

Postup řešení: Návrh vaznic

Poskytuje základní informace potřebné pro návrh vaznic jako součásti ocelové konstrukce budovy. Udává podrobnosti o interakci mezi vaznicemi a střešním pláštěm.

Obsah

1.	Úvod – funkce vaznic	2
2.	Různé typy vaznic	5
3.	Interakce mezi vaznicemi a střešním pláštěm	9
4.	Spojité vaznice	13
5.	Přípoje vaznic k hlavní konstrukci	17
6.	Stabilizační prvky a ztužující diagonály	20
7.	Typy zatížení	23

1. Úvod – funkce vaznic

1.1 Základní funkce

Základní funkcí vaznic je přenášet zatížení ze střechy budovy do hlavní konstrukce. Paždíky plní stejnou funkci na fasádách. Vaznice a paždíky jsou důležitými součástmi sekundární konstrukce budovy.

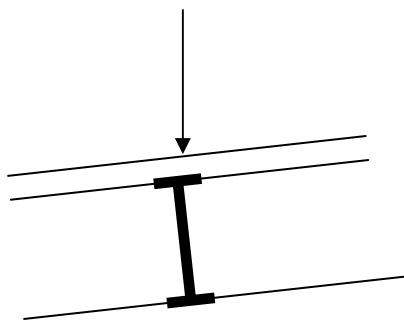
Je třeba poznamenat, že u velkého počtu jednopodlažních objektů s rámovou ocelovou konstrukcí tvoří vaznice a paždíky významný prvek z hlediska celkové hmotnosti konstrukce (15 – 20%); pokud by tyto prvky nebyly optimálně navrženy, konstrukce by se stala nekonkurenceschopnou.

Vaznice budovy se navrhují v souladu se střešním pláštěm, který bude použit. Charakter pláště výrazně ovlivňuje vzdálenost mezi vaznicemi; také určuje jaký způsob vzájemného působení vaznice a střešního pláště můžeme očekávat (část 3).

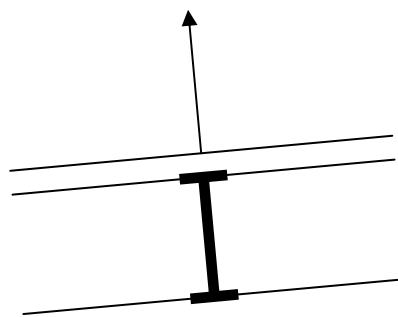
Konstrukce vaznice neobsahuje pouze vaznice samotné (viz různé typy v části 2), ale také všechny spojovací prvky, které vytvářejí spojitost (část 4), přípoje, které připevňují vaznici k hlavní konstrukci (část 5) a všechny stabilizační pruty a ztužující diagonály, které zajišťují příčnou stabilitu vaznic (část 6).

Zatížení, která je třeba uvažovat (další informace v části 7) jsou zejména:

- skutečná tíha střešního pláště, vaznic a jejich příslušenství
- skutečná tíha všech zařízení na střeše
- nahodilá zatížení uvnitř zavěšená (např. sprinklery, osvětlení atd.)
- zatížení při údržbě střechy
- sníh
- vítr



Při tíhovém zatížení (vlastní tíha, sníh, údržba, atd.) je vaznice vystavena ohybu ve směru větší tuhosti svého příčného řezu a vodorovnému ohybu horní pásnice (kde je vnášeno zatížení), který se může a nemusí projevit v závislosti na úloze střešního pláště.



Zatížení sáním kolmým k rovině střechy (vítr, zatížení směrem vzhůru) vystavuje vaznici ohybu ve směru větší tuhosti jejího příčného řezu.

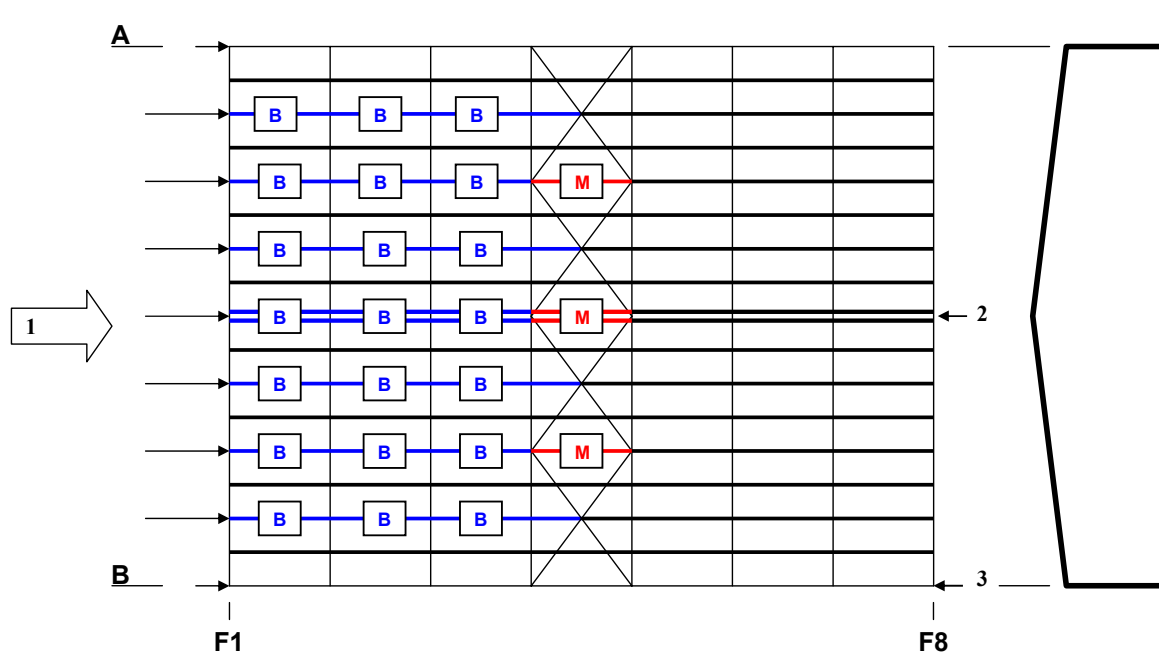
Obrázek 1.1 Zatížení vaznice

Poznámka: Na obrázku 1.1 je vaznice uložena kolmo k rovině střechy, což je nejběžnější. Svislé uložení vaznic se používá velmi zřídka. Vyžaduje to uložení střešního pláště na zkosené klíny.

1.2 Vaznice namáhané normálovou silou

Mimo základní výše uvedenou funkci má vaznice také funkci přenosu zatížení od větru z horních částí štítových sloupků k větrovému ztužidlu (pokud větrové ztužidlo není hned vedle štítové vazby): viz obrázek 1.2.

Kromě průhybu způsobeného základní funkcí vaznic jsou tedy vystaveny také namáhání normálovou silou, buď tlakovou nebo tahovou, která může být i excentrická.



- 1 Směr větru
- 2 Zdvojená vaznice na hřebeni
- 3 Okapová vaznice

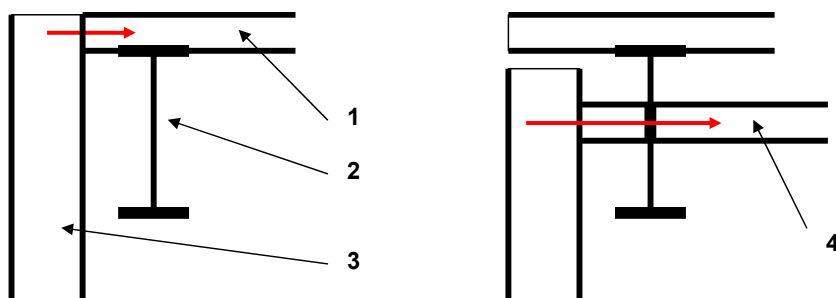
Obrázek 1.2 Zastřešení budovy - půdorys

Síly znázorněné na obrázku 1.2 jsou reakcemi štítových sloupů v řadě F1 od zatížení větrem a působí na čela některých vaznic. Díky tomu jsou tyto vaznice také normálovou silou (tlakovou), jsou označeny modrou barvou a popisem B. Vaznice působící jako svislice ve větrové ztužidle jsou červené s popisem M (viz část 1.3 níže).

Je třeba poznamenat, že při stejném zatížení větrem (stejně velikosti a směru) vyvozují štítové sloupy řady F8 (sání) tahové síly ve zbývajících vaznicích: tento efekt není na obrázku 1.2 znázorněn, ale měl by být zohledněn hlavně při návrhu větrového ztužujícího nosníku.

Je vidět, že v hřebeni, v polovině vzdálenosti mezi A a B, je zdvojená vaznice: hřebenová vaznice na vrcholu každé části šikmé střechy představuje obvyklé řešení půdorysu, které je ideální z pohledu ukládání střešního pláště.

Pokud bychom chtěli zamezit tlakovému namáhání stropnic, můžeme umístit oddělené, samostatné prvky mezi štítovou stěnu a větrové ztužidlo (obrázek 1.3).



