

Lehké střešní konstrukce ze dřeva

Petr Kuklík, Miloš Vodolan

Cílem tohoto projektu je popsat chování lehkých střešních konstrukcí provedených pomocí ocelových desek s prolisovanými trny při běžné teplotě a za požáru. Dílčím cílem projektu je zkouškami a modelováním styčnicků těchto konstrukcí zpřesnit postupy pro jejich navrhování.

1. Úvod

V nosných střešních konstrukcích budov se stále více nahrazují klasické tesařské spoje spoji s kovovými spojovacími prostředky. Ocelové desky s prolisovanými trny jsou nejprogresivnějším spojovacím prostředkem používaným na tyto konstrukce.

Spoj s ocelovou deskou s prolisovanými trny v sobě spojuje výhodu hřebíkového spoje (pro přenos sil z připojovaného prvku) a kovové styčnickové desky (pro přenos sil mezi spojovanými prvky). Nosné konstrukce (především příhradové a hambalkové) jsou tvořeny z prken nebo fošen stejné tloušťky. Ocelové desky jsou oboustranně zalisovány do spoje jednotlivých prvků vhodným lisovacím zařízením.

Při použití ocelové desky s prolisovanými trny prakticky nedochází k ovlivnění rozměrů dřevěných průřezů, navržených na únosnost dřeva, jak je tomu u konstrukcí s hřebíkovými spoji. Dřevěné prvky horních a dolních pásů se s diagonálními prvky spojují „na sraz“ a profily jsou v konstrukci optimálněji využity. Z provedených studií různých variant sbíjených konstrukcí a konstrukcí spojovaných ocelovými deskami s prolisovanými trny pro shodné zatížení a rozpětí vyplynulo, že použitím desek s prolisovanými trny dochází k úspoře cca 30 % dřevní hmoty a cca 25 % celkových nákladů na konstrukci. K těmto výhodám musíme ještě připočítat vyšší přesnost výroby, nižší hmotnost a vyšší stupeň prefabrikace těchto konstrukcí. Konstrukce s ocelovými deskami s prolisovanými trny jsou též vhodné pro řešení nástaveb na stávající bytové domy vzhledem k tomu, že mají malou tíhu a konstrukce nástavby představuje malé přitížení základů. Spotřeba dřeva u nástaveb se pohybuje v rozmezí cca 0,03 až 0,06 m³ na m² půdorysné plochy nástavby podle typu zvolené konstrukční soustavy. Přitom provedení nástavby např. u jednoho panelového domu o ploše cca 615 m² trvá přibližně 1 měsíc.

2. Modelování konstrukcí s ocelovými deskami s prolisovanými trny

Problematika modelování styků konstrukčních prvků je klíčovým problémem navrhování konstrukcí s ocelovými deskami s prolisovanými trny. Reálně se ve styčnicku těchto konstrukcí může stýkat až pět dřevěných prvků různé topologie, v různých detailních úpravách, s různým silovým působením. Dřevěné vazníky se modelují v rovině jako samostatné rovinné konstrukce. Vnitřní síly působící v konstrukci se získávají většinou pomocí výpočetních postupů založených na výpočtu prutových konstrukcí pomocí metody konečných prvků 1. řádu nebo 2. řádu. Ocelová deska s prolisovanými trny je potom poměrně složitě namáhána rovinnou napjatostí a musí zabezpečovat přenos mnoha různých silových účinků z jednoho prvku do druhého. Prvotním předpokladem výpočtu je výpočet ploch průniku polygonů připojovaných dřevěných profilů a styčnickové desky.

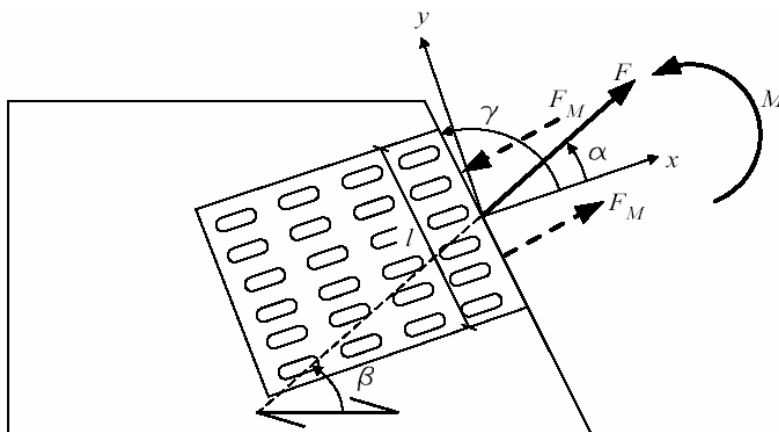
K základním posouzením prováděným u těchto spojů patří ověření přenosu sil ze dřeva do desky přes zalisované trny (posudek únosnosti trnů) a ověření přenosu sil mezi spojovanými prvky styčnickovou deskou (posudek únosnosti materiálu desky). K těmto hlavním způsobům namáhání přistupují ještě v jednotlivých detailech doplňující posudky : posouzení desky na vliv rozdílu sil v diagonálách a na vytržení ze dřeva kolmo k vláknům dřeva pásu.

