepření, ale i vnitřní vazby mezi jednotlivými pruty. Z konstrukčního hlediska bude vyroben jak horní, tak i dolní pás z jednoho kusu. Proto bude na horním (přímo zatíženém) pásu určen ohybový moment od zatížení na spojitěm nosníku o 10 polích. Při přijetí předpokladu, že je horní pás složen z dílčích prutů o rozponu 1200 mm, dojde k předimenzování uprostřed dílčího prutu a poddimenzování na konci dílčího prutu.

Dále je nutné vyhodnotit skutečnost, že pro pruty horního pásu platí:

- extrémní ohybový moment je v krajním poli (na prutu **H1**), což platí pro momenty v poli i nad podporou (kterou tvoří prut **V2**);
- naproti tomu extrémní normálová síla je uprostřed horního pásu (v prutu **H5**).

Kombinace zatížení pro prut **H5** vyvodí extrémní vnitřní síly a ohybový moment, které jsou určeny průsečnou metodou pro:

Montážní stav, uprostřed prutu:

$$N_{Sd,H5} = \frac{1}{8} \cdot \frac{g_d \cdot \ell^2}{h} = \frac{1}{8} \cdot \frac{(-0,69) \cdot 12^2}{1,20} = -10,4 \text{ kN (tah)}$$

$$M_{Sd,H5} \sim g_d \cdot a^2 / 24 = (-0,69) \cdot 1,20^2 / 24 = -0,04 \text{ kNm} \dots V_{Sd,H5} = 0 \text{ kN}$$

Montážní stav, na konci prutu:

$$N_{Sd,H5} = (g_d \cdot \ell^2) / (8 \cdot h) = (-0,69 \cdot 12^2) / (8 \cdot 1,20) = -10,4 \text{ kN (tah)}$$

$$M_{Sd,H5} \sim -(g_d \cdot a^2 / 12) = -((-0,69) \cdot 1,20^2 / 12) = 0,08 \text{ kNm} \dots V_{Sd,H5} = 0,4 \text{ kN}$$

Provozní stav, uprostřed prutu:

$$N_{Sd,H5} = g_d \cdot \ell^2 / (8 \cdot h) = 4,91 \cdot 12^2 / (8 \cdot 1,20) = 73,65 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{Sd,H5} \sim g_d \cdot a^2 / 24 = 4,91 \cdot 1,20^2 / 24 = 0,29 \text{ kNm} \dots V_{Sd,H5} = 0 \text{ kN}$$

Provozní stav, na konci prutu:

$$N_{Sd,H5} = g_d \cdot \ell^2 / (8 \cdot h) = 4,91 \cdot 12^2 / (8 \cdot 1,2) = 73,65 \text{ kN (tlak)}$$

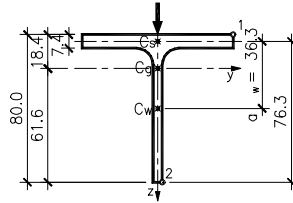
$$M_{Sd,H5} \sim -(g_d \cdot a^2 / 12) = -(4,91 \cdot 1,20^2 / 12) = -0,59 \text{ kNm} \dots V_{Sd,H5} = 2,95 \text{ kN}$$

**Poznámka:** Momenty  $M_{Sd}$  a posouvající síly  $V_{Sd}$  jsou určeny podle zásad stavební mechaniky pro spojitě zatížený nosník, spojitě rovnoměrně zatížený.

**Navržen profil 1/2 IPE 160 (S235):**

Profil prutu **H5** je úpalek IPE z oceli S 235. Prut je zajištěn proti ztrátě příčné a torzní stability (klopení) v místech připojení trapezového plechu (nosná část střešního pláště). Vzdálenost bodů zajištěných proti vybočení lze brát:

- v rovině vaznice o velikosti 1200 mm, tj. vzdálenost jednotlivých uzlů horního pásu,
- z roviny vaznice - lze uvažovat zajištění v místech připojení trapezového plechu (cca 200 mm).



Obr. 2.1-4 Průřez horního pásu

**Průřezové hodnoty:** (je zanedbáno naklonění horního pásu jako nepodstatné, rozdíl u některých hodnot je pro odklon 5° cca 3%)

$$h = 80 \text{ mm}; \quad I_y = 0,529 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; \quad i_y = 22,9 \text{ mm}; \quad I_z = 0,3419 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; \quad i_z = 18,4 \text{ mm};$$

$$b = 82 \text{ mm}; \quad W_{el,y,1} = 28,75 \cdot 10^3 \text{ mm}^3; \quad I_t = 17,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^4;$$

$$A = 1000 \text{ mm}^2; \quad W_{el,y,2} = 8,57 \cdot 10^3 \text{ mm}^3; \quad W_{el,z} = 8,33 \cdot 10^3 \text{ mm}^3;$$

$$e_y = 18,4 \text{ mm}; \quad W_{pl,y} = 15,22 \cdot 10^3 \text{ mm}^3; \quad W_{pl,z} = 13,00 \cdot 10^3 \text{ mm}^3;$$

**2.1.3.1.2 Posouzení uprostřed prutu H5 – montážní stav****2.1.3.1.2.1 Posudek horního okraje – vlákno 1:**

$$N_{Rd} = N_{t,Rd} = N_{pRd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1000 \cdot 235}{1,15} = 204,37 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{ef,y,Rd} = \frac{W_{ef,y,1} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{28,75 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 5,88 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$m_y = M_{y,Sd} / M_{c,y,Rd} = 0,04 / 5,88 = 0,007; \quad m_z = 0$$

$$k_{y,z} = \frac{k_y + k_z}{2} + \left( \frac{k_y - k_z}{2} \right) \cdot \left( \frac{m_y - m_z}{m_y + m_z} \right) = \frac{2+2}{2} + \left( \frac{2-2}{2} \right) \cdot \left( \frac{0,007-0}{0,007+0} \right) = 2$$

$$\left( \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \right)^{k_{y,z}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,y,Rd}} = \left( \frac{10,4}{204,37} \right)^2 + \frac{0,04}{5,88} = 0,007 < 1$$

dle [4] čl. 6.6.6.1

Zatřídění průřezu: ocel S 235

dle [4] tab. 6.2, (c)

**Poznámka:** v této tabulce je tlak značen kladně a tah záporně!

Průběh normálového napětí na horním okraji průřezu uprostřed pole (vlákno 1)

$$\sigma_h = \sigma_1 = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y,1}} = \frac{10400}{1000} - \frac{0,04 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} = -10,4 - 1,4 = -11,8 \text{ MPa (tah)}$$

Průběh normálového napětí na dolním okraji průřezu uprostřed pole (vlákno 2)

$$\sigma_d = \sigma_2 = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y,2}} = \frac{10400}{1000} + \frac{0,04 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} = -10,4 + 4,7 = -5,7 \text{ MPa (tah)}$$

Celý průřez je namáhaný tahem.

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{Sd,H5}}{W_{com}} - \psi \frac{N_{t,Sd,H5}}{A} = \frac{-0,04 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} - 1,0 \frac{10,4 \cdot 10^3}{1000} = -4,7 - 10,4 = -15,1 \text{ MPa};$$

$$M_{eff,Sd} = \sigma_{com,Ed} \cdot W_{com} = -15,1 \cdot 8,57 \cdot 10^3 = -0,13 \text{ kNm};$$

Pro současné působení síly a momentu je hodnota redukčního součinitele  $\psi = 1,0$  dle [4] čl. 6.8.3

Pro navržený profil se stanoví štíhlost na klopení  $\chi_{LT}$  tak, že v dalším výpočtu bude vzdálenost bodů tlačeneho pásu, zajištěných proti vybočení z roviny ohybu  $L_z$  i při ztrátě stability zkroucením  $L_w$  stejná. Bude vycházet ze vzdálenosti přípojů trapezového plechu, kdy přípoj bude v každé vlně, tzn. po cca 200 mm.

$$\text{Parametr kroucení } \alpha_t = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h} \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{200}{80 - 7,4/2} \sqrt{\frac{17,9 \cdot 10^3}{0,341 \cdot 10^6}} = 0,37, \quad I_w = 0;$$

Součinitel vlivu uložení, zatížení a tuhosti prutu  $\gamma$  dle [4] (G.11)

$$C = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left( \frac{2}{h} \right)^2 \left( \frac{L_z}{L_w} \right)^2 + \left( \frac{2\alpha_t}{\pi} \right)^2} = \frac{76,3}{2} \sqrt{\frac{0}{0,341 \cdot 10^6} \left( \frac{2}{76,3} \right)^2 \left( \frac{200}{200} \right)^2 + \left( \frac{2 \cdot 0,37}{\pi} \right)^2} = 8,99$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\kappa \frac{a_c + e_z}{a_i} + \sqrt{\left( \kappa \frac{a_c + e_z}{a_i} \right)^2 + \left( \frac{C}{a_i} \right)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{0,5 \frac{-36,3 + 0}{76,3} + \sqrt{\left( 0,5 \frac{-36,3 + 0}{76,3} \right)^2 + \left( \frac{8,99}{76,3} \right)^2}}} = 1,41$$

kde  $a_c$  je vzdálenost středu stojiny od středu smyku; uvažována je záporně, protože není tlačena silnější pás, $e_z$  je vzdálenost působíště zatížení od středu smyku; uvažována je kladně, protože zatížení působí na tažené straně; další podmínka však říká, že pro koncové momenty je vzdálenost rovna 0; $\kappa = 0,5$  pro příčně zatížený prut.

