

– tepelný odpor (podle ČSN 73 0540) vzduchových mezer R_v o tloušťce

$$d = 10 \text{ mm}, \quad R_{v10} = 0,12 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$d = 20 \text{ mm}, \quad R_{v20} = 0,146 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$d = 35 \text{ mm}, \quad R_{v35} = 0,157 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$d = 40 \text{ mm}, \quad R_{v40} = 0,159 \text{ m}^2\text{KW}^{-1};$$

– koeficienty přestupu tepla

$$\alpha_i = 8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1},$$

$$\alpha_e = 23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}.$$

Součinitel prostupu tepla se pak vypočítá ze vztahu

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + R + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$$

a) pouze pro jednoduché zasklení

$$R_c = R_s = 0,004 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$k = 4,797 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1};$$

b) při vzduchové mezeře tl. 40 mm mezi dvěma skly (obr. 5)

$$R_c = R_s + R_{v40} + R_s = 0,04 + 0,159 + 0,04 = 0,239 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$k = 2,454 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1};$$

c) při dvou vzduchových mezerách tl. 20 mm (obr. 9)

$$R_c = R_s + R_{v40} + R_s + R_{v20} + R_s =$$

$$= 0,04 + 0,146 + 0,004 + 0,146 + 0,04 = 0,412 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$k = 1,723 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1};$$

d) při vzduchových mezerách tl. 10 a 40 mm (obr. 10)

$$R_c = R_s + R_{v10} + R_s + R_{v40} + R_s =$$

$$= 0,04 + 0,12 + 0,04 + 0,159 + 0,04 = 0,399 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$k = 1,762 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1};$$

e) při vzduchových mezerách tl. 20 a 40 mm (obr. 11)

$$R_c = R_s + R_{v20} + R_s + R_{v40} + R_s =$$

$$= 0,04 + 0,146 + 0,04 + 0,159 + 0,04 = 0,425 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$k = 1,685 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1};$$

f) při vzduchových mezerách tl. 35 a 10 mm (obr. 12)

$$R_c = R_s + R_{v35} + R_s + R_{v10} + R_s =$$

$$= 0,04 + 0,157 + 0,04 + 0,12 + 0,04 = 0,397 \text{ m}^2\text{KW}^{-1},$$

$$k = 1,768 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}.$$

Základní tepelná ztráta prostupem $Q = k \cdot \Delta t \cdot S$ (W) je na 1 m^2 zasklené plochy okna přímo úměrná hodnotě součinitele prostupu tepla k .

Literatura

- [1] ČSN 73 0540 – Tepelné technické vlastnosti stavebních konstrukcí, změna č. 4.
- [2] Hájek, V.-Šmejcký, J.: Kompletační konstrukce. ČVUT 1991.
- [3] Bloudek, K.: Stavební tepelná technika II. ČVUT 1990.
- [4] Jelínek, F.: Konstrukce obvodového pláště budov z plochého skla. Praha, SNTL 1982.

Ekonomické styčníky pro ocelové rámy

David ANDERSON

University of Warwick

André COLSON

Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg

Jean-Pierre JASPART

Université de Liège

František WALD

České vysoké učení technické Praha

Předkládaný článek má za cíl seznámit technickou veřejnost s vývojem v navrhování ocelových styčnic – s koncepcí polotuhých styčnic. I když nejde o zcela novou metodu v navrhování styčnic, nabylo uvažování skutečné tuhosti na významu zvláště rozvojem výpočetní techniky, zavedením koncepce mezních stavů a využitím plastického návrhu.

V textu jsou rozebrány výhody návrhu styčnic s přihlédnutím k požadavkům na jejich tuhost pro vyztužené i nevyztužené rámy. Dále jsou uvedeny možnosti analytického modelování hlavních parametrů styčnic a je ukázán výpočet konstrukce s uvažováním tuhosti styčnic.

oběma extrémů a lze ji využít v polotuhém návrhovém modelu (semi-rigid design). V praxi se obvykle s výhodou používají přípoje s únosností menší, než je únosnost připojovaného nosníku. Jsou to tzv. přípoje s částečnou únosností.

Tuhost a únosnost přípojů má vliv na chování rámu jako celku. V současnosti se při návrhu více využívá částečná spojitost, což přináší větší volnost ve volbě požadovaných vlastností rámu než klasický předpoklad, kdy se projektant musel rozhodnout mezi dvěma extrémů. Výhody volby styčnic jsou dále vysvětleny.

Polotuhý návrhový model

Ocelové rámy konstrukcí pozemních staveb se zpravidla navrhovaly za předpokladu, že přípoj nosníku ke sloupu je kloubový nebo vetknutý. Skutečná tuhost se nachází mezi

Výhody polotuhého návrhového modelu

Výhody využití polotuhého návrhového modelu závisí na typu rámu a na principu jeho návrhu. Lze rozlišit výhody pro rámy vyztužené ztužidly a výhody pro rámy nevyztužené samostatnými ztužidly, vyztuženě pouze rámovými rohy.

Výhody polotuhých styčnicků

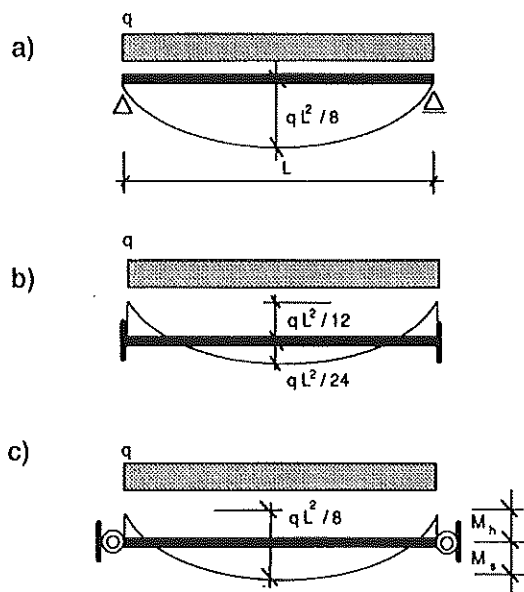
Vyztužené rámy – snížení výšky nosníku,
– snížení ceny konstrukce,
– vyloučení montážních ztužidel.