- 1 Vaznice namáhaná osovou silou
- 2 Příčel štítové vazby
- 3 Sloup štítové vazby
- 4 Oddělený prvek namáhaný osovou silou

Obrázek 1.3 Přenos osově síly vaznicí a odděleným prvkem

1.3 Vaznice jako svislice větrového ztužidla

Vaznice mohou také plnit funkci svislic ve větrové ztužidlo: jak je vidět na obrázku 1.2, kde je svislice větrového ztužidla označena písmenem M a má červenou barvu. Tyto vaznice mohou být ve funkci svislic namáhány velkou tlakovou silou: diagonály sestavené do tvaru kříže Svatého Ondřeje jsou obvykle dimenzovány tak, aby přenášely jen na tahovou sílu, a proto jsou svislice tlačené.

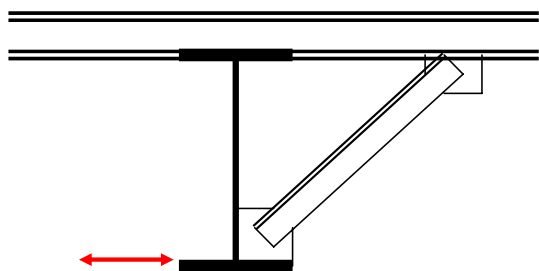
Stejně jako u vaznic přenášejících osovou sílu ze štítu, pokud chceme zabránit namáhání těchto vaznic tlakovou silou, můžeme na místa svislic použít samostatné oddělené prvky (nejčastěji trubky), obzvláště pokud je tlaková síla velká (oblasti s velkým zatížením větrem, velké rozpětí větrového ztužidla).

1.4 Stabilizace prvků hlavní konstrukce

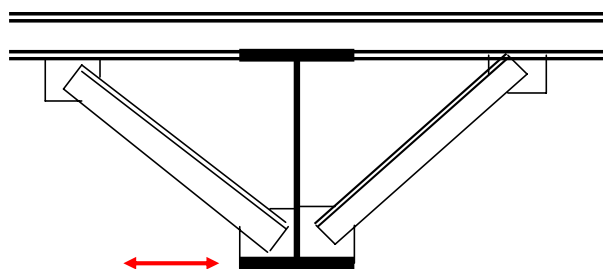
Střešní vaznice budov se často používají také k zajištění příčné stability prvků hlavní nosné konstrukce, která je podpírá (např. rámová příčel).

Vaznice mohou stabilizovat pásnici příčle rámové konstrukce (nebo pás příhradové příčle), na níž jsou uloženy (obecně horní pásnice rámové konstrukce uvnitř budovy). Všechny vaznice, které jsou ukotveny to větrového ztužidla, mohou být uvažovány jako podpůrné body; aby mohly tuto funkci plnit všechny vaznice, musí střešní plášť splňovat funkci diafragmatu (více je uvedeno v části 3).

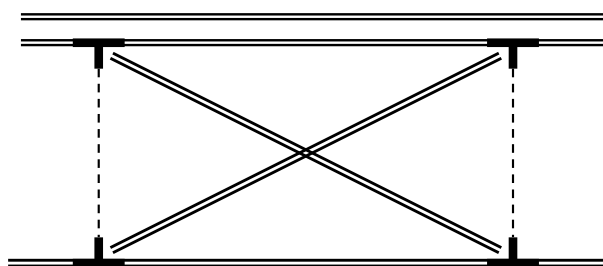
Vaznice mohou být také použity ke stabilizaci dolní pásnice příčle rámové konstrukce (nebo dolního pasu příhradové příčle): vzpěry se potom umísťují jako na obrázku 1.4.



Vzpěra jen na jedné straně: nevytváří další podporu vaznice; statické schéma se nezmění. Vaznice přebírá stabilizující sílu držící dolní pásnici.



Vzpěry na obou stranách příčně zajišťované příčle: vytvářejí přidavné podpory vaznic. Označujeme je jako „vzpěrkové vaznice“.



Zajištění dolního pasu příhradové příčle svislým ztužidlem na vaznici (nůžkové zajištění)

Obrázek 1.4 Příčné zajištění hlavní konstrukce pomocí vaznic

2. Typy vaznic

Jedním z kroků návrhu vaznice je volba jejího typu. Obecně se volba zužuje na za tepla válcované průřezy (obvykle IPE) a za studena tvarované tenkostěnné vaznice. Příhradové vaznice se používají zřídka.

Tato volba, pokud je vůbec na konstruktérovi, je spíše ovlivňována organizací výstavby a výroby než vlastnostmi samotných prvků. Vaznice IPE a za studena tvarované tenkostěnné vaznice v podstatě plní tytéž funkce.

Za studena tvarované vaznice a jejich příslušenství jsou často navrhovány a vyráběny specializovaným výrobcem vlastním válcovací stroje: stavitel zodpovídající za ocelovou konstrukci budovy zakoupí vaznice od jednoho z těchto výrobců. IPE vaznice obvykle navrhuje a dodává dodavatel hlavní konstrukce. Jedním z kritérií pro volbu mezi těmito dvěma možnostmi je dílenská vytíženost stavitele: pokud je velká, preferuje koupi za studena tvarovaných vaznic; pokud je menší, bude preferovat vlastní výrobu.

Ať už je použit jakýkoliv typ vaznic, jejich maximální vzájemná vzdálenost je dána typem střešního pláště. Dokumenty popisující možnosti použití střešních produktů obecně obsahují tabulky pro stanovení jejich maximálního rozpětí (a tím vzdálenosti mezi vaznicemi), které závisí na zatížení.

Také typ tepelné izolace, pokud je použita uvnitř budovy, může ovlivnit volbu vaznice: rozmístění, minimální výška průřezu.

2.1 Válcované vaznice (IPE)

Jako vaznice se hojně používají IPE profily menších velikostí (do zhruba IPE 240).

Tabulka 2.1 udává údaje pro volbu průřezu IPE, v závislosti na rozpětí vaznice (pohybující se od 5 do 10 m) a podle úrovně spojitého zatížení při MSP.

Tyto údaje jsou založeny na kritériu MSP pro průhyb v hodnotě 1/200 rozpětí a na kritériu MSÚ pro únosnost při zatížení rovném 1,5 násobku zatížení při MSP. Kritérium MSÚ představuje zatížení, kdy je dosaženo pružné kapacity při jednoduchém ohybu prvku za následujících předpokladů:

- Ocel S235
- Není redukovaný moment nad podporou díky přípojmům
- Nepůsobí normálová síla
- Součinitele spolehlivosti: $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,0$
- Není uvažován vodorovný ohyb
- Není uvažováno klopení

Poslední dva předpoklady jsou samozřejmě závislé na způsobu příčného zajištění vaznic (funkce střešního pláště: část 3; spojování vaznic: část 6).

Údaje obsažené v tabulce 2.1 poskytují tedy **přibližný návod**: v žádném případě neslouží místo výpočtu pro posouzení odolnosti vaznic.

V tabulce 2.1 slouží označení (f) k rozlišení mezi případy, kdy o volbě vaznice rozhoduje průhyb před kritériem únosnosti: to se stává obvykle – nebo nejčastěji – při konfiguracích „staticky určité vaznice“ a také při „spojitých“ konfiguracích při větších rozpětích. Je třeba poznamenat, že průhyb by rozhodoval ještě mnohem častěji, pokud bychom použili ocel S355.

Z tabulky je také vidět, že použitím spojitě vaznice se sníží velikost jejího průřezu.

Tabulka 2.1 Volba IPE vaznice

Rozpětí		Velikost IPE pro nahodilé zatížení			
		1,0 KN/m	1,5 KN/m	2,0 KN/m	2,5 KN/m
5 m	Statically určitá	IPE 100	IPE 120 (f)	IPE 120 (f)	IPE 140
	Spojité	IPE 100	IPE 100	IPE 100	IPE 120
6 m	Statically určitá	IPE 120 (f)	IPE 140 (f)	IPE 140	IPE 160 (f)
	Spojité	IPE 100	IPE 120	IPE 120	IPE 140
7 m	Statically určitá	IPE 140 (f)	IPE 160 (f)	IPE 160 (f)	IPE 180 (f)
	Spojité	IPE 120	IPE 120	IPE 140	IPE 160
8 m	Statically určitá	IPE 160 (f)	IPE 180 (f)	IPE 180 (f)	IPE 200 (f)
	Spojité	IPE 120	IPE 140	IPE 160	IPE 160
9 m	Statically určitá	IPE 180 (f)	IPE 200 (f)	IPE 200 (f)	IPE 220 (f)
	Spojité	IPE 140 (f)	IPE 160 (f)	IPE 180 (f)	IPE 180
10 m	Statically určitá	IPE 180 (f)	IPE 200 (f)	IPE 220 (f)	IPE 240 (f)
	Spojité	IPE 160 (f)	IPE 180 (f)	IPE 180	IPE 200

Poznámka: v tabulce jsou uvažovány spojité vaznice s nejméně 4 podporami

Legenda: (f) : pro návrh je rozhodující průhyb

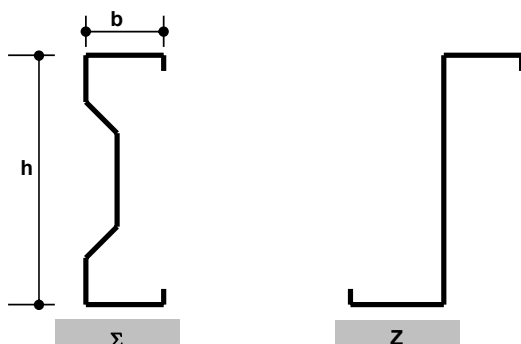
Poznámka: V některých zemích se IPE vaznice navrhují jako „Gerberovy nosníky“ s klouby rozmístěnými tak, aby bylo dosaženo rovnosti momentů v polích a nad podporami (obvykle jeden kloub v každém poli)

2.2 Tenkostěnné za studena tvarované vaznice

2.2.1 Obecně

Tenkostěnné za studena tvarované vaznice jsou obvykle vyráběny vytvarováním ocelového plechu. Používá se strojní výroby, již je možno vytvořit všechny představitelné tvary.

