

# PŘÍČNÉ LISOVANÉ ZTUŽIDLO VE STŘEŠNÍ ROVINĚ KONSTRUKCÍ Z DŘEVĚNÝCH VAZNÍKŮ S KOVOVÝMI DESKAMI S PROLISOVANÝMI TRNY

Petr Kuklík<sup>1</sup>, Michal Grec<sup>2</sup>, Aleš Tajbr<sup>3</sup>

## Abstrakt

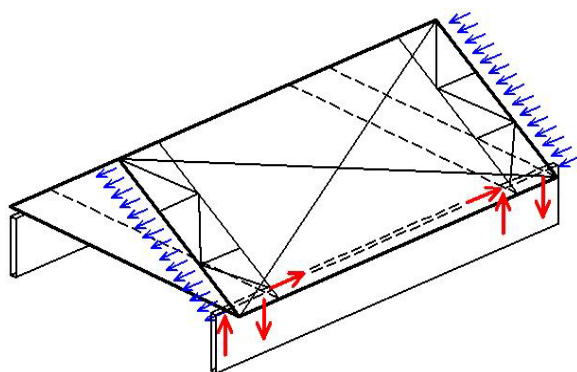
*Timber trusses with punched metal plate fasteners are designed as plane structures loaded only in their plane. Horizontal actions applied perpendicularly to the truss plane must be transferred by engineered bracing system. Correct design of the bracing system is considered to be one of the essential conditions providing required reliability of the whole roof structure. The article is focused on design of a flat bracing truss located in the roof plane.*

## Úvod

Dřevěné vazníky s kovovými deskami s prolisovanými trny se navrhují jako rovinné konstrukce zatížené výhradně ve své rovině. Vodorovné zatížení, které působí kolmo na rovinu vazníků, musí být přeneseno systémem ztužidel do podpor. Správný návrh ztužení je jednou z nezbytných podmínek zajištění požadované spolehlivosti celé střešní konstrukce.

## Příčné lisované ztužidlo ve střešní rovině

Dřevěné konstrukce s kovovými deskami s prolisovanými trny musí být vždy vyztuženy ve střešní rovině. Systém ztužení střešní roviny (roviny horních pásů) se skládá z podélných a diagonálních prvků resp. lisovaných zavětrovacích nosníků. Podélné prvky (bednění, latě) především stabilizují horní pásy, zatímco zavětrovací nosníky zajišťují přenos vodorovných sil od větru a stabilizačního zatížení do podpor. Při větších rozponech bývají příčná ztužidla doplněna ocelovými zavětrovacími páskami napnutými od hřebene k podporám [1]. V případě, že výška nad podporou nedovoluje přenos sil ze ztužidla do podpory pomocí vložené fošny, je třeba navrhnout lisované nadpodporové ztužidlo.



Obr. č. 1 – Princip fungování ztužidla a příklad realizace

Z lisovaných ztužidel se sestavují tzv. "tuhé dvojice", které jsou tvořeny dvěma sousedními vazníky, ztužidly horních a dolních pásů, nadpodporovými ztužidly a Ondřejskými kříži v rovinách vybraných výplňových prutů. Tyto dvojice se hojně využívají při montáži, protože s nimi může být manipulováno jako s "tuhými celky" a poskytují vodorovnou podporu ostatním vazníkům.

<sup>1</sup> Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc. – Katedra Ocelových a dřevěných konstrukcí, FSv, ČVUT v Praze

<sup>2</sup> Ing. Michal Grec, PhD. – Kontrakting Krov Hrou, s.r.o., Žilina, Slovenská republika

<sup>3</sup> Ing. Aleš Tajbr – Katedra Ocelových a dřevěných konstrukcí, FSv, ČVUT v Praze

## Návrh příčného ztužení střešní roviny

Při volbě typu ztužení ve střešní rovině lze využít tabulku č. 1, která doporučuje systém ztužení s ohledem na rozpětí. Navržená řešení jsou odvozena z analýzy střešních konstrukcí jednodolných hal zatížených těžkou krytinou, podhledem, sněhem a větrem. Předpokládá se sklon střechy 10 - 25°, rozteče vazníků max. 1300 mm a příčné zavětrování v každém desátém poli.

