

NAVRHOVÁNÍ RÁMOVÝCH ROHŮ S POUŽITÍM MODELŮ NÁHRADNÍ PŘÍHRADOVINY ■ DESIGN OF FRAME CORNERS USING STRUT-AND-TIE MODELS

Jiří Šmejkal, Jaroslav Procházka

Článek uvádí modely náhradní příhradoviny pro analýzu oblastí rámových rohů a styčniců návrhem příslušné výztuže. Modely náhradní příhradoviny jsou uvedeny pro rámové rohy s kladným a záporným působením ohybového momentu, pro rámové rohy s rozdílnou výškou příčle a sloupu, pro tupé a ostré rámové rohy a rámové styčnice krajních a vnitřních spojitých sloupů s příčlemi podle ČSN EN 1992-1-1 a DIN 1045-1. Na základě nelineárních analýz, praktických zkušeností a závěrů experimentů jsou uvedena doporučení pro návrh těchto poruchových oblastí. ■ The article introduces strut-and-tie models for analysis of regions of frame corners and joints with design of their reinforcement. The strut-and-tie models are described for frame corners with opening and closing moment, for frame corner with different height of section, for frame corners with the obtuse angle and acute angle, for frame joints of sections continuous inside and outside columns and beams according to ČSN EN 1992-1-1 and DIN 1045-1. Based on the non-linear analyses, experience and measurements, the recommendations for design of D-regions of frame corners and joints are given.

RÁMOVÉ ROHY

Rámové rohy jsou nejčastější poruchové oblasti monolitických železobetonových konstrukcí. V místě spojení sloupu s průvlakem neplatí Bernoulliova hypotéza zachování rovinnosti průřezu po deformaci. Pro návrh oblastí používáme modely náhradní příhradoviny. Rámové rohy se nevyskytují jen v místech napojení sloupů na průvlaky, setkáváme se s nimi u všech konstrukcí, ve kterých se mění střednicová rovina. Jedná se např. o styky stěn železobetonových nádrží. V prefabrikovaných konstrukcích jsou rámové rohy např. u zalomených schodišťových ramen (obr. 1).

Z hlediska působení vnitřních sil v oblasti rozlišujeme rámové rohy s kladným a záporným působením ohybového momentu. Záporný ohybový moment rámový roh uzavírá – vnější líc prvku je tažen a vnitřní líc tlačěn (obr. 2). Kladný ohybový moment rámový roh rozevívá (obr. 7). Velikost poruchové oblasti lze odhadnout na základě Saint Venantovy hypotézy, podle které je délka poruchové oblasti přibližně rovna výšce prvku.



V normě ČSN EN 1992-1-1 [1] jsou v příloze J zobrazeny základní modely náhradní příhradoviny. Podrobnější pravidla pro návrh rámových rohů jsou v předpisu DAfStb Heft 525 [3] a Beton-Kalender 2001 [7]. Německé předpisy sice vycházejí z DIN 1045-1 [2], v oblasti tvorby modelů náhradní příhradoviny jsou však pravidla uvedená v [1] stejná. Následné posouzení jednotlivých prvků modelu jako jsou styčnice, tlačené a tažené pruty je nutné provést v souladu s ČSN EN 1992-1-1 [1].

Modely náhradní příhradoviny vycházejí z možností vyztužení oblasti a průběhu tlakových napětí v betonové části průřezu. Při návrhu jednotlivých prvků náhradní příhradoviny se vychází z únosnosti výztuže a betonu. Přitom u táhel je nutné vždy překontrolovat dostatečné zakotvení táhla ve styčnici. V betonových vzpěrách je nutné navrhnout výztuž na přenesení vznikajících příčných tahů [4]. Pro zjednodušení lze uvažovat, že v betonové vzpěře vznikají příčné tahové síly o velikosti cca $0,22 F_c$, které působí kolmo na podélnou osu vzpěry vždy ve čtvrtinách délky vzpěry (F_c je tlaková síla v betonové vzpěře – podrobněji v [7]). V následujícím nejsou uvedeny postupy posouzení jednotlivých prvků modelu náhradní příhradoviny – styčniců a prutů. Jsou představeny nejčastější modely jednotlivých typů rámových rohů s kritérii pro jejich vyztužení. Návrhové postupy pro styčnice a pruty modelů náhradní příhradoviny jsou podrobně rozebrány v předcházejících článcích [4], [5], [6], [8] a [9].