$$z_1 = 61,6 \text{ mm} \quad a_i = \max(0, 76,3) = 76,3 \text{ mm}$$

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{I_z}{I_y} z_1 \cdot a_i} = \sqrt{\frac{0,341 \cdot 10^6}{0,529 \cdot 10^6} \cdot 61,6 \cdot 76,3} = 55,2 \text{ mm} \quad \text{dle [4] (G.10a)}$$

$$\text{Kritická štíhlost } \lambda = \gamma \cdot \frac{\kappa_M L_z}{i_{z1}} = 1,41 \cdot \frac{0,94 \cdot 200}{55,2} = 4,8; \quad \text{dle [4] (G.10)}$$

$$\text{Štíhlost prutu při klopení } \lambda_{LT} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y,1}}} = 4,8 \cdot \sqrt{\frac{15,22 \cdot 10^3}{8,57 \cdot 10^3}} = 6,4 \quad \text{dle [4] (6.67b)}$$

$$\text{Srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9; \quad \text{pro průřez tř. 1 a 2 je } \beta_w = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost } \bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w} = \frac{6,4}{93,9} \cdot \sqrt{1} = 0,07.$$

Hodnotu součinitele vzpěrnosti na klopení  $\chi_{LT}$  lze pro křivku c (profil vyrobený podélným rozřeznutím válcovaného průřezu) určit pro součinitel imperfekce  $\alpha_1 = \alpha_{LT} = 0,49$  (viz [4] Tabulka 6.8) a pro štíhlost  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT}$ , dle [4] příloha E, nebo z následujících vzorců (viz [4] čl. 6.8.2.2):

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,07 - 0,2) + 0,07^2] = 0,47;$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,47 + \sqrt{0,47^2 - 0,07^2}} = 1,07 \dots \leq 1,0 \dots \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 15,22 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 3,11 \cdot 10^6 \text{ Nmm} > M_{eff,Sd} = 0,13 \text{ kNm}.$$

## 2.1.3.1.2.2 Posudek dolního okraje – vlákno 2:

$$N_{Rd} = N_{t,Rd} = N_{pf,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1000 \cdot 235}{1,15} = 204,37 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{ef,y,Rd} = \frac{W_{ef,y,2} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,57 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 1,75 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$m_y = M_{y,Sd} / M_{c,y,Rd} = 0,04 / 1,75 = 0,023; m_z = 0$$

$$k_{y,z} = \frac{k_y + k_z}{2} + \left( \frac{k_y - k_z}{2} \right) \cdot \left( \frac{m_y - m_z}{m_y + m_z} \right) = \frac{2+2}{2} + \left( \frac{2-2}{2} \right) \cdot \left( \frac{0,023-0}{0,023+0} \right) = 2$$

$$\left( \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \right)^{k_{y,z}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,y,Rd}} = \left( \frac{10,4}{204,37} \right)^2 + \frac{0,04}{1,75} = 0,025 < 1$$

dle [4] čl. 6.6.6.1

Zatřídění průřezu: ocel S 235

dle [4] tab. 6.2, (c)

Průběh normálového napětí na dolním okraji svislé části průřezu uprostřed pole (vlákno 2)

$$\sigma_d = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y,2}} = -\frac{10400}{1000} + \frac{0,04 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} = -10,4 + 4,7 = -5,7 \text{ MPa (tah)}$$

Průběh normálového napětí na horním okraji průřezu uprostřed pole (vlákno 1)

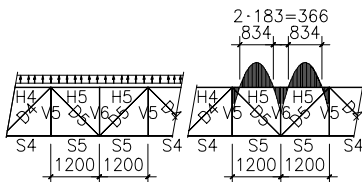
$$\sigma_h = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y,1}} = -\frac{10400}{1000} - \frac{0,04 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} = -10,4 - 1,4 = -11,8 \text{ MPa (tah)}$$

Celý průřez je namáhaný tahem.

Pro současně působení síly a momentu je hodnota redukčního součinitele  $\psi = 1,0$  dle [4] čl. 6.8.3

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{Sd,H5}}{W_{com}} - \psi \frac{N_{t,Sd,H5}}{A} = \frac{-0,04 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} - 1,0 \frac{10,4 \cdot 10^3}{1000} = -4,7 - 10,4 = -15,1 \text{ MPa};$$

$$M_{eff,Sd} = \sigma_{com,Ed} \cdot W_{com} = -15,1 \cdot 8,57 \cdot 10^3 = -0,13 \text{ kNm};$$



Obr. 2.1-5 Průběh ohybových momentů, montážní stav

Pro navržený profil se stanoví štiřlost na klopení  $\chi_{LT}$  následovně:

V dalším výpočtu bude vzdálenost bodů tláčeného pásu, zajištěných proti vybočení z roviny ohybu  $L_z$  i při ztrátě stability zkroucením  $L_w$  stejná. Bude uvažovaná o 20% větší než je vzdálenost bodů, ve kterých je ohybový moment nulový ...  $L_z = 834 \cdot 1,2 = 1000 \text{ mm}$ .

$$\text{Parametr kroucení } \alpha_1 = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h} \sqrt{\frac{I_1}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{1000}{80 - 7,4/2} \sqrt{\frac{17,9 \cdot 10^3}{0,341 \cdot 10^6}} = 1,88, I_w = 0;$$

Součinitel vlivu uložení, zatížení a tuhosti prutu  $\gamma$  interpolací hodnot dle [4] Tabulky G.3

$$\gamma = 2,54 - 0,88 \frac{2,54 - 1,52}{10} = 1,64; \lambda = \gamma \cdot \frac{\kappa_M L_z}{i_{z1}} = 1,64 \cdot \frac{0,94 \cdot 1000}{32,5} = 47,4; i_{z1} \dots \text{ dle [4]}$$

(G.10a)

$$\text{Štiřlost prutu při klopení } \lambda_{LT} = \lambda \sqrt{\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y,1}}} = 47,4 \cdot \sqrt{\frac{15,22 \cdot 10^3}{8,57 \cdot 10^3}} = 63,2 \text{ dle [4] (6.67b)}$$

$$\text{Srovnávací štiřlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9; \text{ pro průřez tř. 1 je } \beta_w = 1$$

$$\text{Poměrná štiřlost } \bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w} = \frac{63,2}{93,9} \cdot \sqrt{1} = 0,67.$$

Hodnotu součinitele vzpěrnosti na klopení  $\chi_{LT}$  lze pro křivku c (pro profil vyrobený podélným rozřiznutím válcovaného průřezu) určit součinitel imperfekce  $\alpha_1 = \alpha_{LT} = 0,49$  (viz [4] Tabulka 6.8) určit pro  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT}$ ,  $\chi_{LT} = \chi$ , dle [4] příloha E, nebo z následujících vzorců (viz [4] čl.6.8.2.2):

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,67 - 0,2) + 0,67^2] = 0,84;$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,84 + \sqrt{0,84^2 - 0,67^2}} = 0,74$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,74 \cdot 15,22 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 2,30 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 2,30 \text{ kNm}.$$

$$M_{b,Rd} \geq M_{eff,Sd} \dots 2,30 \text{ kNm} > 0,13 \text{ kNm}$$

Prut H5 v montážním stadiu vyhoví na interakci ohybu a tahu uprostřed délky prutu.

## 2.1.3.1.3 Posouzení na koncích prutu H5 – montážní stav

## 2.1.3.1.3.1 Posudek horního okraje – vlákno 1

Vliv smyku na návrhovou únosnost průřezu:

dle [4] čl. 6.6.7)

$$V_{pf,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{(80 - 7,4) \cdot 5 \cdot 235}{1,15 \cdot \sqrt{3}} = 42,83 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} / V_{pf,Rd} \leq 0,5 \dots 0,4 / 42,83 = 0,009 < 0,5$$

} vliv smyku na momentovou únosnost lze zanedbat

$$N_{Rd} = N_{t,Rd} = N_{pf,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1000 \cdot 235}{1,15} = 204,37 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{ef,y,Rd} = \frac{W_{ef,y,1} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{28,75 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 5,88 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$m_y = M_{y,Sd} / M_{c,y,Rd} = 0,08 / 5,88 = 0,013; m_z = 0$$

$$k_{y,z} = \frac{k_y + k_z}{2} + \left( \frac{k_y - k_z}{2} \right) \cdot \left( \frac{m_y - m_z}{m_y + m_z} \right) = \frac{2+2}{2} + \left( \frac{2-2}{2} \right) \cdot \left( \frac{0,013-0}{0,013+0} \right) = 2$$

$$\left( \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \right)^{k_{y,z}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,y,Rd}} = \left( \frac{10,4}{204,37} \right)^2 + \frac{0,08}{5,88} = 0,016 < 1$$

dle [4] čl. 6.6.6.1

Zatřídění průřezu: ocel S 235

dle [4] tab. 6.2, (c)

Průběh normálového napětí na dolním okraji svislé části průřezu u styčnicku (vlákno 2)

$$\sigma_d = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y,2}} = -\frac{10400}{1000} - \frac{0,08 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} = -10,4 - 9,3 = -19,7 \text{ MPa (tah)}$$

Průběh normálového napětí na horním okraji průřezu u styčnicku (vlákno 1)

$$\sigma_h = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y,1}} = -\frac{10400}{1000} + \frac{0,08 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} = -10,4 + 2,8 = -7,6 \text{ MPa (tah)}$$

Celý průřez je namáhaný pouze tahem.