Nevyztužené rámy – zjednodušení složitých detailů,
– vyloučení nákladných výztuh ve sloupech,
– snížení ceny konstrukce.

Výhody jsou podrobněji popsány dále v textu.

Vyztužené rámy

Vliv polotuhých styčnicků lze znázornit na pružném návrhu nosníku o jednom poli. Na *obr. 1a* je prostý nosník, zatížený rovnoměrným zatížením. Největší moment vznikne uprostřed nosníku. Na *obr. 1b* byly klouby v podporách nahrazeny vetknutím. Největší pružné ohybové momenty se přestěhovaly do podpor. Jejich hodnota však činí pouze dvě třetiny původní hodnoty. *Obr. 1c* představuje nosník s polotuhými styčnickými. V závislosti na tuhosti podpory bude největší ohybový moment ve středu nebo v podporách. Bude však vždy menší, než byl moment na prostém nosníku. *Obr. 2* ukazuje, jak se tyto momenty mění v závislosti na poměrné tuhosti podpory a jak lze dosáhnout optimálního vyrovnání těchto momentů.

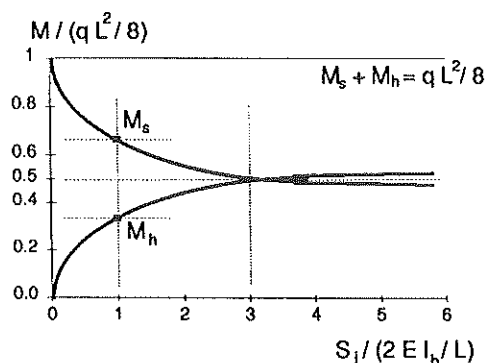


Obr. 1. Nosník o jednom poli
a – prostý nosník, b – vetknutý nosník, c – nosník s polotuhými podporami

V praxi by mohly vzniknout obtíže při určení přesné hodnoty požadované tuhosti. Také se zatím neuvažovalo s výškou nosníku, a řešení proto nemusí být z tohoto hlediska optimální. Tužší přípoj přináší též dodatečné náklady. *Obr. 2* ukazuje, že se ohybový moment mění výrazně již při malé tuhosti podpory. Totéž chování je možné sledovat pro průhyby nosníku (*obr. 3*). Ukazuje se tedy, že ekonomického nosníku s redukovanou výškou lze dosáhnout:

- započítáním skutečné tuhosti přípoje,
- malou (levnou) úpravou přípoje pro zvýšení jeho tuhosti.

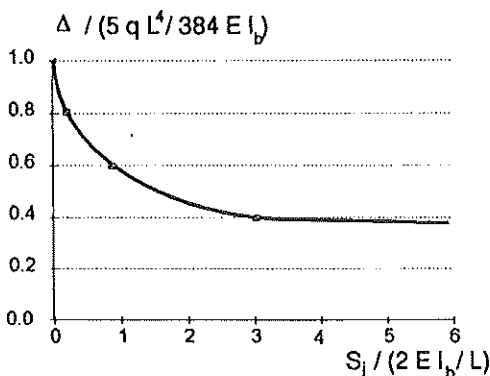
Jestliže využíváme plastický návrhový model, bývá rozhodující při mezím stavu konstrukce spíše momentová



Obr. 2. Závislost ohybového momentu na tuhosti podpory
 S_j – sečná tuhost přípoje, I_b – moment setrvačnosti nosníku

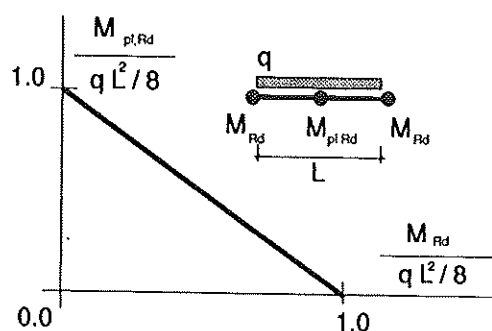
únosnost přípoje než ohybová tuhost přípoje. *Obr. 4* ukazuje, jak plastická únosnost nosníku $M_{pl,Rd}$, kterou lze využít ve středu nosníku, závisí na momentové únosnosti přípojů M_{Rd} .

Studie na rámech se sloupy z profilů H, které jsou umístěny tužším směrem v rovině rámu, ukázaly, že cena výroby a montáže ocelové konstrukce s upravenými přípoji je nižší než cena konstrukce s běžně navrženými přípoji. Takto lze dosáhnout snížení ceny výroby ocelové konstrukce v rozsá-