Nejčastěji se pro vaznice používají profily Z a Σ .


Obrázek 2.1 Průřezy za studena tvarovaných vaznic

Rozsah velikostí a tloušťek průřezů Σ a Z jsou víceméně shodné:

- Výška h průřezu mezi 140 a 350 mm
- Tloušťka profilovaného plechu mezi 1,5 a 4 mm

Šířka pásnice b bývá okolo 70 mm. Poznamenejme, že šířky horní a dolní pásnice u vaznic Z se mírně liší, aby bylo možné vytvořit spojitou vaznici vsazením vaznic do sebe.

Zatímco u válcovaných vaznic rozpětí zpravidla nepřesahuje 10 m, za studena tvarované průřezy mohou dosahovat rozpětí 12 až 15 m, čímž lze redukovat počet rámových konstrukcí. Tyto hodnoty velikostí rozpětí se mohou v různých zemích lišit.

2.2.2 Patentované systémy

Tenkostěnné za studena tvarované vaznice a paždíky jsou často dodávány jako patentované systémy, které jsou specifikovány údaji od výrobce. Návrhová data jsou obvykle vypočtena na základě empirických modelů založených na rozsáhlém programu zkoušek. Tyto zkoušky zohledňují směr zatížení (dolů a nahoru) a spolupůsobení profilovaných kovových plášťů a vaznic.

Pokud se používají patentované systémy, je běžné, že projektant zvolí patřičnou velikost průřezu podle zatěžovacích tabulek výrobce či pomocí softwaru bez toho aby prováděl další posouzení odolnosti vaznice. K tomuto přístupu jej opravňuje skutečnost, že výrobci provedli nezbytná prověření sami (analyticky, pomocí zkoušek nebo kombinací zkoušek a analýzy) v souladu s platnými normami, předpisy a vyhláškami.

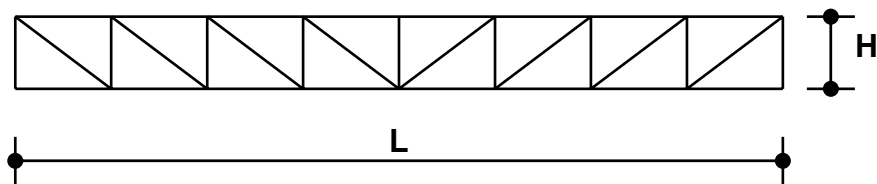
2.3 Příhradové vaznice

Používají se zřídka.

Lze navrhovat příhradové vaznice s rovnoběžnými pásy (obrázek 2.2). Hlavní důležité body při návrhu tohoto typu vaznice jsou obdobné jako při návrhu všech příhradových nosníků:

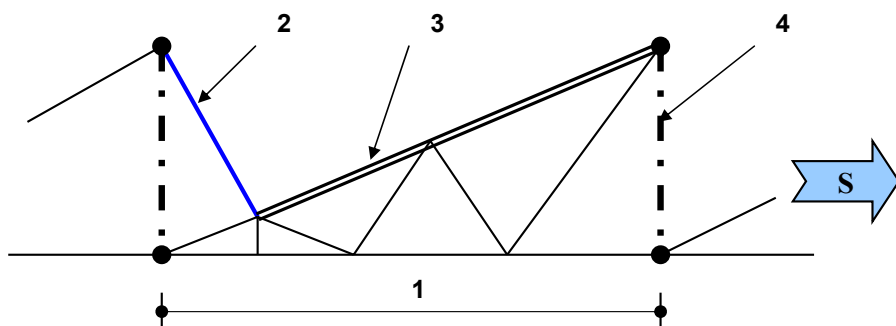
- Kontrola přídavných ohybových momentů způsobených:
 - Spojitostí prutů nebo koncovým připojením jednoho do druhého
 - Jakoukoliv excentricitou ve schématech vnitřních sil
 - Mimostyčnickovým zatížením
- Kontrola přídavných posunutí způsobeným volností v šroubových spojích

Poměr L/H je přibližně 15.



Obrázek 2.2 Příhradová vaznice

Příhradové vaznice s trojúhelníkovými nosníky mohou být použity u pilových střech (obrázek 2.3), kdy jsou ukládány mezi hlavní příhradové nosníky: tento systém se stále používá pro objekty dílen (např. v automobilovém průmyslu). Šikmá prosklení nasměrovaná k severu poskytují efektivní přirozené osvětlení.



- 1 Příhradová vaznice
- 2 Prosklení
- 3 Neprůhledný plášť
- 4 Hlavní příhradový nosník

Obrázek 2.3 Příhradová vaznice v pilové střеше

3. Interakce mezi vaznicemi a střešním pláštěm

Dalším významným bodem návrhu vaznice je funkce přisouzená střešnímu plášti. Může být střešní plášť použit k příčnému zajištění vaznice?

Je důležité, aby uvažovaná funkce byla jasně definována ve smluvních dokumentech, zejména v případech, kdy jsou různí dodavatelé ocelové konstrukce a zastřešení (což je v obvyklé některých zemí, zejména ve Francii). Takové smluvní vyjasnění umožňuje všem zúčastněným uvažovat stejné předpoklady.

3.1 Příklad, kdy je střešní plášť vyroben z profilovaného plechu, kombinovaného či nekombinovaného s dalšími materiály, a přišroubován k vaznicím

Stabilizace vaznic pomocí střešního pláště je popsána v EN 1993 1-3.

Pokud smluvní dokumentace vylučuje takovou funkci střešního pláště, konstrukce se prohlásí za „**třídu 3**“ ve smyslu EN 1993 1-3. Ovšem pokud smluvní dokumentace takovou funkci střešního pláště požaduje, konstrukce se prohlásí za „**třídu 2**“. Pro úplnost, konstrukce pláště „**třídy 1**“ se využívá pro celkovou stabilizaci budovy (o tomto případě zde není pojednáno).

Konstrukce třídy 3, libovolný typ vaznice (válcované – IPE – nebo za studena tvarované vaznice):

- Složka tíhového zatížení rovnoběžná se skloněnou střešní rovinou (obrázek 1.1) je přebírána příčným ohybem horní pásnice vaznic. Vše, co musí být provedeno, je posouzení napětí a posunů způsobených tímto ohybem, při použití dostatečného počtu vzpěr (část 5). Maxima příčných průhybů musí být striktně omezena, aby byl dodržen předpoklad, že síly nebudou přenášeny rovinou střešního pláště (např. 1/500 vzdálenosti mezi vzpěrami).
- Vaznice musí být únosná v klopení (a ve vzpěru, pokud je namáhána normálovou silou) bez pomoci střešního pláště.

Konstrukce třídy 2:

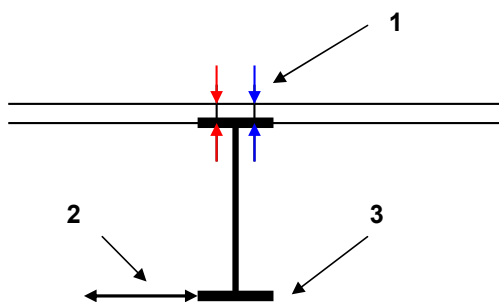
- Složka tíhového zatížení rovnoběžná se skloněnou střešní rovinou je přenášena přímo do hlavní nosné konstrukce (např. rámové konstrukce) bez zatěžování vaznic příčným ohybem.
- Vaznice jsou drženy proti klopení střešním pláštěm:
 - Tuhé podepření proti klopení je zajištěno, pokud na tlačenu pásnici je přišroubován střešní plášť (obecný příklad: tlačená horní pásnice vaznic namáhaných kladným momentem)
 - Polotuhé podepření proti klopení je zajištěno, pokud na tlačenu pásnici není připevněn střešní plášť (obecný příklad: tlačená dolní pásnice vaznic namáhaných záporným momentem). Polotuhé podepření je vytvořeno upevněním vaznice k plášti; obrázek 3.1.
- Střešní plášť přebírá konstrukční funkci:
 - Strana zodpovědná za návrh vaznice musí vzít také v úvahu stabilizaci vaznic pláštěm v okamžiku, kdy stanovuje síly působící v rovině pláště (působícího jako diafragma)
 - Strana zodpovědná za návrh pláště musí vzít také v úvahu tyto přecházející síly v okamžiku, kdy posuzuje únosnost použitého produktu a jeho připojení.
 - Vlastník budovy je zodpovědný za to, že nebudou použita žádná zařízení, která by mohla změnit odolnost vodorovných prvků střešního pláště s níž bylo počítáno při návrhu vaznic.