Pro současně působení síly a momentu je redukční součinitel  $\psi = 1,0$  dle [4] čl. 6.8.3

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = \frac{M_{\text{Sd,H5}}}{W_{\text{com}}} - \psi \frac{N_{\text{t,Sd,H5}}}{A} = \frac{-0,08 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} - 1,0 \frac{10,4 \cdot 10^3}{1000} = -2,8 - 10,4 = -13,2 \text{ MPa};$$

$$M_{\text{eff,Sd}} = \sigma_{\text{com,Ed}} \cdot W_{\text{com}} = -13,2 \cdot 28,75 \cdot 10^3 = -0,38 \text{ kNm};$$

Pro navržený profil se stanoví štiřlost na klopení  $\chi_{\text{LT}}$  dle [4] Přílohy G následovně:

$$\text{Parametr kroucení } \alpha_1 = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h} \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{200}{80 - 7,4/2} \sqrt{\frac{17,9 \cdot 10^3}{0,341 \cdot 10^6}} = 0,37, I_w = 0;$$

Součinitel vlivu uložení, zatížení a tuhosti prutu  $\gamma$  dle [4] (G.11)

V dalším výpočtu bude uvažována vzdálenost bodů tlačeneého pásu, zajištěných proti vybočení z roviny ohybu  $L_z$  i při ztrátě stability zkroucením  $L_w$  stejná, rovná vzdálenosti vln trapezového plechu, tj. 200 mm.

$$C = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left(\frac{2}{h}\right)^2 \left(\frac{L_z}{L_w}\right)^2 + \left(\frac{2\alpha_1}{\pi}\right)^2} = \frac{76,3}{2} \sqrt{\frac{0}{0,341 \cdot 10^6} \left(\frac{2}{76,3}\right)^2 \left(\frac{200}{200}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot 0,37}{\pi}\right)^2} = 8,99$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\kappa \frac{a_c + e_z}{a_i} + \sqrt{\left(\kappa \frac{a_c + e_z}{a_i}\right)^2 + \left(\frac{C}{a_i}\right)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{0,5 \frac{36,3 - 0}{76,3} + \sqrt{\left(0,5 \frac{36,3 - 0}{76,3}\right)^2 + \left(\frac{8,99}{76,3}\right)^2}}} = 1,41$$

kde  $a_c$  je vzdálenost středu stojiny od středu smyku; uvažována je kladně, protože je tlačena silněji pás,

$e_z$  je vzdálenost působíště zatížení od středu smyku; uvažována je záporně, protože zatížení působí na tlačene straně; další podmínka však říká, že pro koncové momenty je vzdálenost rovna 0;

$\kappa = 0,5$  pro příčné zatížený prut .

$$\left. \begin{aligned} z_1 = 18,4 - 7,4/2 = 14,7 \text{ mm} \quad a_i = \max(0; 76,3) = 76,3 \text{ mm} \\ i_{z1} = \sqrt{\frac{I_z}{I_y}} z_1 \cdot a_i = \sqrt{\frac{0,341 \cdot 10^6}{0,529 \cdot 10^6}} \cdot 14,7 \cdot 76,3 = 26,9 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \text{ dle [6] (G.10a)}$$

$$\text{Kritická štiřlost } \lambda = \gamma \cdot \frac{\kappa_M L_z}{i_{z1}} = 1,41 \cdot \frac{0,94 \cdot 200}{26,9} = 9,9; \quad \text{dle [4] (G.10)}$$

$$\text{Štiřlost prutu při klopení } \lambda_{\text{LT}} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{W_{\text{pl,y}}}{W_{\text{el,y,1}}}} = 9,9 \cdot \sqrt{\frac{15,22 \cdot 10^3}{8,57 \cdot 10^3}} = 13,1 \quad \text{dle [4] (6.67b)}$$

$$\text{Srovnávací štiřlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9; \text{ pro průřez tř. 1 je } \beta_w = 1$$

$$\text{Poměrná štiřlost } \bar{\lambda}_{\text{LT}} = \sqrt{\beta_w} \cdot \lambda_{\text{LT}} / \lambda_1 = \sqrt{1} \cdot 13,1 / 93,9 = 0,14.$$

Hodnotu součinitele vzpěrnosti na klopení  $\chi_{\text{LT}}$  lze pro křivku c (pro profil vyrobený podélným rozříznutím válcovaného průřezu) určit součinitel imperfekce  $\alpha_1 = \alpha_{\text{LT}} = 0,49$  (viz [4] Tabulka 6.8) určit pro  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{\text{LT}}$ ,  $\chi_{\text{LT}} = \chi$ , dle [4] příloha E, nebo z následujících vzorců (viz [4] čl.6.8.2.2):

$$\phi_{\text{LT}} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{\text{LT}} \cdot (\bar{\lambda}_{\text{LT}} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{LT}}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,14 - 0,2) + 0,14^2] = 0,50;$$

$$\chi_{\text{LT}} = \min \left( 1; \frac{1}{\phi_{\text{LT}} + \sqrt{\phi_{\text{LT}}^2 - \bar{\lambda}_{\text{LT}}^2}} \right) = \min \left( 1; \frac{1}{0,50 + \sqrt{0,50^2 - 0,14^2}} \right) = \min(1; 1,02) = 1,0$$

$$M_{\text{b,Rd}} = \frac{\chi_{\text{LT}} \cdot W_{\text{pl,y}} \cdot f_y}{\gamma_{\text{M1}}} = \frac{1,0 \cdot 15,22 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 3,11 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 3,11 \text{ kNm}.$$

$$M_{\text{b,Rd}} \geq M_{\text{eff,Sd}} \dots 3,11 \text{ kNm} > 0,38 \text{ kNm}$$

### 2.1.3.1.3.2 Posudek dolního okraje – vlákno 2:

Zatřídění průřezu: ocel S 235

dle [4] tab. 6.2, (c)

Průběh normálového napětí na horním okraji průřezu u styčnicku (vlákno 1)

$$\sigma_h = \sigma_1 = \frac{N_{\text{Sd,H5}}}{A} + \frac{M_{\text{Sd,H5}}}{W_{\text{el,y,1}}} = \frac{10400}{1000} + \frac{0,08 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} = -10,4 - 2,8 = -13,2 \text{ MPa (tah)}$$

Průběh normálového napětí na dolním okraji průřezu u styčnicku (vlákno 2)

$$\sigma_d = \sigma_2 = \frac{N_{\text{Sd,H5}}}{A} + \frac{M_{\text{Sd,H5}}}{W_{\text{el,y,2}}} = \frac{10400}{1000} + \frac{0,08 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} = -10,4 - 9,3 = 19,7 \text{ MPa (tah)}$$

Celý průřez je tažený.

Vliv smyku na návrhovou únosnost průřezu:

dle [4] čl. 6.6.7)

$$\left. \begin{aligned} V_{\text{pF,Rd}} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}} \cdot \sqrt{3}} = \frac{(80 - 7,4) \cdot 5 \cdot 235}{1,15 \cdot \sqrt{3}} = 42,83 \text{ kN} \\ V_{\text{Sd}} / V_{\text{pF,Rd}} \leq 0,5 \dots 0,4 / 42,83 = 0,009 < 0,5 \end{aligned} \right\} \text{ vliv smyku na momentovou únosnost lze zanedbat}$$

$$N_{\text{Rd}} = N_{\text{t,Rd}} = N_{\text{pF,Rd}} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{1000 \cdot 235}{1,15} = 204,37 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{\text{c,y,Rd}} = M_{\text{ef,y,Rd}} = \frac{W_{\text{el,y,2}} \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{8,57 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 1,75 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$m_y = M_{\text{y,Sd}} / M_{\text{c,y,Rd}} = 0,08 / 1,75 = 0,046; m_z = 0$$

$$k_{y,z} = \frac{k_y + k_z}{2} + \left( \frac{k_y - k_z}{2} \right) \cdot \left( \frac{m_y - m_z}{m_y + m_z} \right) = \frac{2 + 2}{2} + \left( \frac{2 - 2}{2} \right) \cdot \left( \frac{0,046 - 0}{0,046 + 0} \right) = 2$$

$$\left( \frac{N_{\text{Sd}}}{N_{\text{Rd}}} \right)^{k_{y,z}} + \frac{M_{\text{y,Sd}}}{M_{\text{c,y,Rd}}} = \left( \frac{10,4}{204,37} \right)^2 + \frac{0,08}{1,75} = 0,048 < 1$$

Pro současně působení síly a momentu je redukční součinitel  $\psi = 1,0$  dle [4] čl. 6.8.3

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = \frac{M_{\text{Sd,H5}}}{W_{\text{com}}} - \psi \frac{N_{\text{t,Sd,H5}}}{A} = \frac{-0,08 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} - 1,0 \frac{10,4 \cdot 10^3}{1000} = -2,8 - 10,4 = -13,2 \text{ MPa};$$

$$M_{\text{eff,Sd}} = \sigma_{\text{com,Ed}} \cdot W_{\text{com}} = -13,2 \cdot 28,75 \cdot 10^3 = -0,38 \text{ kNm};$$

Pro navržený profil se stanoví štiřlost na klopení  $\chi_{\text{LT}}$  ze vzdálenosti bodů tlačeneého pásu, zajištěných proti vybočení z roviny ohybu (platí opět  $L_z = L_w$  viz text u Obr. 2.1-5). Vzdálenost bude uvažována o 20% větší než je vzdálenost mezi bodem, ve kterém je ohybový moment nulový a středem podpory, tzn.  $L_z = 183 \cdot 1,2 = 220 \text{ mm}$ .

$$\text{Parametr kroucení } \alpha_1 = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h} \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{220}{80 - 7,4/2} \sqrt{\frac{17,9 \cdot 10^3}{0,341 \cdot 10^6}} = 0,41, I_w = 0;$$

Součinitel vlivu uložení, zatížení a tuhosti prutu  $\gamma$

dle [4] (G.12) a (G.13)

$$C = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left(\frac{2}{h}\right)^2 \left(\frac{L_z}{L_w}\right)^2 + \left(\frac{2\alpha_1}{\pi}\right)^2} = \frac{76,3}{2} \sqrt{\frac{0}{0,341 \cdot 10^6} \left(\frac{2}{76,3}\right)^2 \left(\frac{220}{220}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot 0,41}{\pi}\right)^2} = 9,96$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\kappa \frac{a_c + e_z}{a_i} + \sqrt{\left(\kappa \frac{a_c + e_z}{a_i}\right)^2 + \left(\frac{C}{a_i}\right)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{0,5 \frac{-36,3-0}{76,3} + \sqrt{\left(0,5 \frac{-36,3-0}{76,3}\right)^2 + \left(\frac{9,96}{76,3}\right)^2}}} = 5,47$$

$$z_i = 18,4 - 7,4/2 = 14,7 \text{ mm} \quad a_i = \max(0; 76,3) = 76,3 \text{ mm}$$

$$i_{z1} = \sqrt{\frac{I_z}{I_y} z_1 \cdot a_i} = \sqrt{\frac{0,341 \cdot 10^6}{0,529 \cdot 10^6} \cdot 14,7 \cdot 76,3} = 26,9 \text{ mm} \quad \text{dle [6] (G.10a)}$$

$$\text{Kritická štíhlost } \lambda = \gamma \cdot \frac{\kappa_M L_z}{i_{z1}} = 5,47 \cdot \frac{0,94 \cdot 220}{26,9} = 42,1; \quad \text{dle [4] (G.10)}$$

$$\text{Štíhlost prutu při klopení } \lambda_{LT} = \lambda \sqrt{W_{pl,y} / W_{el,y,2}} = 42,1 \cdot \sqrt{15,22 \cdot 10^3 / 8,57 \cdot 10^3} = 56,1 \text{ dle [4] (6.67b)}$$

$$\text{pro průřez tř. 3 je } \beta_w = W_{el,y,2} / W_{pl,y} = 8,57 \cdot 10^3 / 15,22 \cdot 10^3 = 0,56 \quad \text{dle [4] (6.66)}$$

$$\text{Srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{E / f_y} = \pi \sqrt{210 \cdot 10^3 / 235} = 93,9; \quad \text{dle [4] (6.58)}$$

$$\text{Poměrná štíhlost } \bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w} = \frac{56,1}{93,9} \cdot \sqrt{0,56} = 0,45. \quad \text{dle [4] (6.68)}$$