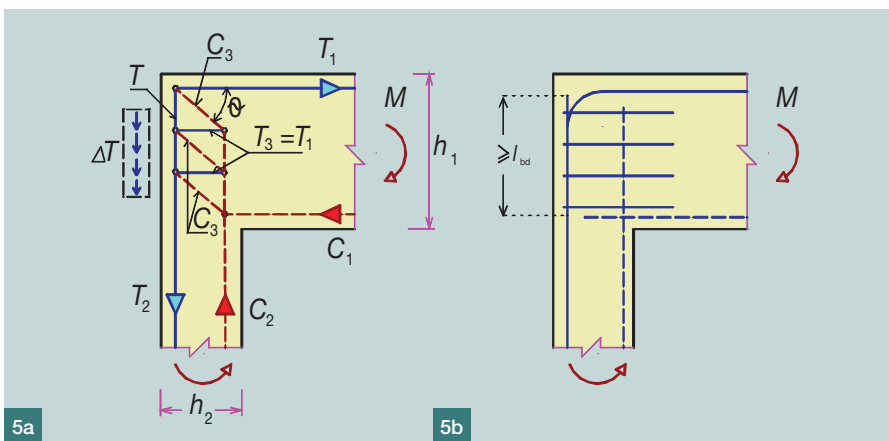
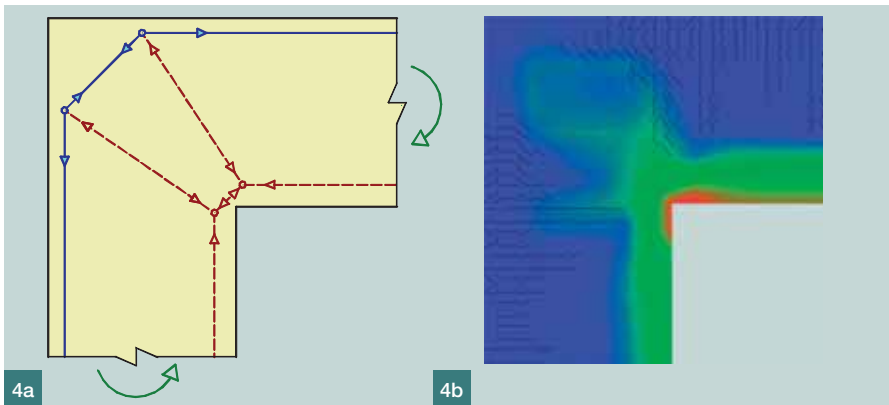
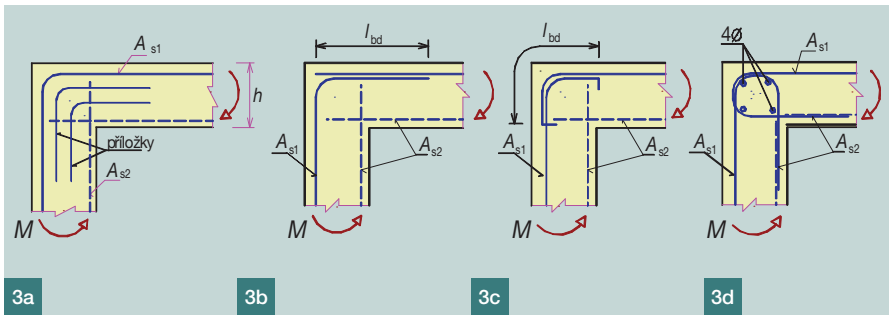
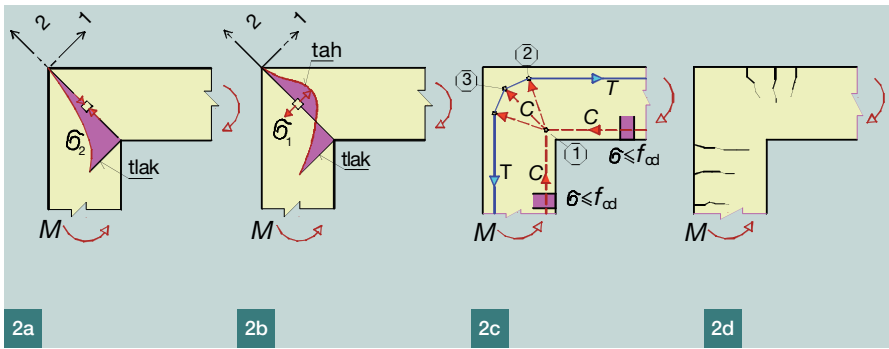
NÁVRH RÁMOVÝCH ROHŮ SE ZÁPORNÝM PŮSOBENÍM OHYBOVÉHO MOMENTU