Je jasné, že stabilizace vaznic pomocí střešního pláště přináší **nemalé finanční úspory díky zmenšení profilů vaznic a snížení počtu (nebo úplnému vynechání) vzpěr**.

Tento zisk je vykoupěn cenou zajištění přenosu sil do vodorovném profilu střešního pláště. Ve většině případů tyto síly nemají žádný vliv na dimenze pláště (jsou obvykle malé s ohledem na kapacitu vodorovné roviny pláště). Zvláštní pozornost musí být samozřejmě věnována únosnosti přípojných bodů mezi střešním diafragmatem a hlavní konstrukcí (část 5), kde jsou koncentrovány síly přenášené do roviny pláště.

Je třeba také připomenout změnu „administrativního statutu“ střešního pláště přebírajícího konstrukční roli.

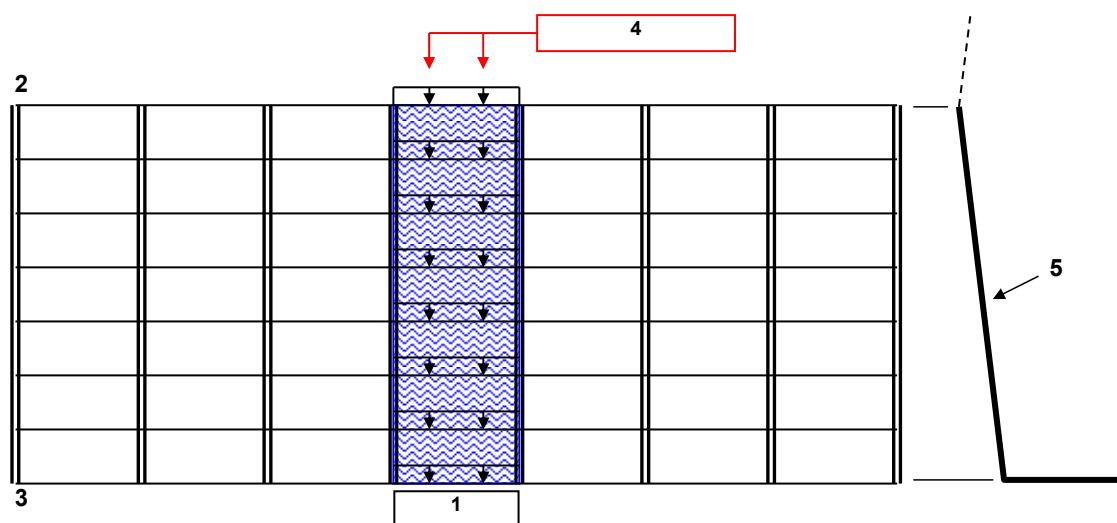
Poznámka: stabilizace vaznic pomocí přišroubovaného profilovaného ocelového plechu se již dlouho automaticky používá, protože je jednoznačné, že takový plášť je ve své rovině výrazně tužší než vodorovně ohýbaná vaznice. Dle klasifikace definované v EN 1993-1-3 je použití tohoto opláštění jednoznačné.



- 1 Připevnění vaznice-plášť alternativně umístěné na obou stranách stěny
- 2 Stabilizační síla (klopení)
- 3 Tlačená dolní pásnice (při záporných momentech)

Celková tuhost zajištění závisí na tuhosti ohýbané stěny vaznice, tuhosti ohýbané desky pláště a lokální tuhosti připevnění vaznice k plášti. Lze ji určit experimentálně nebo pomocí postupů uvedených v Eurokódu 3, Části 1.3 (EN 1993-1-3).

Obrázek 3.1 Stabilizace dolní pásnice pružným připojením vaznice k plášti



- | | | | |
|---|--------------------|---|-----------------------------|
| 1 | Diafragma | 4 | Síly |
| 2 | Hřeben | 5 | Rámová konstrukce v pohledu |
| 3 | Dolní okraj sřechy | | |

Každá stabilizovaná vaznice přenáší síly do střešního pláště. Vyšrafovaný panel představuje diafragma uložené na dvou rámech (hlavní konstrukce), které jej ohraničují: funkcí diafragmatu je přenést všechny kontaktní síly z vaznic do hlavní konstrukce aniž by vaznice byly ohýbány příčně. Mělo by být prokázáno, že připojení pláště k hlavní konstrukci je dostatečně únosné.

Zatížení v rovině střechy je znázorněno pouze pro jeden panel, který je ohraničen dvěma příčlemi.

Obrázek 3.2 Půdorys střechy – základní diafragma mezi rámovými konstrukcemi

3.2 Další materiály

Pro další materiály, které se chovají obdobně jako profilované plechy, lze použít obdobný přístup.

U průsvitných materiálů (střešního prosvětlení) používaných u průmyslových budov **není** obvyklé počítat s jejich zapojením do stabilizace vaznic.

Pokud je potřeba zachovat diafragmatickou funkci střešního pláště, který je zhotoven z přišroubovaného profilovaného plechu, do kterého jsou zabudovány prosvětlovací prvky, musí být dodržena následující pravidla:

- Prosvětlovací prvky by neměly být umístěny v pásu nejméně 1 metr širokém z každé strany od osy rámové konstrukce nebo nosníku podpírajícího vaznice.
- Hřebenové vaznice a dolní část skloněné střešní roviny nemohou být použity jako podpory prosvětlovacích prvků.
- Každý prosvětlovací prvek je podpírán pouze 2 podporami a je vždy vložen ve směru sklonu mezi dva ocelové plechy.

4. Spojité vaznice

4.1 Co spojitost ovlivňuje: průhyby, momenty, reakce v podporách

Pokud se vaznice vytvoří spojitá alespoň přes 3 podpory, výrazně se změní napětí a průhyby.

Pro vaznici s jednoosým ohybem (v rovině větší tuhosti):

❑ Maximální průhyb od spojitého zatížení q :

- Staticky určitá vaznice na 2 prostých podporách: $f_0 = 5 q L^4 / (384 EI)$
- Vaznice na 3 podporách, úplná spojitost: $f = 0,4 f_0$
- Vaznice na 4 a více podporách: $f = 0,5 f_0$

Při vytvoření spojitě vaznice dostáváme pro spojitě zatížení poloviční průhyb (ve srovnání s vaznicí o jednom poli).

❑ Maximální moment od spojitého zatížení q :

- Staticky určitá vaznice na 2 prostých podporách:

$$M_0 = q L^2 / 8$$

- Vaznice na 3 podporách, úplná spojitost:

$$M_{\min} = -M_0 \text{ (na vnitřní podpoře)}$$

$$M_{\max} = 0,56 M_0 \text{ (v poli)}$$

- Vaznice na 4 a více podporách:

$$M_{\min} = -0,84 M_0 \text{ (na první a poslední vnitřní podpoře)}$$

$$M_{\max} = 0,63 M_0 \text{ (ve vnitřních polích)}$$

Vytvoření spojitě vaznice o nejméně 4 podporách snižuje absolutní hodnotu momentu.

❑ Maximální reakce v podpoře od spojitého zatížení q :

- Podpora staticky určité vaznice na obou stranách: $R_0 = q L$
- Vaznice o 3 podporách na vnitřní podpoře: $R = 1,25 R_0$
- Vaznice o 4 a více podporách na 1. vnitřní podpoře: $R = 1,1 R_0$

Vytvořením spojitých vaznic se na některých podporách zvýší reakce. Musí se to zohlednit při výpočtu podpůrných konstrukcí vaznic (např. rámové konstrukce).

Z výše uvedených faktů lze vyvodit následující závěry:

- ❑ Spojité vaznice jsou výhodné, pokud je průhyb rozhodujícím kritériem návrhu, tedy zejména pro větší rozpětí (nad 6 m)
- ❑ Pokud se vytvoří spojitě vaznice přes celou délku budovy, reakce na první a poslední vnitřní podpoře se ve srovnání s prostou vaznicí zvýší
- ❑ Pokud se použije konstantní průřez spojitě vaznice přes celou délku budovy, lze minimalizovat zvýšení síly na některé rámové konstrukce posunutím podpor se

zvýšenými reakcemi z jedné řady vaznic do jiné (zvláště pokud jsou použity spojitě vaznice o dvou polích).

Poznámka: V některých zemích se IPE vaznice navrhují jako „Gerberovy systémy s klouby umístěnými tak, aby byly vyrovnány momenty nad podporami a v polích (obvykle jeden kloub v každém poli).