Styky pomocí ocelových desek s prolisovanými trny se vyznačují také poměrně velkou tuhostí, která je po lepení jednou z nejvyšších v oboru dřevěných konstrukcí. Spoje jsou na druhé straně křehčí a náchylnější na boulení desek. Z těchto důvodů je velice důležitý kvalitní výpočetní model spoje prvků ve styčnicku.

3. Zjišťování únosností spojů prvků s ocelovými deskami s prolisovanými trny

Pro ocelové desky s prolisovanými trny neexistuje v systému evropské normalizace harmonizovaná (výrobová) norma. Charakteristické hodnoty pevností ocelových desek s prolisovanými trny si musí každá země stanovit samostatně na národní úrovni pomocí zkoušek. Přitom se předpokládá, že výsledky těchto zkoušek budou podkladem pro zpracování národních dodatků k Eurokódu 5 pro navrhování dřevěných konstrukcí.

V letošním roce byly provedeny první zkoušky spojů s ocelovými deskami s prolisovanými trny (obr.2) , na základě kterých budou určeny parametry těchto spojů (obr. 1), potřebné pro jejich navrhování:



Obr.1 Geometrie spoje namáhaného silou F a momentem M

- $f_{a,0,0}$ únosnost připojení na jednotku plochy pro $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$;
 $f_{a,90,90}$ únosnost připojení na jednotku plochy pro $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$;
 $f_{t,0}$ únosnost desky v tahu na jednotku šířky v x- směru ($\alpha = 0^\circ$);
 $f_{c,0}$ únosnost desky v tlaku na jednotku šířky v x- směru ($\alpha = 0^\circ$);
 $f_{v,0}$ únosnost desky ve smyku na jednotku šířky v x- směru ($\alpha = 0^\circ$);
 $f_{t,90}$ únosnost desky v tahu na jednotku šířky v y- směru ($\alpha = 90^\circ$);
 $f_{c,90}$ únosnost desky v tlaku na jednotku šířky v y- směru ($\alpha = 90^\circ$);
 $f_{v,90}$ únosnost desky ve smyku na jednotku šířky v y- směru ($\alpha = 90^\circ$);
 $\gamma_0, k_v, k_1, k_2, \alpha_0$ konstanty;
 α úhel mezi směrem síly a hlavním směrem desky s prolisovanými trny – hlavní směr je uvažován rovnoběžně se směrem zalisování (úhel zatížení trnů);
 β úhel mezi směrem síly a směrem vláken dřeva (úhel pod kterým trny namáhají dřevo);
 γ úhel mezi podélným směrem desky a spárou spoje (úhel ovlivňující čistý průřez oceli podél spojovací spáry).

Pro posouzení ocelových desek s prolisovanými trny byly připraveny návrhové postupy uvedené v následujícím textu.



Obr.2 Zkoušky únosnosti spojů a požární odolnosti vazníků

Posouzení únosnosti připojení desky

Charakteristická pevnost připojení trnů (pro obecný úhel β) :

$$f_{a, \alpha, \beta, k} = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{a, \alpha, 0, k} - (f_{a, \alpha, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \frac{\beta}{45^\circ} \\ f_{a, 0, 0, k} - (f_{a, 0, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \sin(\max(\alpha, \beta)) \end{array} \right\} \text{ pro } \beta \leq 45^\circ ,$$

nebo

$$f_{a, \alpha, \beta, k} = f_{a, 0, 0, k} - (f_{a, 0, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \sin(\max(\alpha, \beta)) \text{ pro } 45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ .$$

Charakteristická pevnost připojení trnů (ve směru vláken dřeva):

$$f_{a, \alpha, 0, k} = \left\{ \begin{array}{l} f_{a, 0, 0, k} + k_1 \alpha, \text{ pro } \alpha \leq \alpha_0 \\ f_{a, 0, 0, k} + k_1 \alpha_0 + k_2 (\alpha - \alpha_0), \text{ pro } \alpha_0 < \alpha \leq 90^\circ \end{array} \right\}$$