Při působení záporného ohybového momentu vzniká při vnějším líci rohu tah, který je přenášen hlavní výztuží. Tahová výztuž v rohu mění směr a přitom vzniká diagonální betonová vzpěra. Průběh hlavních napětí v rámovém rohu je na obr. 2a, b. Základní model náhradní příhradoviny je na obr. 2c. Model lze použít, pokud se od sebe průřez sloupu h_2 a výška příčle h_1 výrazně neliší ($2/3 < h_2 / h_1 < 3/2$).

Při vyčerpání únosnosti správně vyztuženého průřezu může dojít k následujícím poruchám:

- vyčerpání únosnosti tahové výztuže,
- porušení betonu v tlaku,
- porušení kotevní oblasti výztuže příčnými trhlinami.

Tahová výztuž musí být navržena s dostatečným poloměrem vnitřního zakřivení, aby se zabránilo otláčení betonu pod zakřivením výztuže a vzniku příčných tahů, které jsou nebezpečné, zejména je-li výztuž umístěna poblíž líce betonu. Základní příklady vyztužení jsou na obr. 3. U rámového rohu je obvykle nutné řešit i stykování výztuže v pracovní spáře, které bývá pod dolním lícem příčle. U rohu rámové konstrukce platí zásada, že ohnutá výztuž ze sloupu může být využita pro přenesení záporného ohybového momentu v příčli – průvlak, ale nesmí zasahovat z výrobních důvodů příliš daleko od vnitřního líce sloupu. Výztuž z příčle – průvlak nemůže zasahovat příliš do sloupu (jen na úroveň pracovní



Obr. 1 Zalomená schodišťová deska – rámové rohy s kladným i záporným pôsobením momentu ■ Fig. 1 Cranked stair slab – frame corners with opening and closing moment

Obr. 2 Rámový roh se záporným působením ohybového momentu, a) a b) průběh hlavních napětí v oblasti c) model náhradní příhradoviny d) průběh trhlin ■ Fig. 2 Frame corner with closing moment, a) and b) distribution of main stress in region c) S&T model d) distribution of cracking in region

Obr. 3 Příklady vyztužení oblasti rámového rohu ■ Fig. 3 Detailing of reinforcement of frame corner region

Obr. 4 Nelineární analýza rámového rohu se záporným ohybovým momentem ■ Fig. 4 Nonlinear analysis of frame corner with closing moment