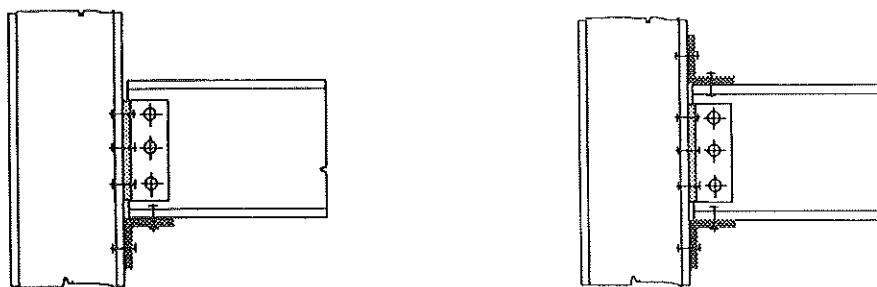


Obr. 3. Závislost průhybu na tuhosti podpory

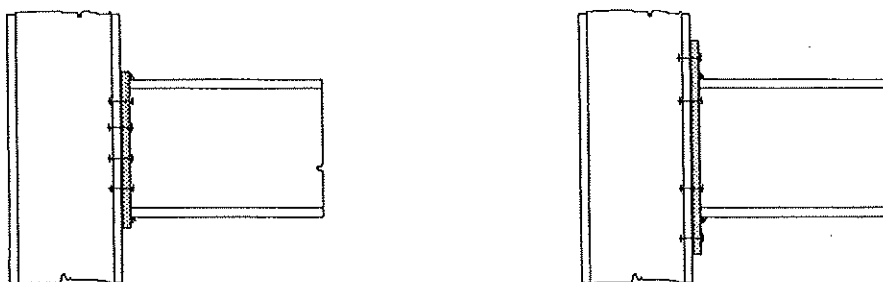
hu asi 4 až 13 %, v závislosti na použitých detailech a na dostupné variabilitě válcovných řad profilů. Momenty, které vzniknou ve vnějších sloupech, mohou vést k nárůstu hmotnosti sloupů, a tak využití polotuhých styčnicků bývá



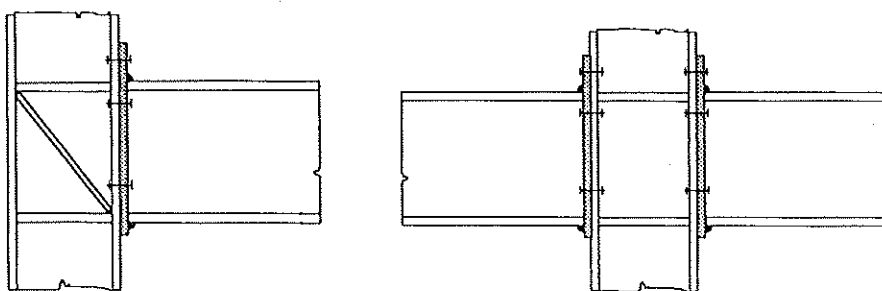
Obr. 4. Metoda nosníkové přímky



Obr. 5. Připoj nosníku na sloup pomocí úhelníků
a – úhelník na stěně nosníku, b – úhelníky na stěně a na pásnicích nosníku



Obr. 6. Připoj nosníku na sloup pomocí čelní desky
a – čelní deska na výšce nosníku, b – čelní deska s přesahem



Obr. 7. Rámový roh – ohybově tuhý přípoj nosníku na sloup pomocí čelní desky

ekonomičtější pro návrh rámu o větším počtu polí. Pro rám o dvou polích lze očekávat úsporu asi 8 % v ceně konstrukce, pro rám o třech polích asi 10 %.

Je třeba připomenout, že úspora v ceně konstrukce je v tomto případě doprovázena (díky nižším nosníkům) i snížením konstrukční výšky. Například úpravou přípoje podle obr. 5a na přípoj podle obr. 5b je možné dosáhnout (vlivem polotuhého působení) až 25% snížení výšky válcovaného nosníku. Přípoje s čelními deskami podle obr. 6a již mají poměrně velkou ohybovou tuhost. Tuto tuhost lze ještě zvýšit přesahem čelní desky (obr. 6b).

Nevyztužené rámy

I když se pro nevyztužené rámy někdy využívá plastická analýza, je pružný návrhový model obvyklejší, jednodušší, a hlavně stejný pro mezní stav použitelnosti i pro mezní stav únosnosti. Obvykle se při něm předpokládá tuhý přípoj podle obr. 7.

Polotuhý výpočtový model umožňuje i pro tento typ rámu využít jednodušší nevyztužené přípoje, např. takové, které jsou na obr. 6. Plně šroubované přípoje s přípojnými úhelníky (obr. 5b) lze nahradit dílensky přivařovanými čelními

deskami v případech, že se zajistí menší výrobní a montážní tolerance.

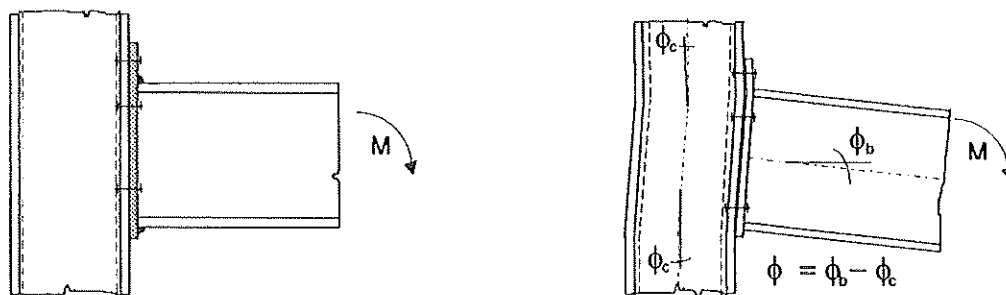
V praxi se může vyskytnout případ, že je při využití polotuhých styčniců třeba navrhnout větší profily, aby byly splněny požadavky na únosnost, včetně vlivu účinků druhého řádu, nebo požadavky použitelnosti, které se obvykle vyjadřují vodorovným přetvořením objektu. Většina návrhových studií ukazuje na úspory při použití polotuhých styčniců. Ve většině případů lze očekávat redukci momentů podle obr. 2. Cenová srovnání vypracovaná pro rovinné rámy ukazují na úsporu v ceně materiálu, výroby a montáže asi 20 %. Těchto úspor je většinou dosaženo redukcí ceny výroby zjednodušením přípojů.

Postup při návrhu rámu s poddajnými styčnicí

Návrh rámu s poddajnými styčnicí sestává z těchto tří částí:

- určení vlastností přípojů,
- analýzy rámu,
- ověření chování rámu.

Interakcí těchto tří částí návrhu rámu lze dosáhnout optimálního návrhu.