### Doporučení pro ztužení střešní roviny v závislosti na rozpětí

rozpětí	zděný štít	podélné prvky	diagonální prvky
méně než 8 m *	Ano/Ne	latě nebo bednění	Ondřejské kříže
8 - 14 m	ANO	latě nebo bednění + výztuhy v lomech ztužidla	lisované ZT HP** + nadpodporové ztužidlo
	NE	latě nebo bednění + výztuhy v lomech ztužidla	lisované ZT HP** + nadpodporové ztužidlo + zavětrovací páska + lisované ZT DP***
více než 14 m	Ano/Ne	latě nebo bednění + výztuhy v lomech ztužidla	lisované ZT HP** + nadpodporové ztužidlo + zavětrovací páska + lisované ZT DP***

\* zavětrování v každém 5. poli, pro OK>1,5m použít prkna s výškou hrany 32 mm

\*\* ZT HP - ztužidlo horních pásů

\*\*\* ZT DP - ztužidlo dolních pásů

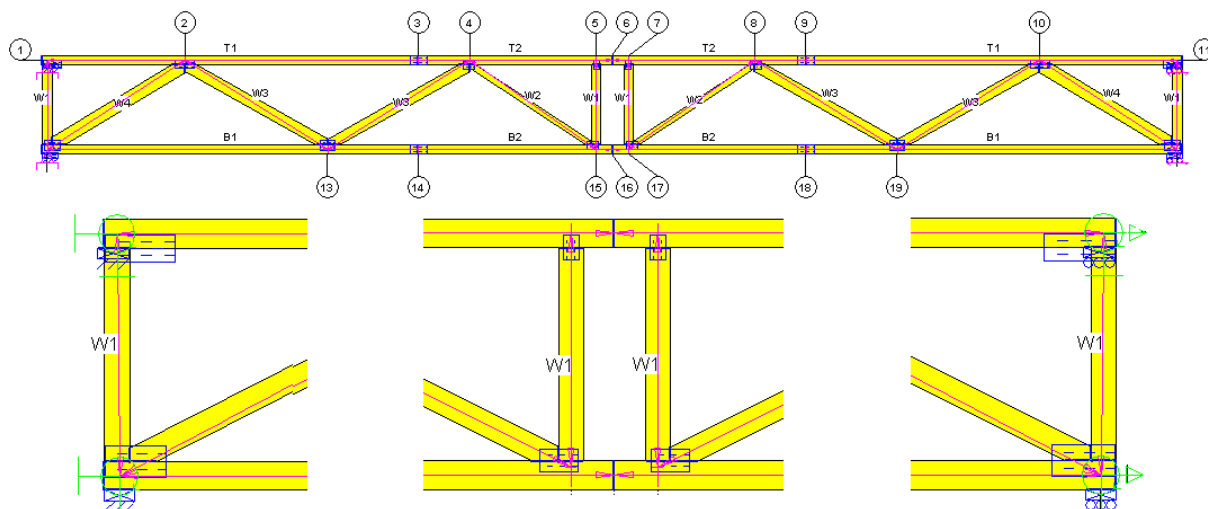
Tab.č. 1 – Doporučení pro ztužení střešní roviny v závislosti na rozpětí

Pro správný návrh příčného zavětrovacího vazníku umístěného ve střešní rovině je důležité zvolit odpovídající rozměry a uspořádání diagonál, vybrat vhodný statický model, stanovit správně zatížení a v neposlední řadě také navrhnout vyrobiteľnou a přepravitelnou konstrukci.