Hodnotu součinitele vzpěrnosti na klopení  $\chi_{LT}$  lze pro křivku c (pro profil vyrobený podélným rozříznutím z válcovaného průřezu – viz [4] čl. 6.8.2.2) určit ze součinitele imperfekce  $\alpha_1 = \alpha_{LT} = 0,49$  (viz [4] Tabulka 6.8) a z poměrné štíhlosti  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT}$ , dle [4] Příloha E, nebo z následujících vzorců:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,45 - 0,2) + 0,45^2] = 0,66; \quad \text{dle [4] čl. 6.8.2.2}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,45^2}} = 0,87$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,87 \cdot 0,56 \cdot 15,22 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 1,51 \cdot 10^6 \text{ Nmm} > M_{eff,Sd} = 0,38 \text{ kNm}.$$

Prut H5 v montážním stadiu vyhoví na interakci ohybu a tlaku.

### 2.1.3.1.4 Posouzení uprostřed prutu H5 – provozní stav

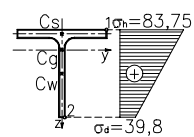
$$N_{Sd} = 73,65 \text{ kN}; M_{y,Sd} = 0,29 \text{ kNm}; N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1000 \cdot 235}{1,15} = 204,34 \text{ kN};$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,57 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 1,75 \text{ kNm}; k_{yz} = 1,0 \quad \text{dle [4] čl.}$$

$$\left(\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}}\right)^{k_{yz}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,y,Rd}} = \left(\frac{73,65}{204,34}\right)^{1,0} + \frac{0,29}{1,75} = 0,36 + 0,17 = 0,53 < 1,0 \dots \text{vyhoví}$$

6.6.6.1

Zatřídění průřezu pro provozní stav: ocel S 235 dle [4] tab. 6.2, (c) a tab. 6.4



Průběh napětí na dolním okraji průřezu uprostřed pole („volný“ okraj)

$$\sigma_d = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y}} = \frac{73,65 \cdot 10^3}{1000} - \frac{0,71 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} = 73,65 - 82,85 = -9,2 \text{ MPa (tah)}$$

Obr. 2.1-6 Průběh napětí v průřezu

Průběh normálového napětí na horním okraji průřezu uprostřed pole („podepřeny“ okraj)

$$\sigma_h = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y}} = \frac{73,65 \cdot 10^3}{1000} + \frac{0,29 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} = 73,65 + 10,1 = +83,75 \text{ MPa (tlak)}$$

přečnívací část pásnice (přiruba nosníku)  $c/t_f = 40/7,4 = 5,4 < 10 \cdot \varepsilon = 10 \dots 1.$  třída

přečnívací část pásnice („stojina“ nosníku)  $c_s/t_w = 80/5,0 = 16,0 > 15\varepsilon = 15 \dots 4.$  třída  $\Rightarrow$

efektivní šířka přečnívací tlacené části průřezu („stojiny“ nosníku): dle [4] tab. 6.4

$$\psi = \sigma_d / \sigma_h = 39,8 / 83,75 = 0,48; \text{ pro } 1 > \psi > 0 \text{ platí } k_\sigma = \frac{0,578}{\psi + 0,34} = \frac{0,578}{0,48 + 0,34} = 0,7$$

$$\text{Podle [4] čl. 6.3.4 je pro deskovou štíhlost } \bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot t \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{80}{28,4 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{0,7}} = 0,673 \leq 0,673$$

redukční součinitel  $\rho = 1,0$ .

Pokud je redukční součinitel  $\rho = 1,0$ , nebude efektivní šířka přečnívací tlacené části průřezu („stojiny“ nosníku) redukována a průřezové charakteristiky se nezmění; lze pak postupovat v souladu s [4] čl. 6.5.1.

Posouzení mezního stavu únosnosti – ohyb+tlak: dle [4] čl. 6.8.4.2

Tlačený pás je zajištěn proti vybočení z roviny ohybu trapézovým plechem, proto není nutné uvažovat při ohybu vliv klopení.

Rozhodující štíhlost při rovinném vybočení je pro vzpěr kolmo k ose y-y (viz Obr. 2.1-4). Zcela na stranu bezpečnou pak lze uvažovat  $L_{cr,y} = 1200 \text{ mm}$ .

$$\text{Štíhlost prutu } \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1200}{22,9} = 52,4; \text{ srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9;$$

poměrná štíhlost  $\bar{\lambda} = (\lambda_y / \lambda_1) = 54,6 / 93,9 = 0,58$ , pro průřez 3. třídy je  $\beta_A = 1$ .

Hodnotu součinitele vzpěrnosti  $\chi_{min}$  lze pro křivku c (pro profil vyrobený podélným rozříznutím válcovaného průřezu) určit součinitel imperfekce  $\alpha_1 = \alpha_{LT} = 0,49$  (viz [4] Tabulka 6.8) určit pro  $\bar{\lambda}$ , dle [4] přílohy E, nebo z následujících vzorců (viz [4] čl. 6.8.2.2):

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,58 - 0,2) + 0,58^2] = 0,76.$$

$$\chi_{min} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,76 + \sqrt{0,76^2 - 0,58^2}} = 0,80.$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu dle [4] Tabulka 6.11

$$\beta_{My} = \beta_{Mw} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{Mw}) = 1,1 + 1 \cdot (1,3 - 1,1) = 1,3$$

$$\mu_y = \bar{\lambda} (2\beta_{My} - 4) = 0,58 \cdot (2 \cdot 1,3 - 4) = -0,81$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_{min} A \cdot f_y} = 1 - \frac{-0,81 \cdot 73,65 \cdot 10^3}{0,80 \cdot 1000 \cdot 235} = 1,32 (< 1,5)$$

Podmínka pro kombinaci ohybu a osového tlaku dle [4] (6.73)

$$\frac{N_{Sd} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} A f_y} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd} \cdot \gamma_{M1}}{W_{el,y} f_y} \leq 1,0 = \frac{73,65 \cdot 10^3 \cdot 1,15}{0,80 \cdot 1000 \cdot 235} + \frac{1,32 \cdot 0,29 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{8,57 \cdot 10^3 \cdot 235} = 0,45 + 0,22 = 0,67 < 1,00$$

Momentovou únosnost průřezu není nutné redukovat, protože smyková síla ( $V_{Sd,H5} = 0$ ) nikde v oblasti největších momentů nepřesáhne 30% smykové únosnosti.

## 2.1.3.1.5 Posouzení na konci prutu H5 – provozní stav

$$\left. \begin{aligned} N_{Sd} &= 73,65 \text{ kN}; M_{y,Sd} = 0,59 \text{ kNm}; N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1000 \cdot 235}{1,15} = 204,34 \text{ kN}; \\ M_{c,y,Rd} &= \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,57 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,15} = 1,75 \text{ kNm}; k_{yz} = 1,0 \\ \left( \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \right)^{k_{yz}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,y,Rd}} &= \left( \frac{73,65}{204,34} \right)^{1,0} + \frac{0,59}{1,75} = 0,36 + 0,34 = 0,70 < 1,0 \dots \text{vyhoví} \end{aligned} \right\} \text{dle [4] čl. 6.6.6.1}$$

- **Zatřídění průřezu:** ocel S 235 dle [4] tab. 6.2, (c) a tab.6.4

přečnívací část pásnice (příruba nosníku):  $c/t_f = 40/7,4 = 5,4 < 10 \cdot \varepsilon = 10 \dots$  1. třída

přečnívací část pásnice („stojina“ nosníku):  $c_s/t_w = 80/5,0 = 16,0$

průběh normálového napětí na dolním okraji průřezu na konci prutu

$$\sigma_d = \sigma_1 = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y}} = \frac{73,65 \cdot 10^3}{1000} + \frac{0,59 \cdot 10^6}{8,57 \cdot 10^3} = 73,65 + 68,84 = +142,49 \text{ MPa (tlak)}$$

průběh normálového napětí na horním okraji průřezu uprostřed pole

$$\sigma_h = \sigma_2 = \frac{N_{Sd,H5}}{A} + \frac{M_{Sd,H5}}{W_{el,y}} = \frac{73,65 \cdot 10^3}{1000} - \frac{0,59 \cdot 10^6}{28,75 \cdot 10^3} = 73,65 - 20,52 = +53,13 \text{ MPa (tlak)}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 53,13 / 142,49 = 0,373 \dots$$

$$k_\sigma = 0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2 = 0,57 - 0,21 \cdot 0,373 + 0,07 \cdot 0,373^2 = 0,50$$

$$c_s/t_w = 80/5,0 = 16,0 < 23\varepsilon\sqrt{k_\sigma} = 23 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,5} = 16,26 \dots$$
 3. třída  $\Rightarrow$  celý průřez je 3. třída

- **Vliv smyku na návrhovou únosnost průřezu:** dle [4] čl. 6.6.7

$$\left. \begin{aligned} V_{pF,Rd} &= \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{(80 - 7,4) \cdot 5 \cdot 235}{1,15 \cdot \sqrt{3}} = 42,83 \text{ kN} \\ V_{Sd,H5} / V_{pF,Rd} &\leq 0,5 \dots 2,95 / 42,83 = 0,07 < 0,5 \end{aligned} \right\} \text{vliv smyku na momentovou únosnost lze zanedbat}$$

## 2.1.3.1.5.1 Posouzení mezního stavu únosnosti

Tlačený pás je zajištěn proti vybočení z roviny ohybu trapézovým plechem uchyceným na tažené straně. V tomto případě je možné uvažovat, že průřez má vnucenou osu otáčení na okraji taženého pásu.