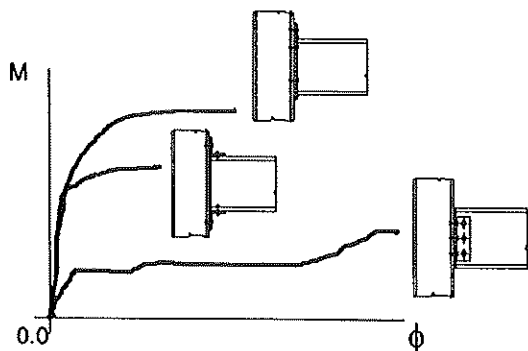
Obr. 8. Připoj nosníku na sloup pomocí čelní desky
a – čelní deska s jednostranným přesahem, b – natočení nosníku vůči sloupu

Určení vlastností přípoje pro analýzu konstrukce

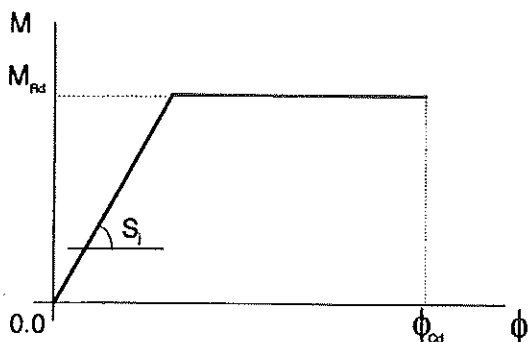
Chování přípoje lze popsat křivkou závislosti ohybového momentu na natočení ($M - \phi$). Na svislé ose se zobrazuje ohybový moment přenášený přípojem M a na vodorovné ose poměrné natočení mezi nosníkem a sloupem ϕ (obr. 8). Typické výsledky testů ve skutečném měřítku lze vidět na obr. 9. Závislost je nelineární, lze ji však přibližně popsat třemi hlavními parametry (obr. 10):

- M_{Rd} – momentová únosnost přípoje,
- S_j – sečná ohybová tuhost
(na úrovni hodnoty momentu M_{Rd}),
- ϕ_{Cd} – výpočtové mezní natočení.

Metodika určení těchto parametrů je pro přípoj na čelní desku (obr. 6) popsána v Eurokódu 3, Příloha J. K dispozici jsou řešené příklady i výpočetní programy (PC MSDOS). Rovnice pro určení parametrů těchto přípojí, které nejsou uvedeny v Příloze J, jsou k dispozici v dalších podkladech. Články [5] a [2] uvádějí řadu publikovaných modelů. Také



Obr. 9. Výsledky testů styčnic



Obr. 10. Hlavní parametry styčnic

připravovaná publikace ECCS se bude zabývat analytickými modely pro různé typy přípojí, zvláště pak přípoji s úhelníky.

Analýza konstrukce

Vlastnosti přípojí, které je potřeba určit, závisí též na použité celkové analýze konstrukce:
pro pružnou analýzu – určujeme ohybovou tuhost S_j ,
pro plastickou analýzu – určujeme momentovou únosnost M_{Rd} .

Pro dosažení bezpečného a ekonomického návrhu je vhodné se ke konečnému řešení přibližovat v krocích. Počet kroků je možné omezit vhodnou volbou vstupních parametrů. Pro vyztužené rámy se osvědčila metoda nosníkové přímky (obr. 4 a obr. 11). Přímka zobrazuje pružné chování nosníku na grafu závislosti momentu na natočení. Na svislé ose přímka vyřazuje hodnotu podporového momentu vetknutého nosníku, na vodorovné ose hodnotu natočení v podpoře prostého nosníku. Chování přípoje lze zobrazit spolu s chováním nosníku (obr. 11a). V průsečku nosníkové přímky a křivky momentu natočení přípoje se získají hodnoty koncových momentů na nosníku. Na nosníkové přímce lze též určit nejnižší tuhosti přípoje pro využití únosnosti daného nosníku (obr. 11b). Výše uvedený postup vede k přímému optimálnímu návrhu nejmenší ohybové únosnosti přípoje M_{Rd} , kterou lze využít při návrhu rámu.

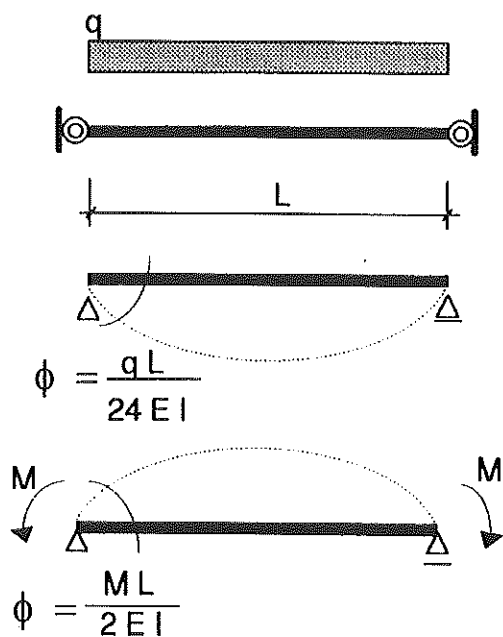
Tuhost, která je nutná k rozvinutí plastických kloubů při plastické analýze konstrukce, se určí přímo z plastického mechanismu (obr. 4). Tento postup návrhu umožňuje využít polotuhosti bez výpočtu ohybové tuhosti. Je však třeba zajistit dostatečné mezní natočení. Mezní natočení je pro plastický návrh konstrukce dostatečné např. při kolapsu přípoje smykovým porušením stěny sloupu. Pro mezní stav použitelnosti se nemusí určovat S_j v případě, že se vystačí s přibližným výpočtem průhybu pro nosník s klouby v podporách, nebo v případě, že se přibližně uvažuje s tuhostí při mezním stavu únosnosti.

Pro nevyztužený rám se doporučuje zahájit výpočet stanovením požadované momentové únosnosti pro rám s tuhými styčnicí. Předběžný návrh detailů přípojí pak vychází z těchto požadovaných únosností, ale uvažuje již skutečnou tuhost.