### Statický model ztužidla

Příčné lisované ztužidlo ve střešní rovině může být modelováno jako:

- Příhradový nosník na rozvinutou délku ztužidlového pole
- Příhradový nosník na rozvinutou délku s využitím zavětrovací pásky
- Prostorová konstrukce



Obr. č. 2 – Ztužidlo navržené jako prostě podepřený příhradový nosník

**Ad A:** Nejjednodušší model (obr. č. 2) spočívá v nahrazení prostorové konstrukce rovinným, prostě podepřeným (2x pevná podpora, 2x posuvná podpora), příhradovým nosníkem o rozpětí rovnající se rozvinuté délce horních pásů v místě ztužidlového pole. Tato aproximace představuje velmi oblíbené a bezpečné řešení, které lze s výhodou aplikovat zejména na konstrukce o rozpětích do 14 m (dle tab. č. 1). Nosník je rozdělen v místě vrcholů ztužovaných vazníků konstrukčním řezem. Dvojice délkových spojů umístěná mezi odsazené středové svislíce zůstane bez styčnickových desek. Spojení obou částí ztužidla, které musí přenést vypočtenou tahovou normálovou sílu, může být realizováno například ocelovou páskou s příslušným počtem hřebíků. Tlak se přenese kontaktem prvků. Tento model lze použít i pro větší konstrukce, ale při větších zatíženích a rozponech bývá návrh nevhodný.

**Ad B:** Druhý model se velmi podobá předcházejícímu případu (A), jen do vrcholu ztužidla je přidána dvojice pružných podpor, které simulují působení zavětrovacích pásek napnutých mezi vrcholem ztužidla a obvodovými nosnými stěnami. Tyto pružné podpory, umístěné většinou uprostřed rozpětí dlouhého ztužidlového nosníku významným způsobem snižují jeho deformaci. Na základě analýzy chování příčného ztužidla byl odvozen vztah pro výpočet tuhosti této pružné podpory:

$$K = 0,6 \frac{EA}{l} \sin \gamma$$

$K$  – tuhost pružné podpory ztužidla [N/mm]

$E$  - Youngův modul pružnosti pro ocel [MPa],

$A$  - průřezová plocha pásky [mm<sup>2</sup>],

$l$  - délka pásky [mm],

$\gamma$  - úhel sevřený půdorysným průmětem pásky a osy nosné stěny [°],

koeficient 0,6 zohledňuje prokluz hřebíků a kvalitu provedení.

Vzhledem k tomu že zavětrovací páska přenáší pouze tah, tak při vodorovném zatížení působícím na ztužidlo funguje pouze jedna dvojice těchto pásek. Proto se vždy zadávají pouze dvě pružné podpory.

Hlavní výhoda tohoto řešení spočívá v jeho hospodárnosti při zachování poměrně jednoduchého zadávání konstrukce do programu pro výpočet dřevěných konstrukcí s deskami s prolisovanými trny.

**Ad C:** Pro přesnější představu, jak se vlastně konstrukce chová, lze modelovat celou "tuhou dvojici" v prostoru v některém z programů pro statickou analýzu konstrukcí. Průřezy a materiály všech prvků by měly odpovídat běžným rozměrům používaným v praxi. Pásové prvky jsou obecně modelovány jako průběžné a kloubově uložené, výplňové pruty se chovají jako kloubově uložené tyče přenášející pouze osovou sílu. "Tuhá dvojice" je prostě podepřena, navíc může být modelována i ocelová zavětrovací páska.

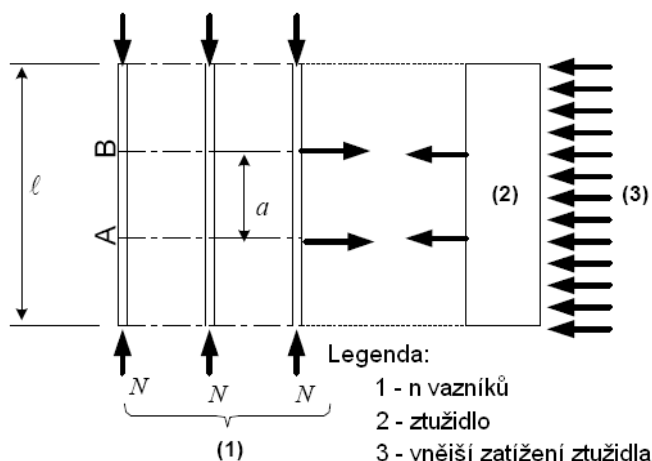
### **Zatížení ztužidla**

Stanovení zatížení působící na ztužidlo ve střešní rovině představuje jednu ze základních podmínek jeho správného návrhu. Na ztužidlo ve střešní rovině přenáší následující zatížení:

- a) stabilizační zatížení
- b) zatížení větrem

**Ad A:** Stabilizační zatížení ztužidla se určí podle normy [2] a simuluje snahu tlačенých prvků (horních pásů vazníků) vybočit z roviny vazníku. V případě skupiny  $n$  vazníků vyžadujících ztužení pomocí podélných prvků (latí) v bodech A,B atd., lze podle uvedených vzorců tento jev aproximovat jako rovnoměrné návrhové zatížení  $q_d$  působící na ztužidlo:

$$q_d = k_l \frac{nN_{d,AVG}}{30l}, k_l = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{l}} \right\}$$



Obr. č. 3 – Výpočet stabilizačního zatížení

$q_d$  – návrhová hodnota rovnoměrného stabilizačního zatížení ztužidla [kN/m],  
 $k_l$  – součinitel zohledňující kvalitu výroby a montáže,  
 $n$  – počet ztužovaných vazníků,  
 $N_{d,AVG}$  – průměrná návrhová síla v horních pásech ztužovaných vazníků [kN],  
 $l$  – rozvinutá délka ztužidlového pole [m].

Hodnotu stabilizačního zatížení je třeba získat pro každý zatěžovací stav zvlášť (stálé zatížení, sníh) a tyto hodnoty pak dále kombinovat. Maximální vodorovná deformace ztužidla činí v případě zatížení větrem i stabilizačním zatížením  $l/500$ . Pokud na ztužidlo působí pouze stabilizační zatížení, je tato hodnota snížena na  $l/700$ . Limitní hodnoty musí být dodrženy, aby byly splněny základní předpoklady tohoto zjednodušeného lineárního výpočtu.

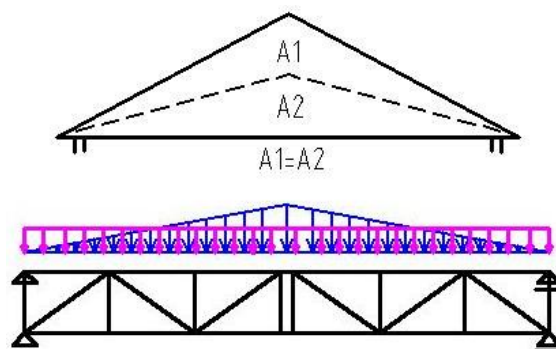
**Ad B:** Zatížení větrem je stanoveno podle normy [3] a zahrnuje:

- 1) vodorovné zatížení štítů objektu v případě, že nejsou zděné
- 2) zatížení způsobené třecí složkou podélného větru

**Ad 1:** Pro účely stanovení zatížení rovnoramenného trojúhelníkového štítu větrem je plocha štítu rovnoměrně rozdělena mezi spodní a horní pás vazníku resp. mezi krajní ztužidlo horního a dolního pásu, které musí být dle tab. č. 1 lisované. Pro zjednodušení se toto trojúhelníkové zatížení nahrazuje rovnoměrným zatížením o stejném výsledném účinku. Jeho hodnota je vypočtena ze vzorce:

$$q_{we} = \frac{1}{8} L \cdot w_e \cdot \tan \alpha \cdot \cos \alpha$$

$q_{we}$  – náhradní liniové rovnoměrné zatížení [kN/m]  
 $L$  – rozpětí běžného vazníku [m]  
 $w_e$  – plošné zatížení štítu [kN/m<sup>2</sup>], dle [3]  
 $\alpha$  – sklon střešní roviny [°].