4.2 Způsoby použití spojitých IPE vaznic

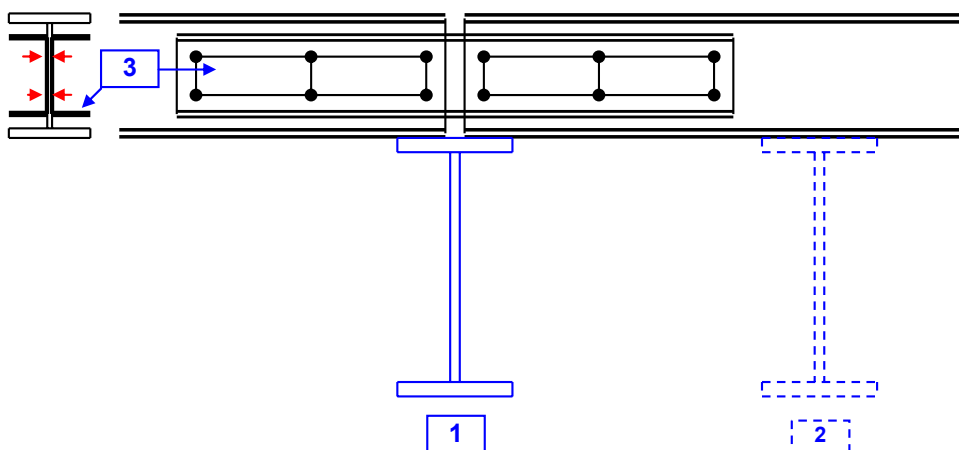
Obvykle se válcované spojitě vaznice (IPE) vytvářejí pomocí montážních styků:

Jsou možné dva typy montážních styků:

- Styk, ve kterém jsou přenášeny síly kolmé k osám šroubů
- Styk, ve kterém jsou přenášeny síly rovnoběžné s osami šroubů

Pro oba typy styků se používají spíše „běžné“ šrouby než šrouby s kontrolovaným předpětím. To znamená, že šrouby působí v prvním případě ve střihu a v otlacení a ve druhém případě v tahu.

Nejpoužívanější styk pro spojitě vaznice je příložkový styk se šrouby namáhanými ve střihu, jak je vidět na obrázku 4.1.



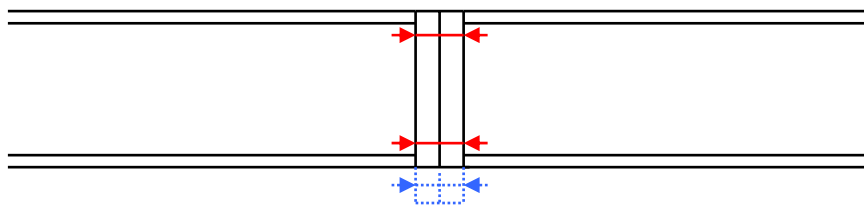
- 1 Styk nad podporou: nejběžnější případ. Provéřte kompatibilitu oblasti styk-botka (část 5)
- 2 Styk posunut mimo podporu
- 3 U-profil

Spojivosti je dosaženo pomocí příložkového styku dvou vaznic, který musí být tuhý: pásnice nejsou spojeny, protože spoj horní pásnice by překážel uložení střešního pláště; spoj dolní pásnice by překážel uložení vaznice na hlavní konstrukci, pokud by byl styk vytvořen nad podporami.

Styk je symetrický podle vodorovné osy vaznice (stykovány jsou obě strany): šrouby jsou dvoustřížné.

Poznámka: při vytvoření velkých otvorů pro šrouby může dojít pouze k částečné spojitosti (viz vzorový výpočet v části 4.4)

Obrázek 4.1 Spojitý styk při použití šroubů působících ve střihu a v otláčení



Spojivosti je dosaženo použitím čelních desek připojených tupým svarem na koncích vaznic. Čelní desky jsou k sobě přišroubovány. Vnější šrouby na horní pásnici nemohou být použity, protože by překážely uložení střešního pláště. Vnější šrouby (vyznačeny modře) mohou být použity pouze na dolní pásnici, pokud je styk posunut mimo podporu; toto řešení je samozřejmě zajímavé jen v případech, že dolní pásnice je namáhána velkou tahovou silou, což nastává zřídka.

Obvyklé řešení styku s čelními deskami je tedy bez vnějších šroubů.

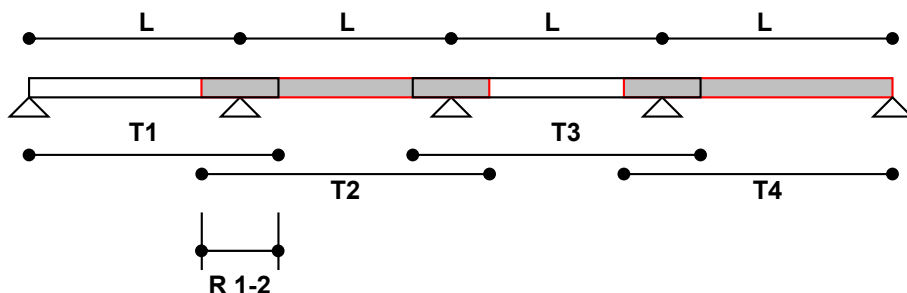
Spojité přípoje s příložkovým stykem se používají častěji než spojité přípoje s čelními deskami, protože jejich montáž je snadnější.

Obrázek 4.2 Spojitost dosažená čelními deskami a šrouby působícími v tahu

4.3 Způsoby použití za studena tvarovaných spojitých vaznic: Z-vaznice jsou do sebe vsazeny a Σ -vaznice jsou spojeny příložkami

U všech průmyslové vyráběných systémů za studena tvarovaných vaznic je spojitost pro jednodušší montáž zajišťována nad podporami.

- Spojitosti **Z-vaznic** je dosaženo vsazením jednoho profilu do druhého:



T1, T2, Průřez 1, průřez 2, etc.
 R 1-2 Přesahová oblast 1-2

Obrázek 4.3 Spojitost Z-vaznic

Přesahu se docílí vytvořením vaznic delších, než je rozpětí. Obvykle je přídavek délky asi 0,1 L za každou podporu (typická vaznice potom má délku přibližně 1,2 L). V krajních polích je přídavná délka obvykle o něco větší, přibližně 0,15 L za první vnitřní podporu, vzhledem k tomu, že moment je v tomto místě největší (krajní vaznice má proto délku asi 1,15 L).

Tuhost spojení, obzvláště v případech krátkého přesahu, musí být ověřena zkouškami (nebo zkušeností).

- Spojitosti **Σ -vaznic** je dosaženo spojovacími příložkami.

Příložky jsou obvykle za studena tvarované, stejně jako vaznice, ale za použití tlustšího plechu (přibližně 4 mm). Tento způsob výroby jim dodává tvar, který je ideální pro jejich funkci. Spojitosti je dosaženo šrouby namáhanými na stříh a otlacení (jak je vidět z obrázku 4.1) a příložkami připevněnými ke stěně Σ -vaznic.

Příložky s tvarem daným tvarem vaznice se umísťují jen z jedné strany, šrouby jsou jednostřížné.

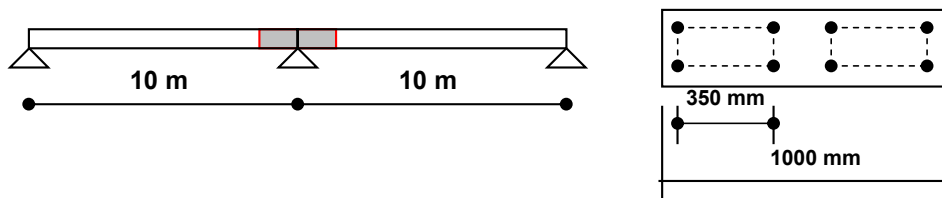
Tuhost spojení, obzvláště v případech krátkého přesahu, musí být ověřena zkouškami.

4.4 Polotuhá spojení: jednoduchý výpočet ilustrující rozvoj pootočení vlivem vůle v krátkých příložkových stycích

Pozornost je třeba věnovat faktu, že výhody spojitých vaznic mohou být rychle ztraceny, pokud spojení mezi dvěma navazujícími profily není dostatečně tuhé. EN 1993-1-3 navíc požaduje, aby žádné polotuhé spojení nebylo uvažováno pro výpočet napětí a průhybů. Toto

ustanovení musí být zohledněno pro všechny typy vaznic, ať už IPE nebo tenkostěnné za studena tvarované.

Vezměme například vaznici o rozpětí 2 x 10 m spojenou příložkovým spojem:



Obrázek 4.4 Příklad: vaznice o dvou polích

Celková délka přípoje je 1 m (500 mm na každou stranu od podpory); příložkový styk je vytvořen na každé straně pomocí 4 šroubů s průměrem 16 mm, průměr díry je 18 mm (2 mm vůle).