Jinou úvahou lze dojít k modelu, při kterém se vliv trapézového plechu zcela opomine. Potom lze vzdálenost bodů zabezpečených proti vybočení z roviny ohybu uvažovat jako vzdálenost bodů, ve kterých je ohybový moment na prutu  $M_{y,Sd} = 0$ . Tuto vzdálenost je vhodné zvětšit o cca 20 % (protože je nutné postihnout případný posun bodů v jednotlivých kombinacích zatížení). V řešeném případě lze uvažovat pro dané statické schéma se vzdáleností bodů, zajištěných proti vybočení z roviny ohybu, o délce  $L_z = 366 \cdot 1,2 = 439 \sim 450$  mm.

Pro navržený profil se pak může štíhlost na klopení  $\chi_{LT}$  stanovit dle [4] Přílohy G následovně:

$$\text{Parametr kroucení } \alpha_1 = 0,62 \cdot \frac{L_z}{h} \sqrt{\frac{I_t}{I_z}} = 0,62 \cdot \frac{450}{80 - 7,4/2} \sqrt{\frac{17,9 \cdot 10^3}{0,341 \cdot 10^6}} = 0,84, I_w = 0;$$

- **Součinitel vlivu uložení, zatížení a tuhosti prutu  $\gamma$**  dle [4] (G.11)

$$C = \frac{h}{2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} \left( \frac{2}{h} \right)^2 \left( \frac{L_z}{L_w} \right)^2 + \left( \frac{2\alpha_1}{\pi} \right)^2} = \frac{76,3}{2} \sqrt{\frac{0}{0,341 \cdot 10^6} \left( \frac{2}{76,3} \right)^2 \left( \frac{200}{200} \right)^2 + \left( \frac{2 \cdot 0,84}{\pi} \right)^2} = 20,4$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\kappa \frac{a_c + e_z}{a_i} + \sqrt{\left( \kappa \frac{a_c + e_z}{a_i} \right)^2 + \left( \frac{C}{a_i} \right)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{0,5 \frac{36,3 - 0}{76,3} + \sqrt{\left( 0,5 \frac{36,3 - 0}{76,3} \right)^2 + \left( \frac{20,4}{76,3} \right)^2}}} = 1,3$$

kde  $a_c$  je vzdálenost středu stojiny od středu smyku; uvažována je kladně (je tlačen silnější pás),  
 $e_z$  je vzdálenost působíště zatížení od středu smyku; uvažována je záporně (zatížení působí na tlačené straně); další podmínka však říká, že pro koncové momenty je vzdálenost rovna 0;  
 $\kappa = 0,5$  pro příčné zatížený prut.

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= 61,6 \text{ mm} \quad a_i = \max(0; 76,3) = 76,3 \text{ mm} \\ i_{z1} &= \sqrt{\frac{I_z}{I_y}} z_1 \cdot a_i = \sqrt{\frac{0,341 \cdot 10^6}{0,529 \cdot 10^6}} \cdot 61,6 \cdot 76,3 = 55,0 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \text{dle [4] (G.10a)}$$

$$\text{Kritická štíhlost } \lambda = \gamma \cdot \frac{\kappa_M L_z}{i_{z1}} = 1,3 \cdot \frac{0,94 \cdot 450}{55,0} = 10; \quad \text{dle [4] (G.10)}$$

$$\text{Štíhlost prutu při klopení } \lambda_{LT} = \lambda \cdot \sqrt{W_{pl,y} / W_{el,y,1}} = 10 \cdot \sqrt{15,22 \cdot 10^3 / 8,57 \cdot 10^3} = 13,3 \quad \text{dle [4] (6.67b)}$$

$$\text{Srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9; \text{ pro průřez tř. 3 je } \beta_w = 1$$

$$\text{Poměrná štíhlost } \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\beta_w} \lambda_{LT} / \lambda_1 = \sqrt{1} \cdot 13,3 / 93,9 = 0,14.$$

Hodnotu součinitele vzpěrnosti na klopení  $\chi_{LT}$  lze pro křivku c (pro profil vyrobený podélným rozříznutím válcovaného průřezu) určit součinitel imperfekce  $\alpha_1 = \alpha_{LT} = 0,49$  (viz [4] Tabulka 6.8) určit pro  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT}$ ,  $\chi_{LT} = \chi$ , dle [4] příloha E, nebo z následujících vzorců (viz [4] čl.6.8.2.2):

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,49 \cdot (0,14 - 0,2) + 0,14^2 \right] = 0,50;$$

$$\chi_{LT} = \min \left( 1; \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \right) = \min \left( 1; \frac{1}{0,5 + \sqrt{0,5^2 - 0,14^2}} \right) = \min(1,1,02) = 1,0$$

Rozhodující štíhlost při rovinném vybočení je pro vzpěr kolmo k ose y-y. Zcela na stranu bezpečnou lze uvažovat  $L_{cr,y} = 1200$  mm.

$$\text{Štíhlost prutu } \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1200}{22,9} = 52,4; \text{ srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9;$$

poměrná štíhlost  $\bar{\lambda} = (\lambda_y / \lambda_1) = 54,6 / 93,9 = 0,58$ , pro průřez 3. třídy je  $\beta_A = 1$ .

Hodnotu součinitele vzpěrnosti  $\chi_{min}$  lze pro křivku c (pro válcované nosníky,  $\alpha_1 = 0,49$ ) určit pro  $\bar{\lambda}$  dle [4] přílohy E, nebo z následujících vzorců:

$$\phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,49 \cdot (0,58 - 0,2) + 0,58^2 \right] = 0,76.$$

$$\chi_{min} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,76 + \sqrt{0,76^2 - 0,58^2}} = 0,80.$$

$$\beta_{My} = \beta_{M\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M\psi}) = 1,1 + 1 \cdot (1,3 - 1,1) = 1,3$$

$$\mu_y = \bar{\lambda} (2\beta_{My} - 4) = 0,58 (2 \cdot 1,3 - 4) = -0,81$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_{min} A \cdot f_y} = 1 - \frac{-0,81 \cdot 73,65 \cdot 10^3}{0,80 \cdot 1000 \cdot 235} = 1,32 (< 1,5)$$

dle [4] čl. 6.8.4.2

$$\frac{N_{sd} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y} + \frac{k_y \cdot M_{y,sd} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_y} \leq 1,0 \dots \frac{73,65 \cdot 10^3 \cdot 1,15}{0,80 \cdot 1000 \cdot 235} + \frac{1,32 \cdot 0,59 \cdot 10^6 \cdot 1,15}{1,0 \cdot 8,57 \cdot 10^3 \cdot 235} = 0,45 + 0,44 = 0,89 < 1,00$$

Momentovou únosnost průřezu není nutné redukovat, protože smyková síla nikde v oblasti největších momentů nepřesáhne 7 % smykové únosnosti, přičemž limit je 50%.

Prut H5 v provozním stadiu vyhoví na interakci ohybu a tlaku.

#### Poznámka:

Šířku příruby navrženého profilu je nutné porovnat s optimálním rozměrem, nutným k realizaci uložení trapézového plechu (TP). Z posudku TP vyplývá, zda je z konstrukčních důvodů vhodnější použít větší výchozí profil IPE, nebo redukovat únosnost trapézového plechu.

#### 2.1.3.2 Spodní pás, prut S5

Statická schémata pro nejnepříznivější kombinace zatížení jsou uvedena v předchozím textu na Obr. 2.1-2 a na Obr. 2.1-3.

#### Vyhodnocení účinků kombinací zatížení pro prut S5:

Na prutu budou extrémní účinky určeny průsečnou metodou pro:

$$\text{Montážní stav: } \begin{cases} N_{sd,S5} = \frac{1}{8} \cdot \frac{g_d \cdot \ell^2}{h} = \frac{1}{8} \cdot \frac{(-0,69) \cdot 12^2}{1,20} = -10,4 \text{ kN (tlak)} \\ M_{sd,S5} = 0 \text{ kNm} \dots V_{sd,S5} = 0 \text{ kN} \end{cases}$$

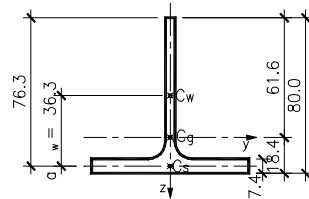
$$\text{Provozní stav: } \begin{cases} N_{sd,S5} = \frac{1}{8} \cdot \frac{g_d \cdot \ell^2}{h} = \frac{1}{8} \cdot \frac{4,91 \cdot 12^2}{1,20} = 73,65 \text{ kN (tah)} \\ M_{sd,S5} = 0 \text{ kNm} \dots V_{sd,S5} = 0 \text{ kN} \end{cases}$$

#### Navržen profil 1/2 IPE 160 (S235):

Profil prutu S5 je úpalek IPE z oceli S 235. Na prutu není nutné vyhodnocovat vliv ohybu, protože ohybový moment je vyvozován pouze od zatížení vlastní tíhou (prutu spodního pásu)

Vzdálenost bodů zajištěných proti vybočení:

- v rovině vaznice je 1200 mm,
- z roviny vaznice je uvažováno montážní zabezpečení ve čtvrtinách délky vaznice. V provozním stavu bude spodní pás namáhán jen tahem.