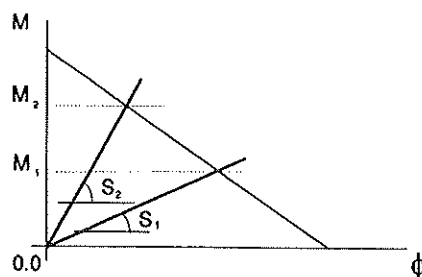
Použití typizovaných přípojí pro vyztužené i nevyztužené rámy umožní projektantovi znát předem charakteristiky přípojí.

Příklady

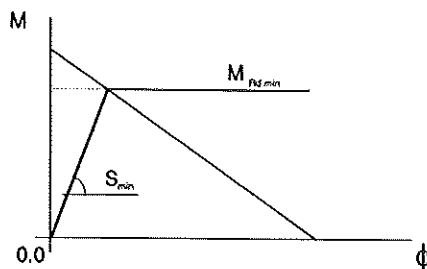
Příklad návrhu rámu s poddajnými přípoji je zachycen na obr. 12 až obr. 14. Výhody při návrhu nosníku o více polích s poddajnými přípoji ukazuje obr. 15. Jako zdroj dalších



Obr. 11. Metoda nosítkové přímky



a – určení podporového momentu pro daný nosník a prut



b – určení nejmenší požadované tuhosti

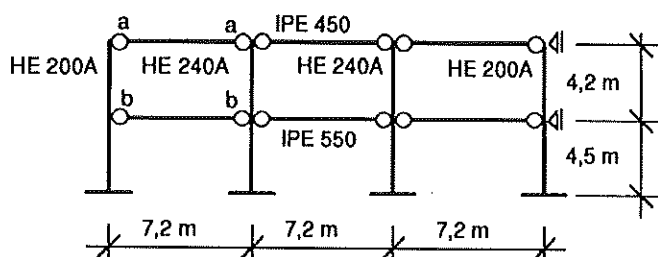
příkladů použití poddajných nosníků lze doporučit [2]. Příklady jsou řešeny podle Eurokódu 3 s parciálními součiniteli spolehlivosti podle evropského doporučení normy.

Konstrukce na obr. 12 až obr. 14 je vyztužený rám. Rámy jsou po 6 m. Je použita ocel třídy 37 (Fe 360), normové zatížení:

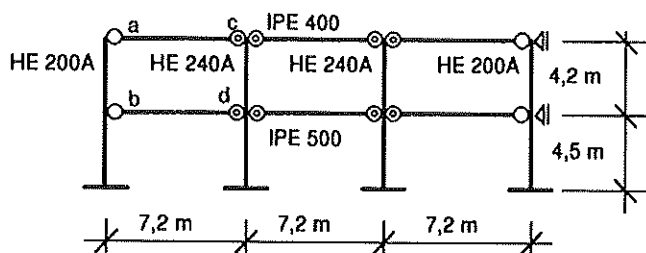
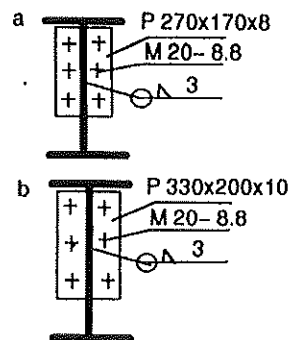
střecha – stálé 4,5 kN/m² a nahodilé 1,5 kN/m²,
podlaží – stálé 5,0 kN/m² a nahodilé 4,0 kN/m².

Návrh skeletu na obr. 12 je proveden pro prosté nosníky, přípoje nosníku na sloup jsou provedeny šroubované s krátkými čelními deskami.

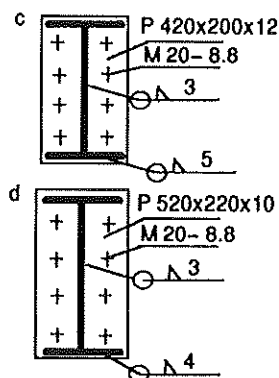
Návrh skeletu na obr. 13 ukazuje možnosti redukce profilů nosníků pro takové přerozdělení ohybových momentů, které ještě nevyvolá zvětšení profilů sloupů. Přípoje k vnějším sloupům byly použity kloubové, kdežto k vnitřním sloupům jsou navrženy přípoje přenášející ohybové momenty. Tyto přípoje mají pouze částečnou únosnost