Obr. 5 Rámový roh s rozdílnou výškou příčle a sloupu, a) model náhradní příhradoviny b) princip vyztužení oblasti ■ Fig. 5 Frame corner with different section height of beam and column, a) Strut and Tie model b) detailing of reinforcement

spáry), a proto bývá využita jen k přenesení záporného ohybového momentu průvlaku. Zápornou výztuž průvlaku proto kotvíme za úhlopříčkou rámového rohu. Při stykování tahové výztuže přesahem je nutné podél stykované výztuže doplnit příčnou výztuž podle [1]. Pro napojení hlavní výztuže rohu lze použít i mechanické spojky výztuže [10]. Vyztužení smyčkami podle obr. 3d se používá především v rozích železobetonových stěn. Pokud jsou výšky příčle h_1 a průřezu sloupu h_2 přibližně stejné ($2/3 < h_2 / h_1 < 3/2$), není nutné podle [1] posouzení třmínkové výztuže, pokud je ohnuta veškerá horní tahová výztuž průvlaku kolem rohu. Vyztužení podle obr. 3b, c je vhodné pro mechanický stupeň vyztužení $\omega = 0,2$ až $0,25$ a pevnostní třídu betonu C25/30 a vyšší (mechanický stupeň vyztužení je $\omega = (A_s f_{yd}) / (A_c f_{cd})$). Vyztužení podle obr. 3d je vhodné pro napojení stropní desky na železobetonovou stěnu. Spojení je vhodné pro stupeň vyztužení podélnou výztuží $\rho_L \leq 0,4 \%$ s průměrem podélné výztuže $\phi_L \leq d/20$, kde d je účinná výška průřezu desky.

Pro návrh oblasti je také možné využít nelineární analýzu. Na obr. 4 je srovnání nelineární analýzy (programem ATENA 2D) s běžným modelem náhradní příhradoviny.

Je-li výška příčle h_1 větší než rozměr průřezu sloupu h_2 ($h_2 / h_1 \leq 2/3$), je nutné upravit model náhradní příhradoviny v souladu s obr. 5. Pro sklon tlačné betonové diagonály θ platí omezení $0,4 \leq \tan \theta \leq 1$. Kotvení délka táhla T_2 podle obr. 5 a [1] má být navržena minimálně na sílu $\Delta T = T_2 - T_1$.

Změna směru hlavní tahové výztuže vyvolává příčně k rovině rámu tahové síly. I na tyto síly je nutné posoudit třmínkovou výztuž. Velikost příčných tahových sil závisí především na poloměru ohybu hlavní tahové výztuže. Pokud je uvažován konstrukčně minimální poloměr ohybu tahové výztuže, musí být příčné tahové síly zachyceny příčnou výztuží (třmínky) po vzdálenostech cca $5 d_s$ (d_s je průmět výztužného prutu hlavní tahové výztuže). Proto je vhodné ohýbat hlavní tahovou výztuž s větším vnitřním průměrem ϕ_m . Doporučená hodnota průměru hlavní tahové výztuže podle [7] je $\phi_m = 2 \cdot 0,6 h_2 \leq 1,2 h_1$. Uvnitř rámového rohu je doporučeno provést drobné zesílení rohu, které částečně redukuje špičku tlakového napětí.

U rámových rohů s T průřezů nebo u komůrkových průřezů je nutné při

návrhu oblastí vždy uvažovat se způsobem přenosu vnitřních sil mezi stojinou průřezem a tlačnou nebo taženou pánsnicí průřezem – blíže [7]. Tím se poruchová oblast rohu zvětšuje. Pro modelování přenosu sil z pánsnic do stojiny průřezem používáme také náhradní příhradovinu.