Obr. 2.1-7 Průřez dolního pásu

$$h = 80 \text{ mm}; \quad I_y = 0,529 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; \quad i_y = 22,9 \text{ mm}; \quad I_z = 0,3419 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; \quad i_z = 18,4 \text{ mm};$$

$$b = 82 \text{ mm}; \quad W_{el,y,1} = 28,75 \cdot 10^3 \text{ mm}^3; \quad I_t = 17,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^4;$$

$$A = 1000 \text{ mm}^2; \quad W_{el,y,2} = 8,57 \cdot 10^3 \text{ mm}^3; \quad W_{el,z} = 8,33 \cdot 10^3 \text{ mm}^3;$$

$$e_y = 18,4 \text{ mm}; \quad W_{pl,y} = 15,22 \cdot 10^3 \text{ mm}^3; \quad W_{pl,z} = 13,00 \cdot 10^3 \text{ mm}^3;$$

#### 2.1.3.2.1 Posouzení mezního stavu únosnosti

##### Pro montážní stav:

dle [4] čl. 6.6.2 a 6.8

V dalším textu je uvažováno, že při montáži bude vhodným technickým opatřením zabezpečen spodní pás vaznice proti vybočení z roviny vaznice (kolmo k ose z-z) ve čtvrtinách délky spodního pásu.

$$\text{Štíhlost při rovinném vybočení je pro vzpěr kolmo k ose } \begin{cases} y-y \dots L_{cr,y} = 1200 \text{ mm}, \\ z-z \dots L_{cr,z} = 2 \cdot 1200 = 2400 \text{ mm}. \end{cases}$$

#### Poznámka:

Je uvažováno s tím, že po dobu montáže je dolní pás zabezpečený po vzdálenostech 2400 mm.

$$\text{Štíhlost prutu } \begin{cases} \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1200}{22,9} = 52,4 \\ \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2400}{18,4} = 130,4 \end{cases}; \text{ srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9;$$

$$\text{Poměrná štíhlost } \begin{cases} \bar{\lambda}_y = (\lambda_y / \lambda_1) = 52,4 / 93,9 = 0,56 \\ \bar{\lambda}_z = (\lambda_z / \lambda_1) = 130,4 / 93,9 = 1,39 \end{cases}; \text{ pro průřez 3. třídy je } \beta_A = 1.$$

Hodnotu součinitele vzpěrnosti  $\chi_{min}$  lze pro křivku c (pro válcované nosníky,  $\alpha_1 = 0,49$ ) určit pro poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}$  dle [4] přílohy E, nebo z následujících vzorců:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,56 - 0,2) + 0,56^2] = 0,74,$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,74 + \sqrt{0,76^2 - 0,56^2}} = 0,81$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,39 - 0,2) + 1,39^2] = 1,76;$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,76 + \sqrt{1,76^2 - 1,39^2}} = 0,30;$$

$$\chi_{min} = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,81; 0,30) = 0,30.$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,30 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 235}{1,15} = 61,3 \cdot 10^3 \text{ N} > N_{sd,S6} = 10,4 \text{ kN}$$

Prut S5 v montážním stadiu vyhoví na vzpěrný tlak.

#### Pro provozní stav:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1000 \cdot 235 / 1,15 = 204,3 \cdot 10^3 \text{ N} > N_{sd,S6} = 73,65 \text{ kN}$$

Prut S5 v provozním stadiu vyhoví na tah.

#### Kontrola mezní štíhlosti dolního pásu vaznice:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1200}{22,9} = 52,4 < 400; \quad \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{12000}{18,4} = 652 > 400 \dots \text{ pás nevyhovuje na štíhlost při}$$

vybočení z roviny vaznice, jeho vzpěrná délka bude zkrácena na polovinu příčným ztužidlem ve svislé rovině – viz kapitola ZTUŽIDLA.

#### 2.1.3.3 Diagonála D1, (diagonály D2 až D6)

Statická schémata pro nejnepříznivější kombinace zatížení jsou uvedena v předchozím textu na Obr. 2.1-2 a na Obr. 2.1-3.

Nejvíce namáhanou diagonálou bude prut D1 (D2), ostatní budou navrženy stejně. Vyhodnocení účinků kombinací zatížení na prut D1 – extrémní účinky určeny styčnickovou metodou pro:

$$\text{Montážní stav: } \begin{cases} N_{D1} = g_d \cdot \left( \frac{\ell}{2} - \frac{a}{2} \right) \sqrt{2} = (-0,69) \cdot \left( \frac{12}{2} - \frac{1,20}{2} \right) \sqrt{2} = -5,3 \text{ kN (tlak)} \\ M_{D1} = 0 \text{ kNm} \dots V_{sd,D1} = 0 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\text{Provozní stav: } \begin{cases} N_{D1} = g_d \cdot \left( \frac{\ell}{2} - \frac{a}{2} \right) \sqrt{2} = 4,91 \cdot \left( \frac{12}{2} - \frac{1,20}{2} \right) \sqrt{2} = 37,5 \text{ kN (tah)} \\ M_{D1} = 0 \text{ kNm} \dots V_{sd,D1} = 0 \text{ kN} \end{cases}$$

Vyhodnocení účinků kombinací zatížení na prutu **D2** – extrémní účinky určeny styčnickovou metodou pro:

Montážní stav:  $N_{D2} = 4,1 \text{ kN (tah)}$ ;  $M_{D2} = 0 \text{ kNm}$ ...  $V_{Sd,D2} = 0 \text{ kN}$

Provozní stav:  $N_{D2} = -29,2 \text{ kN (tlak)}$ ;  $M_{D2} = 0 \text{ kNm}$ ...  $V_{Sd,D2} = 0 \text{ kN}$

#### Navržen profil TR 44,5/4 (S235):

Pro trubku 44,5/4 platí průřezové hodnoty  $A = 509 \text{ mm}^2$ ,  $i = 14,4 \text{ mm}$ ;



Obr. 2.1-8

#### 2.1.3.3.1 Posouzení mezního stavu únosnosti

##### Pro montážní stav:

dle [4] čl. 6.6.2 a 6.8

Štíhlost při rovinném vybočení je pro vzpěr kolmo k ose

$$y - y(z - z) \dots L_{cr,y} = 1200 \cdot \sqrt{2} = 1697 \text{ mm} = L_{cr,z}$$

$$\text{štíhlost prutu } \lambda_y = L_{cr,y} / i_y = 1697 / 14,4 = 117,8 = \lambda_z;$$

$$\text{srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{E / f_y} = \pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 / 235} = 93,9;$$

$$\text{poměrná štíhlost } \bar{\lambda}_y = (\lambda_y / \lambda_1) = 117,8 / 93,9 = 1,26 = \bar{\lambda}_z;$$

Zatřídění průřezu: ocel S 235

dle [4] tab. 6.2, (e)

$d/t = 51/4 = 13 \leq 50 \epsilon^2 = 50 \cdot 1 = 50$  ... 1. třída; pro průřez 1. třídy je  $\beta_A = 1$

Hodnotu součinitele vzpěrnosti  $\chi_{\min}$  lze pro křivku **a** (pro válcované duté průřezy,  $\alpha_1 = 0,21$ ) určit pro poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}$  dle [4] přílohy E, nebo z následujících vzorců :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,26 - 0,2) + 1,26^2] = 1,41;$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,41 + \sqrt{1,41^2 - 1,26^2}} = 0,49;$$

Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,49 \cdot 1 \cdot 509 \cdot 235}{1,15} = 51,0 \cdot 10^3 \text{ N} > N_{D1} = 5,3 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 509 \cdot 235 / 1,15 = 104,0 \cdot 10^3 \text{ N} > N_{D2} = 4,1 \text{ kN}$$

Diagonála **D1 (D2)** v montážním stadiu vyhoví na vzpěrný tlak (na tah).

##### Pro provozní stav:

dle [4] čl. 6.6.2 a 6.8

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 509 \cdot 235 / 1,15 = 104,0 \cdot 10^3 \text{ N} > N_{D1} = 37,5 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 51,0 \text{ kN} > N_{D2} = 29,2 \text{ kN}$$

Diagonála **D1 (D2)** v provozním stadiu vyhoví na tah (na vzpěrný tlak).

**Poznámka:** Evidentně lze použít profil trubky o menším průměru, při minimální tloušťce 4 mm. Při menší tloušťce trubky by nebylo možné postupovat dle ČSN 73 1401:98.

#### 2.1.3.4 Vertikály V (všechny)

Návrh je proveden pro namáhané vertikály – pruty V2, V4, V6, ostatní vertikály budou navrženy stejně, i když teoreticky nepředáží jiné účinky než vlastní tíhu (což je nutná podmínka rovnováhy ve styčnicku). Dle [4] čl. C.2.5 však musí být svislice zkracující vzpěrnou délku prutu pásu posouzené na tlakovou sílu o velikosti nejméně 1/100 tlakové síly v prutu, jehož vzpěrnou délku zajišťuje. V řešeném případě by mělo být provedené posouzení:

- vertikály V3 na sílu  $N_{Sd,S3} / 100$  v montážním stavu ( $N_{Sd,S3}$  je v montážním stavu tlaková),

- vertikály V5 na sílu  $N_{Sd,S5} / 100$  v montážním stavu ( $N_{Sd,S5}$  je v montážním stavu tlaková).

Extrémní tlaková síla bude na prutu S5 v montážním stavu ( $N_{Sd,S5} = 10,4 \text{ kN}$ ). Je zřejmé že vertikála V5 na tlakovou sílu  $N_{Sd,S5} / 100 = 10,4 / 100 = 0,1 \text{ kN}$  vyhoví.