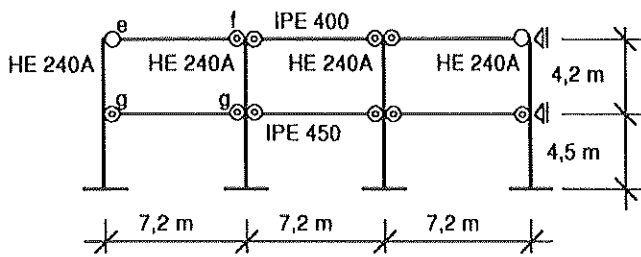


Obr. 12. Příklad návrhu vyztuženého skeletu s kloubovými přípoji

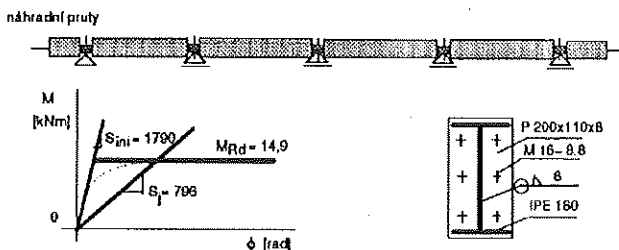
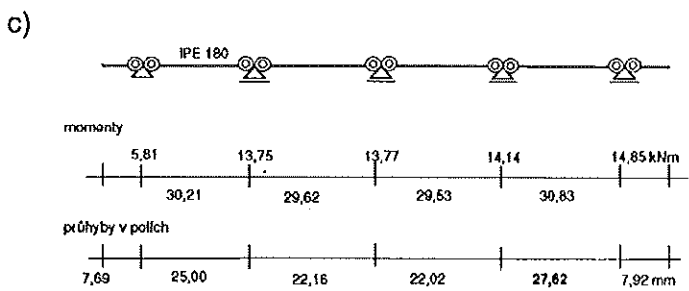
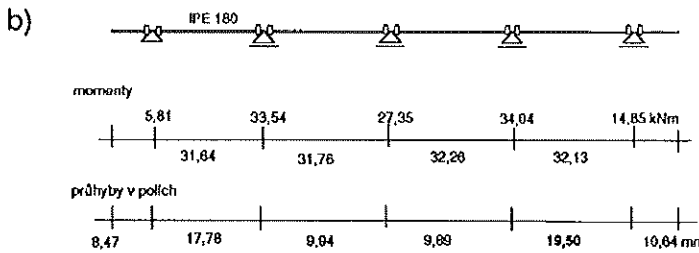
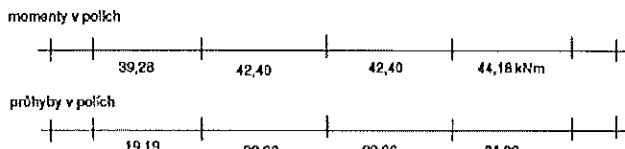
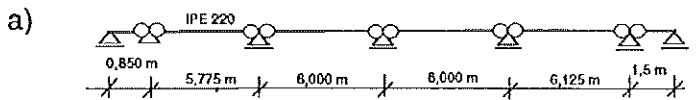
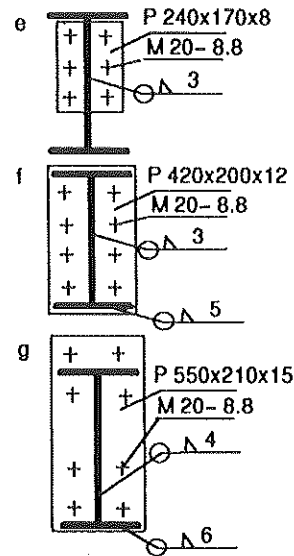


Obr. 13. Příklad návrhu vyztuženého skeletu s polotuhými přípoji





Obr. 14. Příklad návrhu vyztuženého skeletu s jinými polotuhými přípoji

Obr. 15. Příklad návrhu částečně spojitěho nosníku
a – kloubové přípoje, b – vetknuté přípoje, c – polotuhé přípoje, použitý přípoj s čelní deskou na výšku nosníku, křivka moment natočení tohoto přípoje

(jejich momentová únosnost je 20 a 30 % únosnosti připojovaného nosníku). Takto navržené přípoje redukují profil nosníku, a tedy cenu konstrukce i výroby.

Možnosti návrhu skeletu s polotuhými přípoji jsou na obr. 14. Aby bylo možné využít redukcii momentů v krajních nosnících, je volen profil sloupu HE 240B. Bohužel, ani tak se však nezmenší profil středního nosníku, a tak ve středu jsou použity přípoje podle obr. 14. Přípoj nosníku z profilu IPE 450 přenáší asi 40 % výpočtové momentové únosnosti nosníku. Toto řešení vede k dalším malým úsporám v ceně ocelové konstrukce ve srovnání s obr. 13. Je však důležité, že bylo dosaženo snížení výšky nosníku bez jakýchkoli složitých úprav, např. náběhů nebo výtuzných plechů.

Na obr. 15 vidíme řešení nosníku o více polích. Nosníky byly při rekonstrukci střechy objektu stykovány přes stěny průvlaků. Byla opět použita ocel třídy 37 (Fe 360), normové zatížení:

rovnoměrné
stálé – 6,895 kN/m²,
nahodilé – 0,82 kN/m²,

břemena na koncích nosníku – 2,362 kN.

Pro případ použití prostých nosníků (obr. 15a) rozhoduje pro návrh IPE 220 průhyby v poli, který je na obrázku označen tučně.

Dokonale vetknuté nosníky (obr. 15b) umožňují vynechat v konstrukci táhla, která vytvářejí krajní podpory, a redukovat profil nosníku na IPE 180. Přípoje nosníků přes průvlakly jsou však konstrukčně složité. Zobrazují se hodnoty momentů a průhybů vybrané jako maxima z jednotlivých kombinací zatížení pro daný průřez.

Přípoje navržené jako polotuhé (obr. 15c) umožňují využít stejný profil nosníku. Navržený přípoj má částečnou momentovou únosnost. Počáteční tuhost přípoje je 1 790 kNm/rad, sečná tuhost na mezi únosnosti je 796 kNm/rad a smyková výpočtová únosnost při plném zatížení ohybovým momentem je 31,7 kN. Únosnosti přípoje (14,9 kNm) nebylo v daném případě dosaženo, a tak lze využít pružné analýzy konstrukce. Tuhost přípoje byla ve

standardním programu pro konečné prvky reprezentována náhradním prutem délky 60 mm s momentem setrvačnosti

$$I_{\text{con}} = S_j \times L_r \quad IE = 796 \times 0,06 / (2,1 \times 10^8).$$

Počáteční tuhost byla použita pro posouzení mezního stavu použitelnosti, sečná tuhost pro posouzení mezního stavu únosnosti.

Závěry

Návrh rámu s poddajnými styčnicí umožňuje projektantovi větší svobodu ve volbě vstupních parametrů. Parametry styčnic lze uvažovat jako proměnné a optima lze dosáhnout pro každý dílčí projekt.

Pro vyztužené rámy přináší využití polotuhých styčnic menší profily nosníků a snížení ceny konstrukce. Použití nižších nosníků vede ke snížení konstrukční výšky spojené s dalšími úsporami.

Pro nevyztužené rámy lze použitím poddajných styčnic zjednodušit přípoje. Toto zjednodušení vede k výrazným úsporám při výrobě ocelové konstrukce.