Tato vůle umožňuje pootočení o $4/350 = 0,0114$ rad, což způsobí nad podporou snížení momentu o $0,0114 (3EI/L)$.

Pokud předpokládáme, že vaznice byla navržena v MSP na limitní průhyb $L/200$ za předpokladu úplné spojitosti:

$$L/200 = 2 q_{SLS} L^4 / 384EI \rightarrow EI = 400 q_{SLS} L^3 / 384$$

Zmenšený moment nad podporou je: $0,0114 \times 1200 q_{SLS} L^2 / 384 = q_{SLS} L^2 / 28$

Přídavný průhyb v poli je přibližně: $(q_{SLS} L^2 / 28)(L^2 / 16) = q_{SLS} L^4 / (448EI)$

Průhyb se tedy zvýšil o 43%, což je nepřijatelné.

Kontroly vůlí v přípojích by tedy měla být věnována zvýšená pozornost.

5. Přípoje vaznic k hlavní konstrukci

5.1 Funkce přípojů vaznic k hlavní konstrukci

Funkce těchto přípojů je přenést veškeré zatížení působící na střechu (vaznice a střešní plášť) do hlavní nosné konstrukce.

Přenášené síly mají:

- složku kolmou k rovině střechy, směrem nahoru či dolů
- složku rovnoběžnou s rovinou střechy, obvykle ve směru sklonu střechy.

Složka kolmá ke směru střechy vychází z ohybu vaznice ve směru její větší tuhosti. Složka rovnoběžná s rovinou střechy je způsobena:

- Ohybem horní pásnice vaznice, pokud střešní plášť neplní stabilizující funkci.

- Střešním pláštěm působícím jako základní diafragma, pokud má stabilizující funkci (část 3).

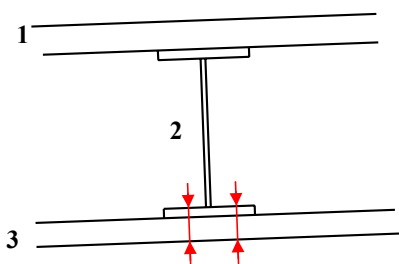
5.2 Různé typy přípojí

Přípoj vaznice na hlavní nosnou konstrukci může být vytvořen:

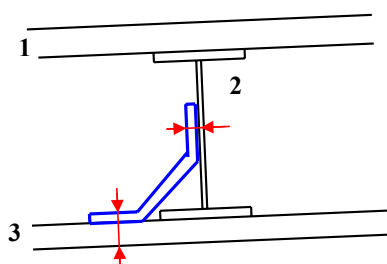
- (1) přímým přišroubováním dolní pásnice vaznice na horní pásnici hlavního nosníku (obvykle příčel rámové konstrukce)
- (2) pomocí jednoduché nebo dvojité botky
- (3) pomocí dvojice úhelníků na stěnu hlavního nosníku

Řešení (2), pomocí botky, je nejčastěji užívané díky nejjednoduššímu způsobu montáže a také proto, že poskytuje dostatečnou tuhost přípoje s ohledem na síly působící v rovině střechy. Navíc v případě tenkostěnných vaznic odpadá problém s borcením stěny nad podporou.

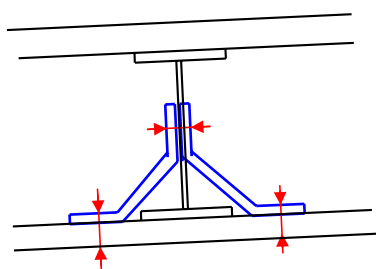
Řešení (3) se používá jen zřídka.



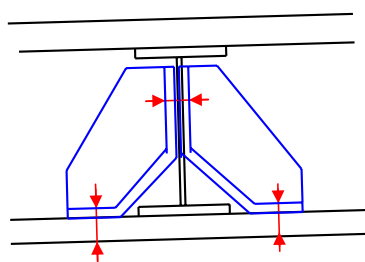
Řešení 1: Přímé přišroubování vaznice k horní pásnici příčle rámové konstrukce. Při zatížení sáním je ohýbána dolní pásnice vaznice a šrouby jsou tažené. Při namáhání v rovině střechy se ohýbá stěna vaznice.



Řešení 2-a: Přípoj řešený pomocí jednoduché botky: botka je vytvořena z ohnutého pásu plechu; dimenzuje se na síly od sání větru a na síly v rovině sklonu střechy. Tento přípoj je vhodný jen pro menší síly.

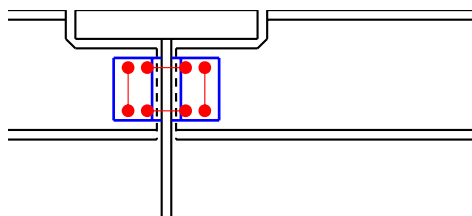


Řešení 2-b: Přípoj řešený pomocí dvojité botky: umožňuje přenos větších sil.



Řešení 2-c: Přípoj s použitím vyztužené dvojité botky.

Poznámka: Je třeba věnovat pozornost kompatibilitě mezi přípojem botky a podélným příložkovým spojem vaznice, pokud je umístěn v místě podpory.

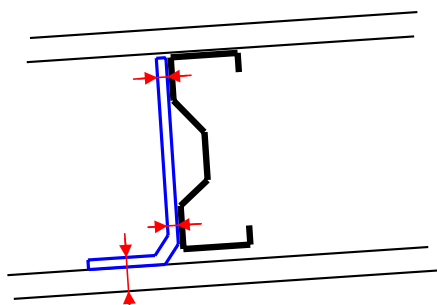


Řešení 3: Přípoj pomocí dvojice úhelníků pro každou vaznici. Úhelníky jsou připojeny na stěnu hlavního nosníku (příčle rámové konstrukce)

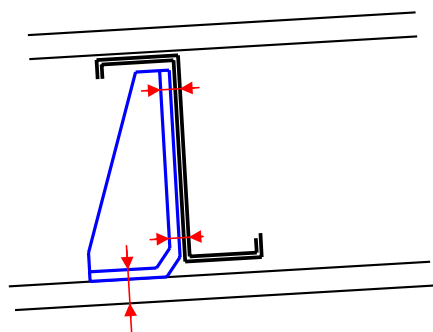
Legenda:

- 1 Střešní plášť
- 2 Vaznice
- 3 Horní pásnice příčle rámové konstrukce

Obrázek 5.1 Různé typy přípojuů vaznice na hlavní nosnou konstrukci



Přípoj pomocí ploché skládané jednoduché botky u Σ -vaznice – u vaznice je zabráněno lokálnímu tlaku ve stěně – přípoj lze použít i pro vsazování Z-vaznic do sebe.



Stejný přípoj s vyztuženou botkou.

Obrázek 5.2 Různé typy přípojů Z a Σ -vaznic na hlavní nosnou konstrukci

6. Stabilizační pruty a ztužující diagonály

6.1 Funkce stabilizačních prutů a ztužujících diagonál

Propojování střešních vaznic má následující funkce:

- ❑ Během montáže budovy zajišťuje svislou polohu vaznic před uložením střešního pláště:
 - Pro zajištění správného připevnění střešního pláště na vaznice (samořeznými šrouby v ploché části pásnice vaznice)
 - K dosažení uspokojivého vzhledu vaznic při pohledu z interiéru budovy
 - K zachování konstrukčního chování vaznic
- ❑ Během provozu budovy k příčnému držení vaznic:
 - V přípojích ke střešnímu plášti, pokud střešní plášť plní funkci diafragmatu stabilizujícího vaznice
 - Drží vaznice samo, pokud střešní plášť neplní stabilizační funkci (část 3)

Příčné držení vaznic představuje:

- Podepření stabilizované vaznice (nebo její izolované horní pásnice) proti příčným silám (ve směru sklonu střechy)
- Podepření při klopení při záporném a/nebo kladném ohybovém momentu
- Zmenšení vzpěrných délek u tlačených vaznic (u vaznic přenášejících normálové síly)

Aby tyto funkce mohly být plněny, musí být vytvořen tuhý konstrukční prvek v každém poli skloněné roviny: samotné stabilizační pruty nestačí (samotné stabilizační pruty nezabrání vodorovnému průhybu), musí být připojena „ztužujícími diagonálami“, které v rovině střechy vytvářejí příhradový nosník, jehož pásy jsou vytvořeny sousedními vaznicemi, svislicemi jsou stabilizační pruty.

Příhradový nosník se obvykle umísťuje k hřebeni střechy, aby stabilizační pruty (táhla) byly namáhány tahem při tíhovém zatížení, vyjma jejich horní části (v příhradovém vazníku, kde jsou dimenzovány jako vzpěry), ztužující diagonály jsou také umístěny tak, aby působily v tahu.

Může nastat potřeba umístit ve směru sklonu střechy mezilehlý nosník: podle vlastností ztužujících diagonál přibližně každých 15 metrů střešního sklonu.