Obr. č. 4 – Zatížení štítu větrem

**Ad 2.** Zatížení vyvozené třecí složkou podélného větru se dle [3] uvažuje pouze pro „dlouhé“ střechy. Hodnota náhradního liniového zatížení ztužidla střešní roviny je vypočtena ze vzorce:

$$q_{w,fr} = \frac{q_{ref} \cdot c_{e(z)} \cdot c_{fr} \cdot A_{fr} \cdot \cos \alpha}{L}$$

$q_{w,fr}$  – náhradní liniové rovnoměrné zatížení [kN/m]

$q_{ref}$  – referenční tlak větru [kN/m<sup>2</sup>]

$c_{e(z)}$  – souč. expozice určený na základě kategorie terénu a výšky nad povrchem

$c_{fr}$  – součinitel tření - pro hladké ocelové plechy a lepenky – 0,02  
- pro ostatní střešní krytiny – 0,04

$A_{fr}$  – zatěžovací plocha jednoho ztužidla [m<sup>2</sup>]

$L$  – rozpětí běžného vazníku [m]

$\alpha$  – sklon střešní roviny [°]

Vnitřní ztužidlo ve střešní rovině je namáháno stabilizačním zatížením a zatížením třecí složkou podélného větru. Krajní ztužidla v objektech bez zděných štítů jsou navrhována na zatížení větrem působícím na štít, příslušnou část zatížení třecí složkou podélného větru a stabilizačního zatížení. Rovněž při jejich návrhu nemůže být uvažováno se zavětrovací páskou, protože je namáhána tlakem, který není schopna přenášet.

Jednotlivá zatížení se kombinují dle normy [4].

### Výsledky

Byla navržena konstrukce příčného ztužidla. Všechny předpoklady výpočtu (podepření a vrchol ztužidla, spojení s vazníkem, páska) musí být zajištěny vhodným návrhem a správnou montáží lisovaných konstrukcí, prvků a detailů.

Pro lepší představu, jak se celá konstrukce "tuhé dvojice" se zavětrovací páskou chová, jsou ukázány některé výsledky získané jejím prostorovým modelováním.

Jeden z nejdůležitějších poznatků vyplývajících z 3D

analýzy "tuhé dvojice" spočívá v odhalení dvojice svislých reakcí vyvozených pouze vodorovným zatížením ztužidla. Výslednice zatížení působí na rameni  $h$ , které reprezentuje svislou vzdálenost působíště výslednice k podpoře – viz obr. č. 5. Tento moment je vyjádřen dvojicí sil resp. reakcí, které je třeba zohlednit při návrhu kotvení, který se zejména v případě lehkých krytin může stát problematickým. Rovnost momentů lze zapsat vztahem:

$$F \cdot h = R_z \cdot r$$

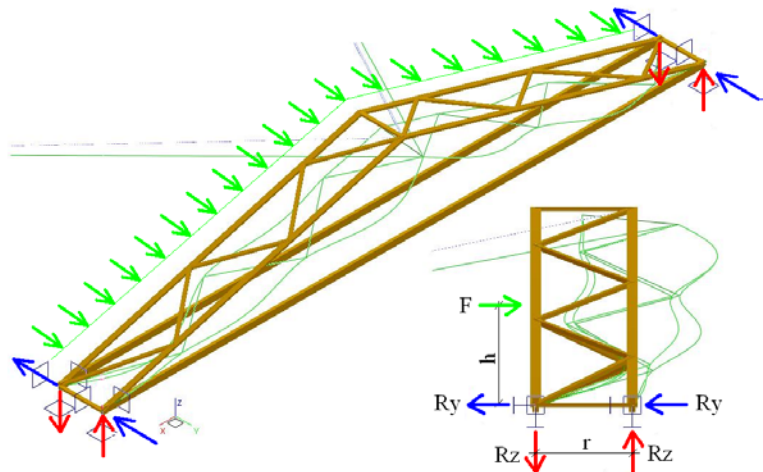
$F$  – výslednice vodorovného zatížení pásu ztužidla [kN]

$h$  – svislá vzdálenost působíště výslednice zatížení k podpoře [m]

$R_z$  – svislá reakce v podpoře [kN]

$r$  – rozteč vazníků [m]

Další zajímavé informace může poskytnout stabilitní výpočet. Ten spočívá v hledání kritického zatížení konstrukce, tedy v postupném zvyšování zatížení a sledování chování konstrukce z hlediska vybočení tlačенých prvků (pásů a diagonál). Při stabilitní analýze se vždy pracuje s charakteristickými hodnotami zatížení působícího na konstrukci tzn. svislé zatížení vazníků a vodorovné zatížení ztužidla ve vhodné kombinaci mezního stavu