Vyhodnocení účinků kombinací zatížení na prutu  $V_2 = V_4 = V_6$  – extrémní účinky určeny styčnickovou metodou pro:

Montážní stav:  $-N_{Sd,V2} = g_d \cdot a = (-0,69) \cdot 1,20 = -0,83 \text{ kN (tah)}$ ;  $M_{Sd,V2} = 0 \text{ kNm}$ ...  $V_{Sd,V2} = 0 \text{ kN}$

Provozní stav:  $N_{Sd,V2} = g_d \cdot a = 4,91 \cdot 1,20 = 5,9 \text{ kN (tlak)}$ ;  $M_{Sd,V2} = 0 \text{ kNm}$ ...  $V_{Sd,V2} = 0 \text{ kN}$

#### Navržen profil TR 44,5/4 (S235):

Pro trubku 44,5/4 platí průřezové hodnoty  $A = 509 \text{ mm}^2$ ,  $i = 14,4 \text{ mm}$ ;



Obr. 2.1-9

#### 2.1.3.4.1 Posouzení mezního stavu únosnosti

##### Pro montážní i provozní stav:

dle [4] čl. 6.6.2 a 6.8

Pro trubku 44,5/4 platí průřezové hodnoty  $A = 509 \text{ mm}^2$ ,  $i = 14,4 \text{ mm}$ ;

Štíhlost při rovinném vybočení je pro vzpěr kolmo k ose  $y - y(z - z) \dots L_{cr,y} = 1200 = L_{cr,z}$ ,

$$\text{Štíhlost prutu } \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{1200}{14,4} = 83,3 = \lambda_z; \text{ srovnávací štíhlost } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,9;$$

$$\text{Poměrná štíhlost } \bar{\lambda}_y = (\lambda_y / \lambda_1) = 83,3 / 93,9 = 0,89 = \bar{\lambda}_z$$

Pro průřez 1. třídy je  $\beta_A = 1$  ( $d/t = 44,5/4 = 12 < 50 \epsilon^2 = 50 \cdot 1 = 50$ )

Hodnotu součinitele vzpěrnosti  $\chi_{\min}$  lze pro křivku **a** (pro válcované duté průřezy,  $\alpha_1 = 0,21$ ) určit pro poměrnou štíhlost  $\bar{\lambda}$  dle [4] přílohy E, nebo z následujících vzorců :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,89 - 0,2) + 0,89^2] = 0,97;$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,97 + \sqrt{0,97^2 - 0,89^2}} = 0,74;$$

Návrhová vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,74 \cdot 1 \cdot 509 \cdot 235}{1,15} = 76,9 \cdot 10^3 \text{ N} > N_{V2} = 5,9 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{509 \cdot 235}{1,15} = 104,0 \cdot 10^3 \text{ N} > N_{V2} = 0,83 \text{ kN}$$

Vertikály vaznice v montážním (i provozním) stavu vyhoví na vzpěrný tlak (i na tah).

#### 2.1.3.5 Posouzení mezního stavu únosnosti – přípoje

##### 2.1.3.5.1 Dílenské přípoje

Vaznice má mezní rozměry menší než jsou přepravní možnosti, proto ji lze vyrobit v celku. Přípoje diagonál proto budou navrženy jako dílenské, tzn. že budou provedeny na dílně. Vzhledem k technologickým možnostem je výhodnější jako dílenský spoj použít svary.

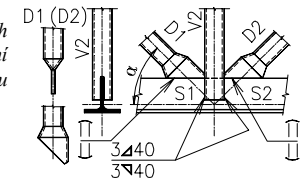
##### 2.1.3.5.1.1 Přípoj v uzlu mezi pruty S1, D1, V2, D2, S2

###### Přípoj D1 a S1:

Typů oboustranný nezabroušený svar bez úprav spojovaných ploch. Diagonála **D1** bude zploštěná a bude připojena na extrémní tahovou sílu  $N_{Sd} = 37,5 \text{ kN}$ . Tato síla se rozloží na složku kolmou a rovnoběžnou s podélnou osou svaru:

$$N_{Sd,\perp} = 37,5 \cdot \sin \alpha = 37,5 \cdot \sin 45^\circ = 26,6 \text{ kN},$$

$$N_{Sd,\parallel} = 37,5 \cdot \cos \alpha = 37,5 \cdot \cos 45^\circ = 26,6 \text{ kN}.$$



Obr. 2.1-10 Přípoj prutů D1, D2, V2 na spodní pás

**příčné normálové napětí** ze složky  $N_{Sd,\perp} = 26,6 \text{ kN}$ : (pro vyobrazení viz následující [Obr. 2.1-11](#))

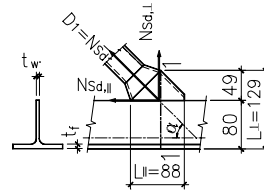
$$\sigma_{\perp} = N_{Sd,\perp} / (L_{\parallel} \cdot t_w) = 26,6 \cdot 10^3 / (88 \cdot 5) = 60,5 \text{ MPa}$$

**podélné normálové napětí** ze složky  $N_{Sd,\parallel} = 26,6 \text{ kN}$ :

$$A_{\perp} = 1000 + 49 \cdot 2t = 1000 + 49 \cdot 2 \cdot 4 = 1392 \text{ mm}^2$$

kde  $A_{\perp}$  je účinná plocha vzniklá z řezu 1-1

$$\sigma_{\parallel} = \frac{N_{Sd,\parallel}}{A_{\perp}} = \frac{26,6 \cdot 10^3}{1392} = 19,1 \text{ MPa}$$



**Obr. 2.1-11** Přípoj prutu D1 na spodní pás

**podélné smykové napětí** ze složky  $N_{Sd,\parallel} = 26,6 \text{ kN}$ :  $\tau = \frac{N_{Sd,\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t_w} = \frac{26,6 \cdot 10^3}{88 \cdot 5} = 60,5 \text{ MPa}$

Pro stěnu nosníku namáhanou kombinací ohybového momentu, osové síly a příčné lokální síly platí ustanovení [\[4\]](#) čl. 6.6.8. Pro tupý svar lze článek přiměřeně použít při respektování ustanovení [\[4\]](#) čl. 4.9.5 a při substituci  $\sigma_{x,Ed} = \sigma_{\parallel}$ ;  $\sigma_{z,Ed} = \sigma_{\perp} / \gamma_{r,\sigma,\perp}$ ;  $\tau_{Ed} = \tau$ ;  $f_{y,Ed} = f_y / \gamma_{M0}$ ;  $\gamma_{r,\sigma,\perp} = 0,85$  takto:

Pro normálová napětí platí vztah  $\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) \leq 1,0$ , dle [\[4\]](#) (6.25a)

$$\left(\frac{19,1 \cdot 1,15}{235}\right)^2 + \left(\frac{60,5 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right)^2 - \left(\frac{19,1 \cdot 1,15}{235}\right) \cdot \left(\frac{60,5 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right) = 0,1 < 1,0 \dots \text{ svar vyhoví}$$

Pro interakci normálových a smykového napětí platí vztah dle [\[4\]](#) (6.25b)

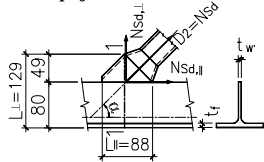
$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) + 1,1 \left(\frac{\tau_{Ed} \cdot \sqrt{3}}{f_{y,Ed}}\right) \leq 1,1$$

$$\left(\frac{19,1 \cdot 1,15}{235}\right)^2 + \left(\frac{60,5 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right)^2 - \left(\frac{19,1 \cdot 1,15}{235}\right) \cdot \left(\frac{60,5 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right) + 1,1 \cdot \left(\frac{60,5 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{3}}{0,85 \cdot 235}\right) = 0,76 < 1,1$$

Tupý svar připoje diagonály **D3** na prut **S1** vyhoví na tah.

Posouzení na tlakovou sílu 5,3 kN není provedeno, svar **vyhoví** (viz přípoj diagonály **D2** dále).

#### Přípoj D2 a S2:



Tupý oboustranný nezabroušený svar bez úprav spojovaných ploch. Diagonála **D2** bude zploštěná a bude připojena na extrémní tlakovou sílu  $N_{Sd} = 29,2 \text{ kN}$ . Tato síla se rozloží na složku kolmou a rovnoběžnou s podélnou osou svaru:

$$N_{Sd,\perp} = 29,2 \cdot \sin \alpha = 29,2 \cdot \sin 45^\circ = 20,7 \text{ kN},$$

$$N_{Sd,\parallel} = 29,2 \cdot \cos \alpha = 29,2 \cdot \cos 45^\circ = 20,7 \text{ kN}.$$

**Obr. 2.1-12** Přípoj prutu D1 na spodní pás

**příčné normálové napětí** ze složky  $N_{Sd,\perp} = 20,7 \text{ kN}$ :  $\sigma_{\perp} = \frac{N_{Sd,\perp}}{L_{\parallel} \cdot t_w} = \frac{20,7 \cdot 10^3}{88 \cdot 5} = 47,0 \text{ MPa}$

**podélné normálové napětí** ze složky  $N_{Sd,\parallel} = 20,7 \text{ kN}$ :

$$A_{\perp} = 1000 + 49 \cdot 2t = 1000 + 49 \cdot 2 \cdot 4 = 1392 \text{ mm}^2$$

$A_{\perp}$  je účinná plocha vzniklá z řezu 1-1

$$\sigma_{\parallel} = N_{Sd,\parallel} / A_{\perp} = 20,7 \cdot 10^3 / 1392 = 14,9 \text{ MPa}, \quad A_{\perp} \text{ je plocha účinná na smyk, vzniklá z řezu 1-1.}$$

**podélné smykové napětí** ze složky  $N_{Sd,\parallel} = 20,7 \text{ kN}$ :

$$\tau = N_{Sd,\parallel} / (L_{\parallel} \cdot t_w) = 20,7 \cdot 10^3 / (88 \cdot 5) = 47,0 \text{ MPa}$$

$$\text{návrhová únosnost průřezu ve smyku: } V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{(80 \cdot 5 + 49 \cdot 8) \cdot 235}{1,15 \cdot \sqrt{3}} = 93,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pro stěnu nosníku namáhanou kombinací ohybového momentu, osové síly a příčné lokální síly platí ustanovení [\[4\]](#) čl. 6.6.8. Pro tupý svar lze článek přiměřeně použít při respektování ustanovení [\[4\]](#) čl. 4.9.5 a při substituci  $\sigma_{x,Ed} = \sigma_{\parallel}$ ;  $\sigma_{z,Ed} = \sigma_{\perp} / \gamma_{r,\sigma,\perp}$ ;  $\tau_{Ed} = \tau$ ;  $f_{y,Ed} = f_y / \gamma_{M0}$ ;  $\gamma_{r,\sigma,\perp} = 0,85$  takto:

Pro normálová napětí platí vztah  $\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) \leq 1,0$ , dle [\[4\]](#) (6.25a)

$$\left(\frac{14,9 \cdot 1,15}{235}\right)^2 + \left(\frac{47,0 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right)^2 - \left(\frac{14,9 \cdot 1,15}{235}\right) \cdot \left(\frac{47,0 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right) = 0,06 < 1,0 \dots \text{ svar vyhoví}$$

Pro interakci normálových a smykového napětí platí vztah dle [\[4\]](#) (6.25b)

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y,Ed}}\right) + 1,1 \left(\frac{\tau_{Ed} \cdot \sqrt{3}}{f_{y,Ed}}\right) \leq 1,1$$

$$\left(\frac{14,9 \cdot 1,15}{235}\right)^2 + \left(\frac{47,0 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right)^2 - \left(\frac{14,9 \cdot 1,15}{235}\right) \cdot \left(\frac{47,0 \cdot 1,15}{0,85 \cdot 235}\right) + 1,1 \cdot \left(\frac{47,0 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{3}}{0,85 \cdot 235}\right) = 0,57 < 1,1$$

Pozn.: posouzení na tahovou sílu 4,1 kN není provedeno, svar **vyhoví** (viz přípoj diagonály **D1** výše).

#### Přípoj V2 na pásové pruty S1, S2:

Koutový oboustranný nezabroušený svar bez úprav spojovaných ploch. Vertikála **V2** bude prořezaná a nasazená na stojinu spodního pásu a bude připojena na extrémní tlakovou sílu  $N_{Sd} = 5,9 \text{ kN}$ . Tato síla se rozloží do celkem 4 svarů o účinné výšce 3 mm a účinné délce 40 mm. Ve všech svarech bude vyvozeno pouze smykové rovnoběžné napětí  $\tau_{\parallel} = N_{Sd,\parallel} / (L_{we} \cdot a_{we}) = 5900 / (4 \cdot 40 \cdot 3) = 12,3 \text{ MPa}$ .

**Srovnávací napětí ve svarech**

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} + 3 \cdot \tau_{\perp} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \dots \sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = 21,3 \text{ MPa} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,5} = 300 \text{ MPa}$$

Přípoj vertikály **V2** na pruty **S1** a **S2** vyhoví. I když je předimenzovaný, z konstrukčních důvodů navržený přípoj zůstane.

#### 2.1.3.5.2 Montážní přípoje

Montážními přípoji se rozumí přípoj, kterým se spojí vaznice s ostatními částmi konstrukce haly na stavbě. Vzhledem k technologickým možnostem je vhodné jako montážní spoj použít šroubové styky.

Montážní přípoje vaznic zde nejsou řešené, možná alternativa konstrukčního řešení přípoje vaznice na vazník je uvedena u vazníku.

#### 2.1.3.6 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Kritériem je vyhodnocení deformace (průhybu vaznice) a porovnání s charakteristickou hodnotou. Průhyb vaznice od charakteristického zatížení nemá překročit hodnotu  $\ell/250$  rozpětí vaznice a musí tedy platit, že  $\delta_{\max} = \ell/250 = 12000/250 = 48 \text{ mm}$ .

Průhyb se počítá pro nejneprůzračnější kombinaci charakteristických zatížení (součinitele zatížení se uvažují hodnotou  $\gamma_f = 1,0$ ). V běžných případech průhyb vaznice (vazníku) bezpečně vyhoví a můžeme deformaci počítat přibližně s využitím Steinerovy věty.

Při přibližném výpočtu deformace pomocí Steinerovy věty lze postupovat tak, že:

- vaznice (vazník) je nahrazena statickým schématem prostého nosníku, zatíženého nejneprůzračnější kombinací zatížení (pro zjednodušení lze uvažovat, že touto kombinací bude pouze spojitě rovnoměrné zatížení po celé délce vaznice);

- do vzorce pro deformaci prostého nosníku, zatíženého spojitým rovnoměrným zatížením po celé

$$\text{délce nosníku ve tvaru } \delta_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot \ell^4}{E \cdot I_{y,\text{náhr}}} \text{ dosadíme za}$$

$g_k$  charakteristickou hodnotu spojitého rovnoměrného zatížení od nejneprůzračnější kombinace v N/mm,

$L$  délku nosníku, tzn. rozpon vaznice v mm,

$E$  modul pružnosti oceli v MPa,

$I_{y,\text{náhr}}$  moment setrvačnosti průřezu nosníku v mm<sup>4</sup>. Tento moment setrvačnosti lze určit pro průřez složený pouze z horního a spodního pásu vaznice. Při výpočtu polohy těžišťové osy lze bezpečně dosazovat minimální vzdálenost těžišť horního a spodního pásu. Je-li však výška vaznice malá nebo zatížení vaznice mimořádně velké, je nutno posoudit průhyb přesnější metodou – viz **Poznámky** níže. Náhradní moment setrvačnosti je stanoven

$$\text{z výrazu } I_{y,\text{náhr}} = A_1 \cdot a_1^2 + A_2 \cdot a_2^2 = \frac{A_1 \cdot A_2}{A_1 + A_2} \cdot h^2,$$

kde  $A_1, A_2$  jsou průřezové plochy pásů,

$a_1, a_2$  jsou vzdálenosti jejich těžišť od těžiště celého průřezu,

$h = a_1 + a_2$  je teoretická šířka příhradoviny.

$$I_{y,\text{náhr}} = 2 \cdot \left( A \cdot \left( \frac{h}{2} \right)^2 + I_y \right) = 2 \cdot \left( 1000 \cdot \left( \frac{1200}{2} \right)^2 + 0,529 \cdot 10^6 \right) = 7,21 \cdot 10^8 \text{ mm}^4.$$

#### 2.1.3.6.1.1 Průhyb vaznice

$$\delta_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot \ell^4}{E \cdot I_{y,\text{náhr}}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,9 \cdot 12000^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,21 \cdot 10^8} = 6,95 \text{ mm} < 48 \text{ mm} \dots \text{vaznice vyhoví.}$$

#### Poznámky:

Výpočet průhybu lze provést na základě věty o vzájemnosti virtuálních prací, podle vztahu

$$\delta_z = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot \bar{S}_i \cdot L_i}{E \cdot A_i}, \text{ kde}$$

$S_i$  jsou osově síly působící v jednotlivých prutech od charakteristického zatížení (pro nejneprůzračnější kombinaci zatížení),

$\bar{S}_i$  osově síly od jednotkové síly působící uprostřed rozpětí vaznice (vazníku) - počítáme svislý průhyb středního styčnicku,

$L_i$  teoretické délky jednotlivých prutů příhradové soustavy,

$A_i$  průřezové plochy prutů,

$E$  modul pružnosti oceli ( $E=210\,000$  MPa),

$n$  počet všech prutů příhradové soustavy.

Výsledná podmínka, která musí být splněna  $\delta_z \leq \delta_{\text{max}} = \ell/250$

#### 2.1.4 VÝKAZ POLOŽEK

Výkaz položek, uvedený dále, je zpracovaný v rozsahu obvykle požadovaném v projektu provedení stavby, jak je popsáno v [9] a upřesněno v [10]. V dodavatelské dokumentaci (tzn. ve výrobní a montážní dokumentaci) je výkaz položek naprosto detailní, tzn. že se zde již neobjevuje položka „Nespecifikovaný materiál“. V projektu provedení stavby se pod touto položkou uvažuje např. s nepřesností vykázaných rozměrů nebo se spojovacím materiálem (svary, šrouby) atd. Jednotlivé dílce se vykreslují podle zásad uvedených v [9].

Položka	Počet kusů	Počet kusů cel-	Průřez	Délka [mm]	Jednot-ková hmot- nost	Hmotnost [kg]	Jakost mat.	Poznámky
<b>10 Vaznice 3</b>								
1	1	10	1/2 IPE 160	12 000	7,85	94,2	S 235	Horní pás
2	10	100	TR 60/4	1 697	5,52	93,7	S 235	
3	9	90	TR 44,5/4	1 200	4,00	43,2	S 235	
4	1	10	1/2 IPE 160	12 000	7,85	94,2	S 235	Spodní pás
			Mezisoučet			325,3		
			Nespec. mat.		6%	19,5		
			<b>Celkem</b>			<b>344,8</b>		28,7 kg/bm vaznice

TAB. 2.1-2 Výpis materiálu vaznice V3

Odhad vlastní tíhy (0,60 kN/m) není nutné upravovat, změna velikosti účinků nebude podstatná.

#### 3 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Melcher, Straka KOVOVÉ KONSTRUKCE, Konstrukce průmyslových budov, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, 1977 – SNTL
- [2] ČSN 73 0035 :1988 ZATÍŽENÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ, včetně:  
Změny a – 8/1991 a  
Změny 2/1993
- [3] ČSN 73 1401:1986 NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ
- [4] ČSN 73 1401:1998 NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ, včetně:  
Změny Z1: červenec 2001a  
Změny Z2: květen 2002
- [5] ČSN P ENV 1993-1-1:1994 NAVRHOVÁNÍ OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ  
Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN 01 3483:1987 VÝKRESY KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ
- [7] Fuchs, Rec, Šefl Statické hodnoty kovových válcovaných průřezů, SNTL 1984
- [8] Technický naučný slovník, VI. díl, SNTL, Praha 1985
- [9] ČSN 01 3483:1987 VÝKRESY KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ
- [10] ČSN 01 3125:1997 Technické výkresy. Seznam položek (ČSN ISO 7573)