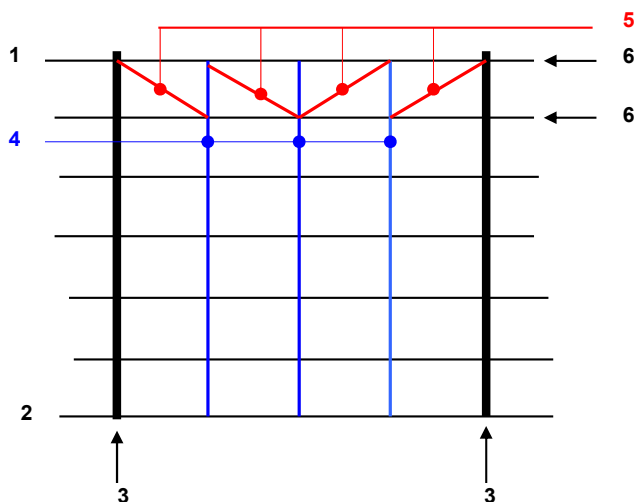
Pokud střešní plášť působí jako diafragma, stabilita některých vaznic může být zajištěna bez použití stabilizačních prutů; stabilizační pruty (nebo obdobné prvky) jsou ale stále nezbytné během montáže.

Přibližná vzdálenost mezi stabilizačními pruty je dána:

- U vaznic s rozpětím menším než 6 metrů: 1 prut uprostřed rozpětí
- Rozpětí mezi 6 a 8 metry: 2 pruty ve třetinách rozpětí
- Rozpětí mezi 8 a 10 metry: 3 pruty ve čtvrtinách rozpětí

Pokud jsou přídatná táhla použita jen pro montážní stadia (nejsou nezbytná díky odolnosti střešního pláště), pak tato rozpětí mohou být větší podle podmínek montáže.

Výše popsané prvky jsou na obrázku 6.1:



Legenda:

- | | |
|---------------------|---|
| 1 Hřeben | 4 Stabilizační pruty ve čtvrtinách rozpětí |
| 2 Okap | 5 Ztužující diagonály |
| 3 Rámová konstrukce | 6 Vaznice tvořící pásy příhradového nosníku |

Obrázek 6.1 Půdorys střechy

6.2 Typy stabilizačních prutů

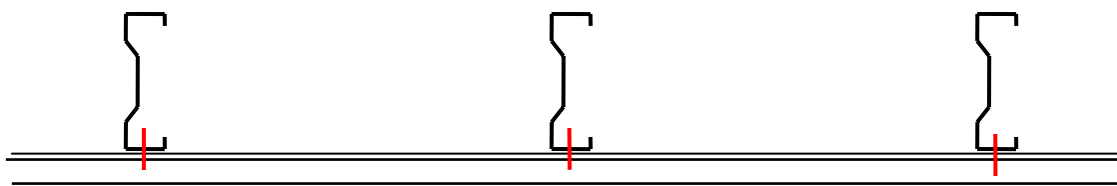
Pokud se použijí stabilizační pruty, je důležité, aby efektivně plnily svou funkci, zejména ve stadiu montáže, kdy se pokládá střešní plášť: mají příčně podpírat horní pásnici? dolní pásnici? obě pásnice?

Funkce přisouzená stabilizačním prutům, jak je vidět, závisí na funkci přisouzené střešnímu plášti. Například když střešní plášť působí jako diafragma (profilované ocelové plechy přišroubované na vaznice), stabilizační pruty nemusí stabilizovat horní pásnice vaznic (těch, k nimž je plášť připevněn). Pokud je tuhost vaznice a přípoje vaznice/plášť dostatečná, nemusí být potřeba stabilizovat pruty ani dolní pásnice.

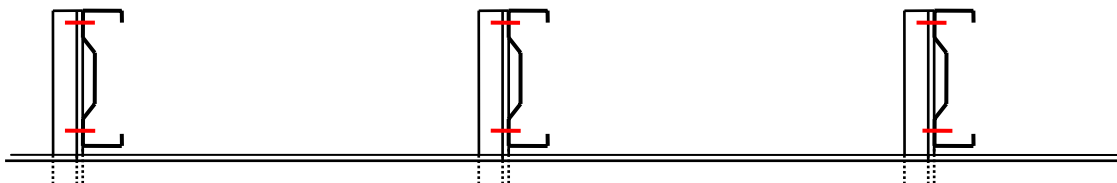
Pokud ovšem plášť neplní funkci diafragmatu, používá se propojování vaznic pro příčnou stabilizaci:

- horní pásnice: stabilizační prut vytváří podporu horní pásnice pro zatížení ve směru sklonu střechy a podepření proti klopení vaznice při kladném ohybovém momentu (v poli při zatížení dolů, nad podporami při zatížení nahoru)
- dolní pásnice: stabilizační pruty vytvářejí podepření dolní pásnice proti klopení při záporném ohybovém momentu (v poli při zatížení nahoru, nad podporami při zatížení směrem dolů)

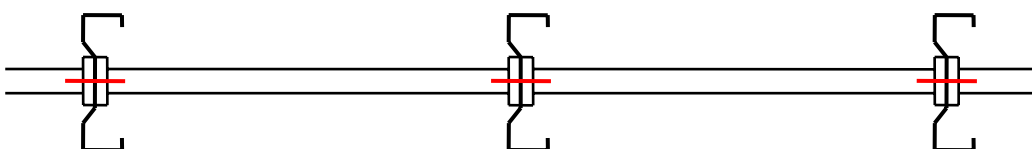
Aby byly stabilizační pruty účinné, musí být relativně tuhé: 8 mm závitová tyč uprostřed stěny (jak je někdy vidět) je obvykle neefektivní; lepší jsou prvky z úhelníků nebo trubek. Jsou možná i jiná řešení s obdobnou tuhostí.



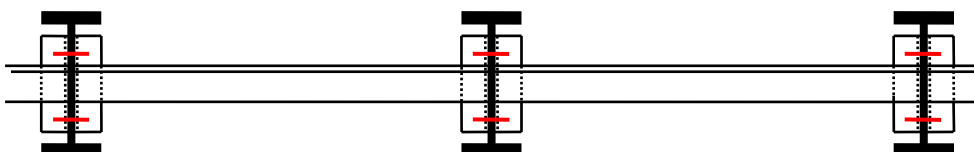
Podepření dolní pásnice – horní pásnice je podepřena diafragmatickou funkcí pláště



Podepření obou pásnic: stabilizační prut je tvořen úhelníkem, připojen pomocí úhelníku přivařeného na táhlo a 2 šroubů na vaznici



Podepření obou pásnic: stabilizační prut je tvořen trubkou, spojitě přes vaznice



Podepření obou pásnic: stabilizační prut je tvořen úhelníkem, připojen pomocí úhelníku přivařeného na táhlo a 2 šrouby na vaznici

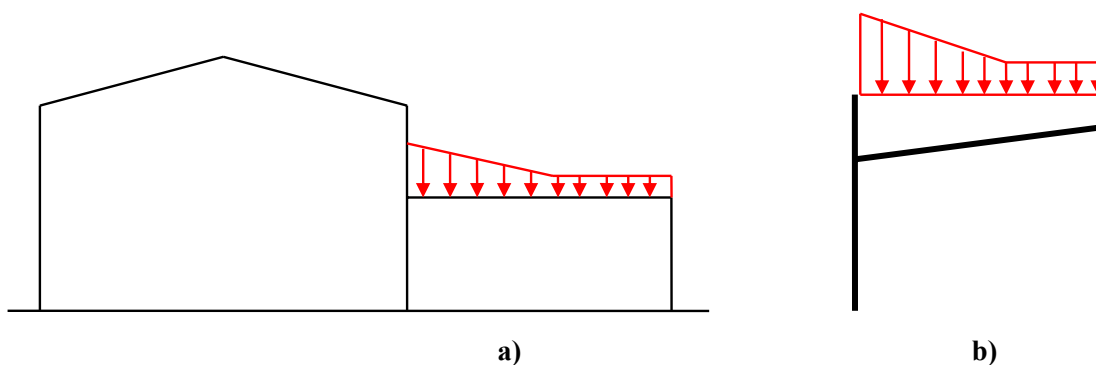
Obrázek 6.2 *Typy stabilizačních prutů*

7. Typy zatížení

7.1 Sníh

Sníh je často jedním z nejdůležitějších zatížení pro návrh střešních vaznic, zejména pokud vlastní tíha střechy je malá. Tíha sněhu, kterou je třeba uvažovat ve výpočtech záleží na oblasti, v níž je budova konstruována, na nadmořské výšce a na tvaru konstrukce.

Pozornost je třeba věnovat hromadění sněhu (nerovnoměrnému rozdělení sněhu na střeše), které závisí na tvaru konstrukce.



Obrázek 7.1 Hromadění sněhu na střeše

Obrázek 7.1 a) Konstrukce s přístavkem v pohledu: sněhové zatížení na m^2 je větší u paty přístavku než na jiných plochách. Pokud je dodržena konstantní vzdálenost vaznic, vaznice musí mít v oblastech s větším zatížením větší odolnost; aby bylo možné uložit střešní plášť, musí mít stejnou výšku jako běžné vaznice.