Vlastní únosnost připojení desky spočívá v posouzení návrhových napětí $\tau_{F,d}$ a $\tau_{M,d}$ ze vztahů :

$$\tau_{F, d} = \frac{F_{A, d}}{A_{ef}} , \quad \tau_{M, d} = \frac{M_{A, d}}{W_p}$$

kde W_p je polární průřezový modul připojované plochy $W_p = \int_{A_{ef}} r dA$, kde A_{ef} je efektivní plocha připojovaného prvku (bez neúčinných okrajů).

Pro případ spojování tlačенého pásu je možno použít následující vztahy pro určení návrhové síly $F_{A,d}$ a momentu $M_{A,d}$ z návrhových průřezových sil :

$$F_{A, d} = \sqrt{\left(\frac{F_d}{4} - \frac{3M_d}{4h}\right)^2 + \left(\frac{V_d}{2}\right)^2} , \quad M_{A, d} = \frac{M_d}{4}$$

kde, F_d , M_d a V_d jsou síly působící na spojovaný průřez, h je výška spojovaného průřezu.

Připojení trnů desky do dřeva se posoudí podle vztahu:

$$\left(\frac{\tau_{F,d}}{f_{a,\alpha,\beta,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{M,d}}{f_{a,0,0,d}} \right)^2 \leq 1$$

Posouzení únosnosti materiálu desky

Charakteristické hodnoty únosností desky v hlavních směrech desky x a y, se určí podle následujících vztahů:

$$R_{x,d} = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{n,0,k} l \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)), \quad \text{kde } f_{n,0,k} = \begin{cases} f_{t,0,k} \text{ pro } F_{x,d} > 0 \\ f_{c,0,k} \text{ pro } F_{x,d} \leq 0 \end{cases} \\ f_{v,0,k} l \cos \gamma \end{array} \right\}$$

$$R_{y,d} = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{n,90,k} l \cos(\gamma), \quad \text{kde } f_{n,90,k} = \begin{cases} f_{t,90,k} \text{ pro } F_{y,d} > 0 \\ f_{c,90,k} \text{ pro } F_{y,d} \leq 0 \end{cases} \\ k f_{v,90,k} l \sin \gamma \quad \text{kde } k = \begin{cases} 1 + k_v \sin(2\gamma) \text{ pro } F_{x,d} > 0 \\ 1 \text{ pro } F_{x,d} \leq 0 \end{cases} \end{array} \right\}$$

kde l je délka spáry spoje a γ_0 a k_v jsou konstanty určené ze zkoušek.

Posuzuje se únosnost materiálu desky v tlaku nebo v tahu s účinkem přidavného momentu rozloženého do hlavních směrů desky x a y :

$$F_{x,d} = F_d \cos \alpha \pm 2F_{M,d} \sin \gamma$$

$$F_{y,d} = F_d \sin \alpha \pm 2F_{M,d} \cos \gamma$$

Náhradní síla od momentového namáhání se určí podle vztahu :

$$F_{M,d} = 2M_d / l, \text{ kde } l \text{ délka spáry spoje.}$$

Namáhání materiálu desky musí celkově vyhovět vztahu:

$$\left(\frac{F_{x,d}}{R_{x,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{y,d}}{R_{y,d}} \right)^2 \leq 1$$

4. Aplikace desek s prolisovanými trny v konstrukcích

Kromě běžných konstrukcí krovů a vazníků na běžná rozpětí (obr. 3) se konstrukce s deskami s prolisovanými trny používají stále více i na konstrukce s rozpětími nad 20 m.



Obr. 3 Konstrukce střechy budovy s ocelovými deskami s prolisovanými trny

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován za podpory projektu výzkumu a vývoje ČVUT v Praze MSM 6840770005 „Udržitelná výstavba“.

Literatura

Ellegaard, P., 2001: Analysis of Timber Joints with Punched Metal Plate Fasteners, Aalborg University, Denmark.

Nielsen J., Ellegaard P., 2002: Design and Modelling of Knee Joints, Aalborg University, Denmark.

O'Regan, Philip J., 1997: Combined Tension and Bending Loading in Bottom Chord Splice Joints of Metal-Plate-Connected Wood Trusses, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, USA .

Truss Plate Institute of Canada, 1996: Truss Design Procedures and Specifications for Light Metal Plate Connected Wood Trusses. Limit State Design, Canada.