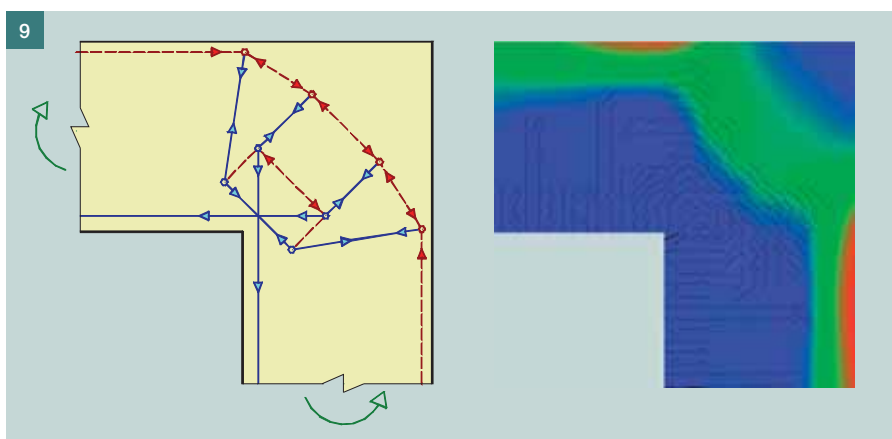
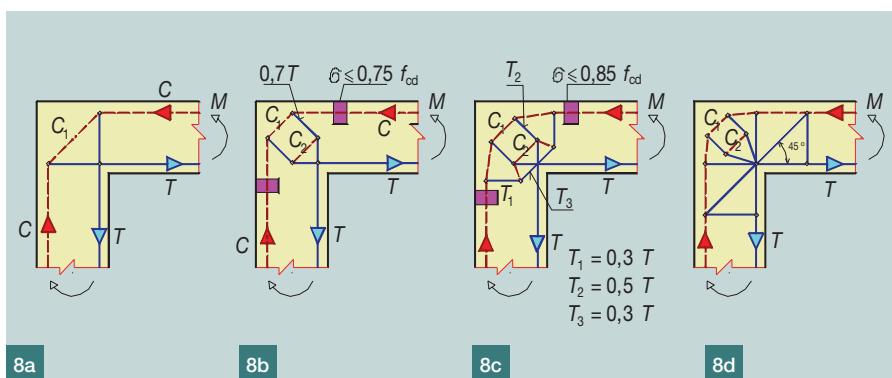
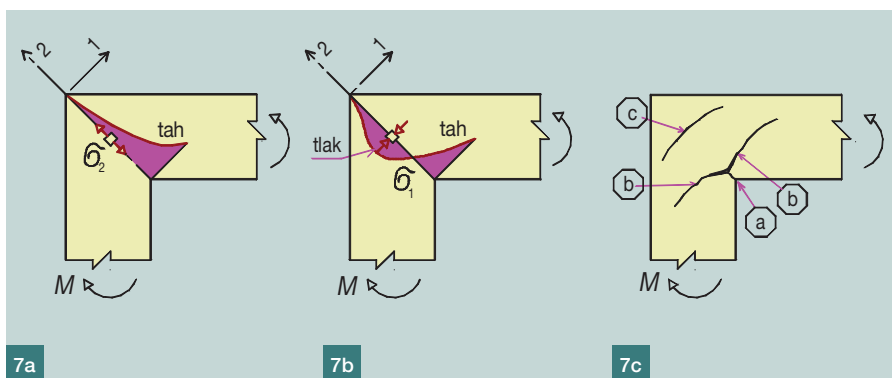
Příklad nesprávného řešení rámového rohu je na obr. 6. Z obrázku je patrné nesprávné uložení výztuže rámového rohu, k porušení došlo vlivem nedostatečné únosnosti rámového rohu v důsledku chybného uložení výztuže.