U za studena tvarovaných vaznic je jednoduché dosáhnout vyšší odolnosti při zachování výšky profilu: je třeba jen zvýšit tloušťku plechu, z níž jsou vaznice vytvořeny.

Na druhé straně není hospodárné nahrazovat IPE vaznice profily HEB stejné výšky, lepší je upravit řešení tak, aby vaznice byly v místech většího zatížení blíže u sebe.

Obrázek 7.1 b) Stejný jev podél vysoké atiky (okapní hrana střechy): v této oblasti jsou potřeba vaznice s vyšší odolností a s konstantní vzdáleností nebo vaznice umístěné blíže k sobě.

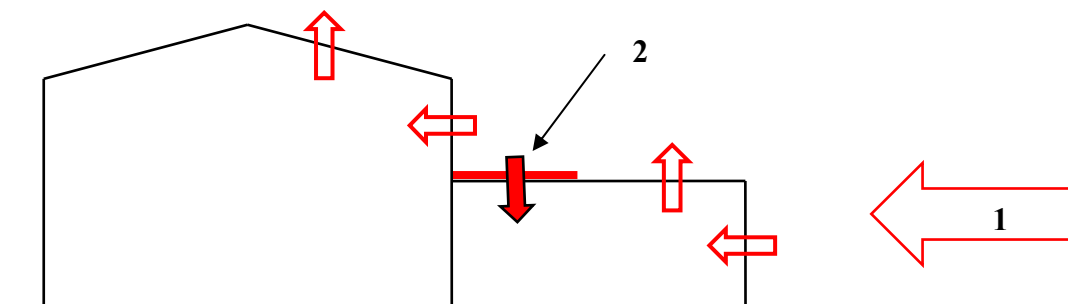
7.2 Vítr

Sání větru v otevřených budovách

Velké množství běžných dispozic budov je vystaveno silám od větru projevujícím se jako sání (nahoru). Velkou pozornost je třeba věnovat otvorům ve svislých stěnách budovy, které mohou způsobit výrazný nárůst těchto sil. Významné zatížení střechy sáním má velký vliv na návrh vaznic: tlačenu dolní pásnici v poli (pro zabránění klopení), velké zatížení botek atd.

Tlak větru na budovách s přístavkem

V některých specifických případech může vítr způsobit na části střechy výrazné tlakové síly (dolů). Bývá to zejména v případech střech s vyvýšeným přístavkem.



Legenda: 1 Směr větru

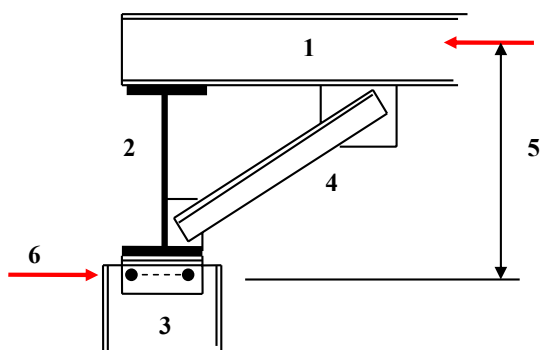
Oblast, kde vítr vyvolává na střechu tlakové síly. Pozornost je třeba věnovat kombinaci se sněhem!!!

Obrázek 7.2 Tlakové síly od větru na střechu

Tlačené vaznice

Pokud je štít klasické budovy namáhán větrem (obrázek 1.2), vaznice přenášející normálové síly nebo svislice větrového nosníku jsou tlačené.

Je důležité, aby během návrhu konstrukce byla zohledněna jakákoliv excentricita v přenosu těchto tlakových sil.



- | | | | |
|---|----------------------|---|--------------|
| 1 | Vaznice | 4 | Vzpěra |
| 2 | Příčel štítové vazby | 5 | Excentricita |
| 3 | Štítový sloupek | 6 | Větr |

Poznámka: pokud má být zabráněno namáhání štítových sloupů tlakem, vytvoří se pro šrouby v přípoji sloupu na příčel oválné otvory ve svislém směru.

Obrázek 7.3 Návrh štítu způsobujícího velký moment ve vaznici

7.3 Užitná zatížení

Závěsná zatížení

Způsob působení užitných zatížení uvnitř budovy ovlivňuje návrh vaznic.

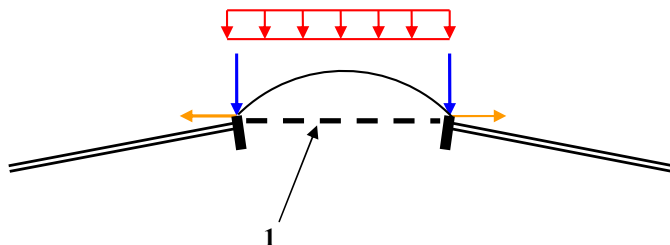
Zatížení vzniklá zavěšením na dolní pásnici mohou vyvolat lokální napětí, jejichž vzniku je třeba pokud možno zabránit:

- Složka tíhového zatížení působící v rovině střechy ohýbá příčně dolní pásnici: aby byl tento ohyb co nejmenší, je vhodné zatížení aplikovat co nejbližší prutům stabilizujícím dolní pásnici.
- Břemena zavěšená za hranu pásnice způsobují její ohyb (napětí kolmá k hlavním napětí v podélném směru, projevují se v rovinné napjatosti např. podle Von Misesa).

□ Zařízení uložená na střeše

Pokud jsou na střechu umístěna nějaká zařízení, jejich tíhu je samozřejmě nutno zohlednit při návrhu vaznic. V úvahu se musí vzít také jejich vliv na klimatická zatížení (hromadění sněhu kolem zařízení, lokální namáhání větrem, kombinace sníh + vítr).

V této části je také třeba zmínit střešní světlíky ve tvaru oblouků, které vyvolávají sílu v uložení (obvykle vodorovnou).



1 Táhla přebírající vodorovnou složku reakcí

Obrázek 7.4 Střešní světlík

7.4 Zatížení při údržbě

Zatížení, na něž se při návrhu vaznic někdy zapomíná, jsou zatížení při údržbě. Může mít významnou roli v případech, kdy je střecha vodotěsná s mnoha vrstvami. Zatížení při údržbě potom představuje složení materiálu pro výměnu během opravy.

Zatížení při údržbě je proto často větší než zatížení sněhem (se kterým se nekombinuje, protože se nepředpokládá provádění těchto prací za sněžení) a může mít přímý vliv na dimenzování vaznic.

Navíc existuje lokální zatížení při údržbě: ovlivňuje pouze jednotlivá pole u spojitých vaznic, způsobuje zvýšení momentu v poli a zvýšení průhybu.

Pozornost je třeba věnovat průhybu vaznic, aby zatížení při údržbě nezpůsobilo změny sklonu střechy (vícevrstvé střechy mají mírný sklon): kombinace zatížení při údržbě a sněhem nemusí být uvažována, ale nelze pominout možnost hustého deště během opravy. Změny sklonu mohou potom způsobit hromadění vody.

7.5 Rizika hromadění vody: tající sníh, déšť

Střecha s mírným sklonem (menším než 5%) je citlivá na jev hromadění vody (EN 1993 1-3 vyžaduje brát tento jev v úvahu, ale nepředepisuje jak).

Fiktivní příklad: vaznice se deformují pod těžkým sněhem. Pokud jsou tyto deformace takové, že se obrátí sklon střechy, tak při tání voda neodtéká a vytváří se rybníčky. Čím ohebnější je střešní plášť a vaznice, tím hlubší a větší jsou rybníčky. Zatížení může přesáhnout zatížení sněhem, nebo dokonce odolnost vaznic. Navíc nelze vyloučit, že střídáním sněžení a tání se tento jev ještě zvýrazní. Proto je nutné navrhovat vaznice tuhé vaznice, aby voda z tajícího sněhu mohla vždy odtéci: nenastane obrácení sklonu v kombinacích MSÚ zahrnujících sníh: to je jeden z vzácných případů, kdy je třeba posoudit průhyby pro kombinovaná zatížení v MSÚ.

Jiný příklad: vícevrstvá střecha se deformuje pod zatížením během opravy. Pokud jsou deformace takového rozsahu, že se sklon obrátí a přijde hustý déšť, voda nemůže odtékat a začne hromadění vody atd. Proto je důležité navrhnout dostatečně tuhou vaznici tak, aby dešťová voda mohla odtékat pryč: musí být posouzena deformace v MSÚ od zatížení při údržbě.

Quality Record

RESOURCE TITLE	Scheme development: purlin structure design		
Reference(s)			
ORIGINAL DOCUMENT			
	Name	Company	Date
Created by	P. Le Chaffotec	CTICM	26/9/05
Technical content checked by	A. Bureau	CTICM	26/9/05
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	04/9/06
TRANSLATED DOCUMENT			
This Translation made and checked by:	J Dolejs	CVUT v Praze	2/6/07
Translated resource approved by:	T. Vraný	CVUT v Praze	28/7/07
National technical contact	F. Wald	CTU in Prague	