Řešené příklady mohou nejlépe ukázat jednoduchost návrhu rámu s poddajnými styčnicí. Další informace lze nalézt v [1] a v publikacích ECCS.

Tento článek vznikl jako příspěvek komise pro navrhování přípojů Evropského sdružení výrobců ocelových konstrukcí TC10 pod vedením J.W.B. Starka a subkomise pro polotuhé přípoje TC10.2 pod vedením R. Zandoniniho.

Literatura

- [1] ENV 1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, 1992. Česká verze včetně Národního aplikačního dokumentu v tisku, 1993.
- [2] Technical Working Group 8.2. Analysis and design of steel frames with semi-rigid connections. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Brussels, Publication No. 67, 1992.
- [3] Technical Working Group 10.2. Moment-rotation characteristics for steel beam-to-column connections, European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Brussels (v tisku), 1993.
- [4] Bjorhovde, R. – Colson, A.: Economy of semi-rigid frame design, publikováno v Bjorhovde, R.-Colson, A.-Haaijer, J.W.B. (ed.) Connections in Steel Structures II, Behaviour, Strength and Design. American Institute of Steel Construction, 1992, s. 418–430.
- [5] Wald, F. – Sokol, Z.: Přesnost metody náhradních tuhostí při navrhování rámu s poddajnými styčnicí. Acta Polytechnica, 1991, č. 1, s. 19–30.
- [6] Wald, F.: Rámy s poddajnými styčnicí. Inženýrské stavby, 6/1990, s. 56–60.

Návrh patek ocelových sloupů podle Eurokódu 3

Ing. Jan SEIFERT
ČVUT – fakulta stavební
Praha

1. Úvod

V průběhu roku 1992 přijaly evropské země sdružené v CEN pro ocelové konstrukce ověřovací verzi společné evropské normy ENV 1993-1-1 [1], známé u nás více pod pracovním názvem Eurokód 3. V současné době se u nás připravuje národní aplikační dokument (ČNAD) [2], po jehož vydání již nic nebude bránit tomu, abychom i v naší praxi používali ČSN P ENV 1993-1-1, český překlad evropské normy, platný souběžně se starými ČSN. Nehledě na to, jakým způsobem se bude vyvíjet další normalizační činnost v rámci ČR, lze očekávat, že především ty projektové organizace, které chtějí pracovat pro zahraniční klientelu, si budou muset eurokódy osvojit.

Přitom je důležité, aby projektanti znali také hlavní odlišnosti normy ENV od ČSN a aby měli představu, které části jsou propracovanější, které vedou k hospodárnějším návrhům, či které jsou více konzervativní. V rámci programu Tempus, ve spolupráci s University of Wales, Cardiff, Università Degli Studi di Trento a Université de Liège, probíhají na katedře ocelových konstrukcí FSv ČVUT semináře a jsou vydávány publikace, které si kladou za cíl seznámit veřejnost s normou ENV a porovnat ji s ČSN 73 1401. Viz např. [2], [3], [4]. V tomto článku chceme upozornit na to, že na rozdíl od ČSN zahrnuje Eurokód 3 i některé speciální problémy, u nás normou neřešené. Podrobněji se zabývá kupříkladu návrhem styků ocelových konstrukcí. Příloha L [5] pak obsahuje ustanovení pro návrh patek sloupů, které se do jisté míry liší od našich současných zvyklostí a v některých případech dává

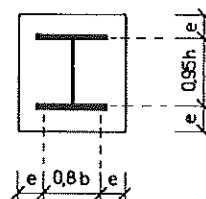
značně odlišné výsledky. Tento článek by na ně rád upozornil podrobněji.

2. Navrhování kloubových patek

Postup návrhu kloubových patek (patek nepřenášejících ohybové momenty) vychází z téhož principu, se kterým pracují projektanti u nás. Na základě výpočtové pevnosti betonu pod patkou f_b se určí nutná plocha patního plechu a jeho tloušťka se stanoví z požadavku dostatečné tuhosti patky pro rovnoměrný roznos sil. V naší praxi se pro tloušťku plechu používá vztah

$$t \geq 1,73 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\sigma_b}{R_d}}, \quad (1)$$

kde e značí vyložení plechu a σ_b je maximální tlakové napětí v betonu pod patkou. Pro obvyklý sloup tvaru I bývá vyložení uvažováno podle obr. 1. Eurokód 3 uvažuje účinnou

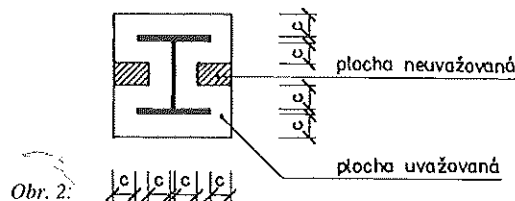


Obr. 1.

plochu patní desky podle obr. 2. Vztah mezi vyložním plechu a jeho tloušťkou je dán vzorcem

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{MO}}}, \quad (2)$$

kde f_j je výpočtová pevnost podlití a betonu v soustředěném tlaku,
 f_y/γ_{MO} - výpočtová pevnost oceli.



Obr. 2:

Pro součinitel materiálu $\gamma_{MO} = 1,15$ (podle návrhu ČNAD) vychází u oceli řady 37 (označované Fe 360) $f_y/\gamma_{MO} = 204,3$ MPa. Vztah (2) lze přepsat do nám bližšího tvaru

$$t \geq 1,73 \cdot c \cdot \sqrt{\frac{f_j}{f_y \cdot \gamma_{MO}}}, \quad (3)$$

ktej se od vztahu (1) liší pouze jiným uvážením vyložním plechu u otevřených průřezů sloupů a dosazením výpočtové pevnosti betonu v soustředěném tlaku místo u nás obvyklého skutečně dosaženého napětí v betonu. Tento rozdíl při plném využití betonu však téměř vymizí.