Obr. č. 5 – Reakce a deformace "tuhé dvojice" pouze od vodorovného zatížení

použitelnosti. Výsledky jsou representovány vlastními tvary vybočení vykreslenými jako deformace (obr. č. 6) a bezrozměrnou veličinou  $K$ , která vyjadřuje podíl zatížení potřebného k vybočení prvku(ů) konstrukce a zatížení zadaného:

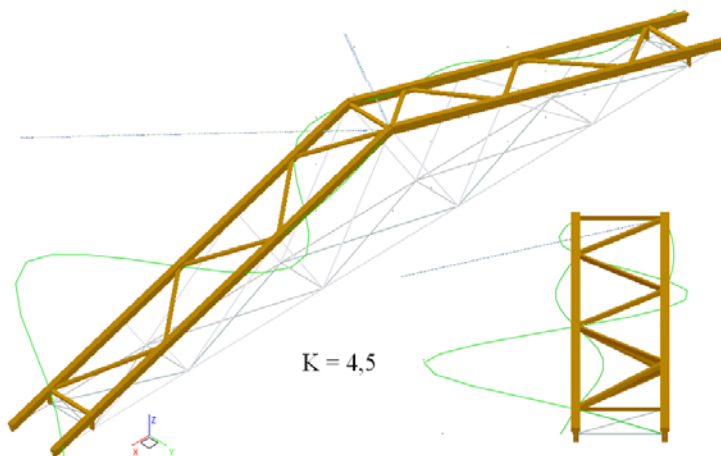
$$K = f_{crit} / f$$

$f_{crit}$  – kritické zatížení konstrukce vedoucí k vybočení některého prvku [kN/m],

$f$  – zatížení konstrukce jednou z kombinací mezního stavu použitelnosti [kN/m],

$K$  – kritický násobek zatížení [-].

Obecně musí být  $|K| > 1$ , aby nedošlo ke ztrátě stability konstrukce. Pro hodnoty  $1,0 < |K| < 4,0$  se doporučuje důkladně zkontrolovat celý návrh ztužidla i vazníku. Při  $|K| > 4,0$  lze konstrukci považovat za stabilní a návrh za vyhovující [5]. Pokud se hodnota  $K$  nachází v oboru záporných čísel, znamená to, že tento tvar vybočení nastane při  $K$  násobku daného zatížení, ale s opačnou orientací. Stabilitní analýza konstrukcí v prostoru nebývá standardní součástí statického výpočtu ztužidla, ale pro větší a lomené konstrukce s velkým svislým zatížením však může mnoho napovědět o jejich chování.



Obr. č. 6 – Výsledek stabilitní analýzy konstrukce "tuhé dvojice"

### Závěr

Střechy halových objektů středních a velkých rozpětí mohou při špatně navrženém systému ztužení vykazovat značné poruchy, které mohou vést až k haváriím. Základní stavební kámen tohoto systému tvoří ztužení ve střešní rovině, proto je jeho návrhu i realizaci věnovat značnou pozornost a péči. Byl ukázán postup návrhu ztužidla od stanovení zatížení a volbu statického modelu až po interpretaci výsledků.

### Poznámka

Tento příspěvek byl vytvořen za podpory projektu výzkumu a vývoje ČVUT v Praze MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“ a ve spolupráci s firmou Kontrakting Krov Hrou s.r.o. se sídlem v Žilině.

### Literatura:

- [1] TAJBR, A. – *Ztužení dřevěných střešních konstrukcí s deskami s prolisovanými trny* [diplomová práce], 2007, FSv ČVUT
- [2] ČSN EN 1995-1-1 - *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí*, ČNI, Praha, 2006 (včetně NA)
- [3] ČSN EN 1991-1-4 - *Eurokód 1, Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, Část 2-4: Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem*, ČNI, Praha, 2007 (včetně NA)
- [4] ČSN EN 1990 - *Eurokód, Zásady navrhování konstrukcí*, ČNI, Praha, 2004 (včetně NA a pozdějších změn)
- [5] *Nápověda k programu TRUSS 2D (verze 4.0.h)*. FINE. Praha