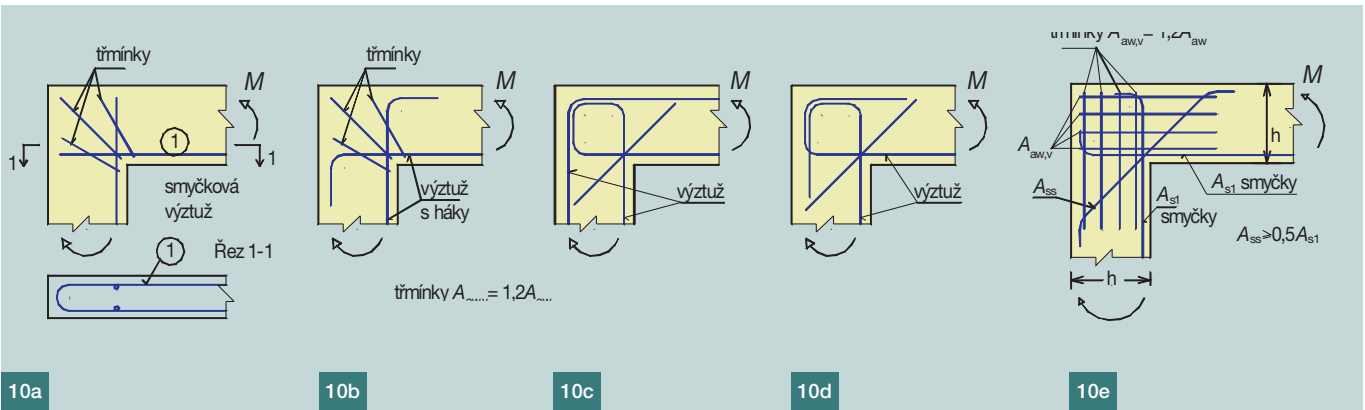
NÁVRH RÁMOVÝCH ROHŮ S KLADNÝM PŮSOBENÍM OHYBOVÉHO MOMENTU

Kladný ohybový moment otevírá rámový roh. Vnitřní líc rohu je tažen a vnější líc rohu je tlačén. Průběh hlavních napětí v rámovém rohu je na obr. 7a, b.

Při zatížení rámového rohu kladným momentem vzniká prakticky nezávisle na množství výztuže v průřezu první trhlinka, která vychází přímo z rámového rohu a má diagonální směr (trhlinka a podle obr. 7c). Vzniku trhliny nelze zabránit vložením výztuže, protože výztuž musí splňovat požadavky betonového krytí podle [1] a první trhlinka vzniká v krycí vrstvě. Další rozvoj trhliny a následně vznik dalších trhlin je již závislý na vyztužení D-oblasti. Při malém nebo nesprávném vyztužení oblasti navazuje na trhlinku a šikmá poruchová trhlinka b, která má velmi progresivní rozvoj a vede k porušení oblasti.

Pokud se vhodným umístěním výztuže potlačí vznik trhliny b, vznikne v tlačené části průřezu poruchová trhlinka c. Trhlinka c způsobí oddělení části tlačené části průřezu. Tím se zmenší rameno vnitřních sil (sníží únosnost průřezu) a dochází k porušení této oblasti. Ovinutím vzpěry (C_1, C_2 na obr. 8) třmínky se oslabí vliv trhliny c, k oddělení části tlačného betonu může pak dojít v betonové krycí vrstvě a v betonu mezi výztuží. Vhodným umístěním výztuže a jejím dostatečným množstvím lze rámový roh vyztužit tak, že porucha nastane vně D-oblasti. Proto, aby bylo možné průřez vyztužit, musí být průřez dostatečně robustní. O využití tahové výztuže při vnitřním líci rohu prakticky vždy rozhoduje její možné zakotvení v tlačené části průřezu. U subtilních konstrukcí je dostatečné zakotvení tahové výztuže velmi problematicky proveditelné. K zakotvení lze s výhodou použít i přivařené kotevní desky nebo speciální mechanické kotevní spojky [10].





Obr. 6 Kolaps rámového rohu při napojení schodišťového ramene na mezipodestu | Fig. 6 Collapse of frame corner in connection of flight to stair landing