Na tomto místě je třeba poznamenat, že Eurokód 3 se nezabývá částmi patního plechu podepřenými po dvou, třech, či všech čtyřech stranách, které se vyskytují u vyztužených patek. I zde však lze obdobně předpokládat princip uvážování účinné plochy sestavené z pásů o šířce c po obou stranách všech částí profilu sloupu a výztuh.

Přes blízkost vztahů (1) a (3) představuje výpočet podle ENV výraznou změnu. Při stanovení výpočtové pevnosti podlití a betonu f_j se totiž využívá vliv koncentrace napětí, který hodnoty výpočtové pevnosti betonu a podlití výrazně zvyšuje. Tato pevnost je dána vztahem

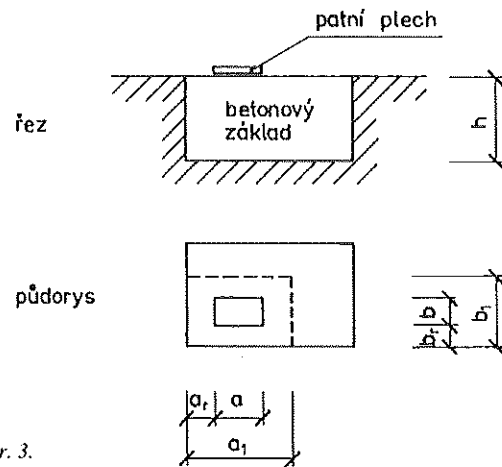
$$f_j = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd}, \quad (4)$$

kde β_j se bere hodnotou 2/3,
 k_j je součinitel koncentrace napětí,
 f_{cd} - výpočtová válcová pevnost betonu v tlaku.

Pro součinitel β_j se udává hodnota 2/3 za těchto předpokladů - charakteristická pevnost podlití nesmí být menší než 0,2násobek charakteristické pevnosti betonu a tloušťka podlití nesmí přesahovat 0,2násobek nejmenšího vodorovného rozměru patního plechu. Zvláště druhá podmínka nebývá u nás občas u malých patek dodržena. Případy, kdy tyto podmínky nejsou splněny, se norma vůbec nezabývá, ale lze je řešit stanovením únosnosti podlití a betonu zvlášť a přesnějším uvážením interakce obou materiálů. Výpočtová pevnost betonu v tlaku f_{cd} je stanovena z charakteristické válcové pevnosti betonu f_{ck} jejím vydělením součinitelem materiálu γ_c . Součinitel koncentrace napětí k_j lze brát konzervativně hodnotou 1,0. Výpočet pak dává výrazně horší výsledky než u nás běžné postupy. Eurokód kromě tohoto konzervativního odhadu však umožňuje brát součinitel k_j přesněji podle vzorce

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}}, \quad (5)$$

kde a, b jsou rozměry patního plechu, a_1, b_1 jsou rozměry účinné plochy podle obr. 3.



Obr. 3:

Za a_1 , resp. b_1 se vezme nejmenší z hodnot:

$$\begin{aligned} a_1 &= a + 2a_r & b_1 &= b + 2b_r \\ a_1 &= 5a & b_1 &= 5b \\ a_1 &= a + h & b_1 &= b + h \\ a_1 &= 5b_1 & b_1 &= 5a_1 \end{aligned}$$

avšak ne méně než a , resp. b .

Ukazuje se, že hodnota součinitele koncentrace napětí z (5) se pohybuje v intervalu od 1,0 do 5,0 s tím, že běžné hodnoty vycházejí spíše v horní polovině intervalu a i samotná krajní hodnota 5,0 je reálná. V návrhu patky se uvážením koncentrace napětí projeví tím, že je možné redukovat nutnou dotykovou plochu ($\beta_j k_j$)krát. Ve skutečnosti je však ještě třeba vzít do úvahy rozdílné uvážování charakteristik betonu a součinitelů spolehlivosti. Například pro beton B15 (značený podle ENV C12/15) může být maximální hodnota f_j rovna 26,67 MPa. To představuje proti výpočtové pevnosti podle ČSN 73 1201 (8,5 MPa) zvětšení pevnosti 3,14krát, pro málo vyztužený beton ($\gamma_{bs} = 0,8$) až 3,92krát.

Uvážením koncentrace napětí ve svém důsledku více ovlivní návrh půdorysných rozměrů patního plechu než jeho tloušťku. Dosadíme-li totiž do (3) za f_j ze (4) a za c hodnotu ($\sqrt{f_j} \cdot c$), což odpovídá zmenšení nutné plochy f_j krát (platí pouze pro otevřené profily sloupů), dojde k eliminaci proměnné f_j v (3).

Lze tedy říci, že norma ČSN P ENV 1993-1-1 umožní téměř čtyřikrát redukovat nutnou plochu patního plechu, a tím i celkovou spotřebu oceli. Pro otevřené profily sloupů přitom zůstává tloušťka patního plechu v podstatě stejná jako při návrhu podle našich zvyklostí. Není zde umožněna redukce tloušťky vlivem nevyužití pevnosti betonu, jako tomu je u vzorce (1), ale zde příliš velká rezerva v běžných případech nebývá. Vlivem různých materiálových charakteristik však dává vztah (3) pro plné využití betonu pod patkou hodnoty tloušťky plechu přibližně o 10 % nižší než vztah (1) (při předpokládané hodnotě $\gamma_{MO} = 1,15$ a $\gamma_c = 1,5$). U sloupů s uzavřeným profilem se s uvážením vlivu koncentrace napětí nutná tloušťka patního plechu ještě dále zmenšuje, neboť jeho vyložení klesá se zmenšujícími se celkovými rozměry mnohem rychleji než u sloupů s otevřeným průřezem. Ve vztahu (3) pak nedojde k plné eliminaci proměnné f_j .

Jak z výše uvedeného vyplývá, můžeme od návrhu kloubových patek podle přílohy L normy ČSN P ENV 1993-1-1 očekávat ve většině případů výraznou úsporu materiálu (tab. 1 a tab. 2).