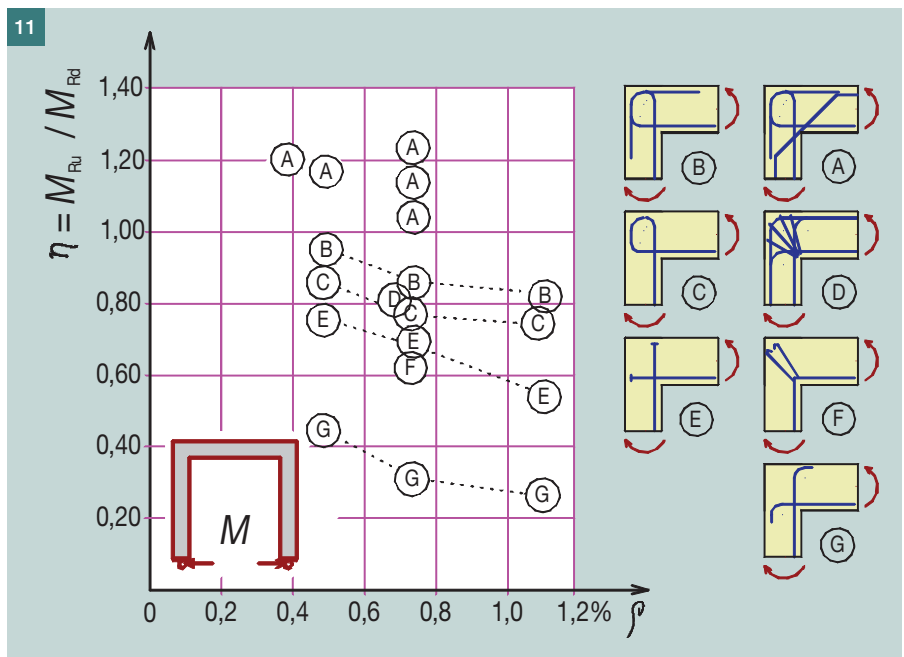
Obr. 7 Rámový roh s kladným působením ohybového momentu, a) a b) průběh hlavních napětí c) průběh trhlin v oblasti | Fig. 7 Frame corner with opening moment, a) and b) distribution of main stress c) distribution of cracking in region

Obr. 8 Modely náhradní příhradoviny rámového rohu s kladným ohybovým momentem | Fig. 8 Strut and Tie models of frame corner with opening moment

Obr. 9 Nelineární analýza oblasti rámového rohu s kladným ohybovým momentem | Fig. 9 Nonlinear analysis of frame corner with opening moment

Obr. 10 Příklad vyztužení oblasti rámového rohu | Fig. 10 Detailing of reinforcement of frame corner

Obr. 11 Srovnání účinnosti vyztužení rámového rohu [11] | Fig. 11 Comparison of detailing efficiency of frame corner accordance to [11]



Na obr. 8 jsou nejčastější modely náhradní příhradoviny poruchové oblasti rámového rohu.

Nejjednodušší model na obr. 8a je vhodný pouze pro málo zatížené a robustní konstrukce. Při vyšším využití rámového rohu je možné dostatečné zakotvení tahové výztuže při vnitřním lici jen pomocí přivařených kotevních desek nebo pomocí mechanických kotevních spojek [10]. Zpřesněním modelu rámového rohu je možné více využít beton v tlacené vzpěře.

Pro model na obr. 8b je maximální namáhání v betonové vzpěře $0,75 f_{cd}$.

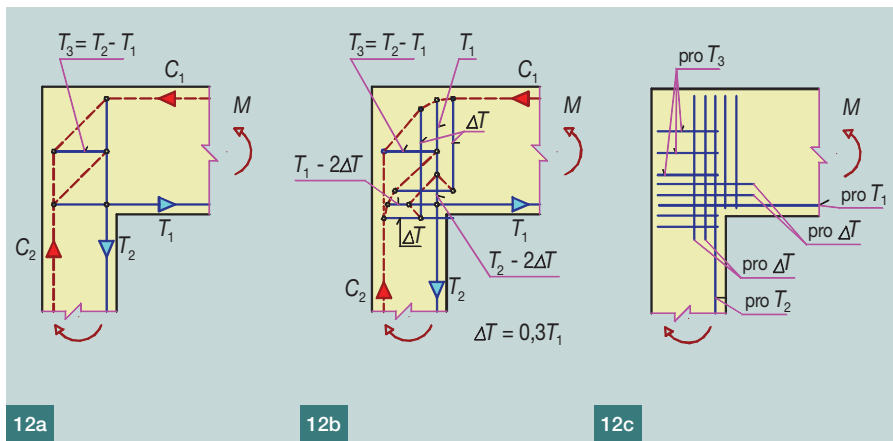
Pro přesnější modely na obr. 8c a d, které zároveň představují optimální modely oblasti, je maximální namáhání betonové vzpěře $0,85 f_{cd}$. Vyšší namáhání v betonové vzpěře je možné pouze, pokud je výška tlacené oblasti x průřezu před rámovým rohem omezena vztahem $x \leq d/4$. Na obr. 8c jsou stanoveny i velikosti vznikajících příčných tahů T_1 až T_3 .

Na obr. 9 je srovnání nelineární analýzy rámového rohu s kladným působení

ním ohybového momentu s modelem náhradní příhradoviny podle obr. 8c.

Na obr. 10 jsou příklady vyztužení oblasti. Největším problémem při vyztužování oblasti je možnost dostatečného zakotvení tažené výztuže při vnitřním lici rohu. Tahovou výztuž je třeba zakotvit v tlaceném betonovém pásu při vnějším lici. Výška tlaceného pásu je relativně malá pro dostatečné zakotvení výztuže. Proto se rámové rohy vyztužují smyčkami výztuže při taženém lici rohu ve tvaru podle obr. 10a a 10e. Smyčky kolmé na tažený líc rohu podle obr. 10c, d jsou vhodné spíše pro vyztužení rohů stěn. Ve vyztužení oblasti má velký vliv na únosnost šikmá výztuž, která nejúčinněji zabraňuje rozvoji prvotní poruchové trhliny a (obr. 7c). Ze srovnání na obr. 11 vyplývá, že je možné vyztužit rámový roh tak, aby k vyčerpání únosnosti průřezu došlo mimo poruchovou oblast rohu. Na obr. 11 je porovnání skutečné únosnosti (získané z experimentů [11]) rámového M_{Ru} a vypočítané únosnosti rámového rohu M_{Rd} (únosnost je stanovena jako

pro stejně vyztuženou B-oblast) v závislosti na způsobu vyztužení rámového rohu. V obr. 11 je na svislé ose vynesena poměr $\eta = M_{Ru} / M_{Rd}$, na vodorovné ose procento vyztužení ρ průřezu rámového rohu. Z obr. 11 je patrné, že se zvyšujícím se vyztužením se u všech modelů snižuje skutečná únosnost průřezu M_{Ru} ve srovnání s návrhovou únosností M_{Rd} . Šikmá výztuž (model A) umožňuje plnohodnotné navrzení výztuže rámového rohu (do mechanického stupně vyztužení $\omega = (A_s f_{y,d}) / (A_c f_{c,d}) \leq 0,2$ podle [3]). Místo šikmé výztuže je možné doplnit k tahové výztuži příložky o ploše rovné 50 % staticky nutné tahové výztuže. Pokud pro (geometrický) stupeň vyztužení platí $\rho \leq 0,4 \%$, není nutné posilovat smyčkové vyztužení rohu podle obr. 10d příložkami nebo šikmou výztuží (model B). Model vyztužení G má takřka třetinovou únosnost vzhledem k nedostatečnému zakotvení tahové výztuže a v průřezu zcela chybí výztuž zabraňující vzniku poruchové trhliny b a c podle obr. 7c. V typech vy-



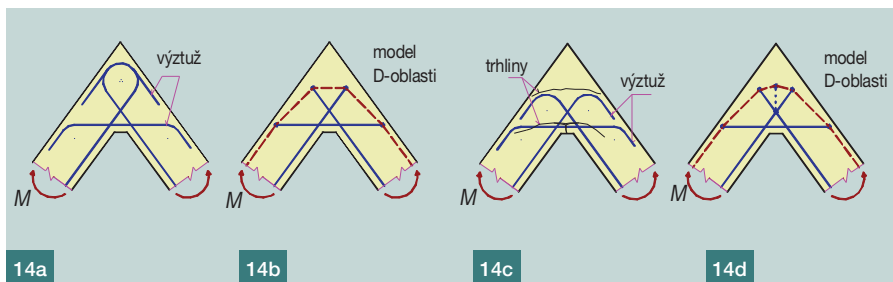
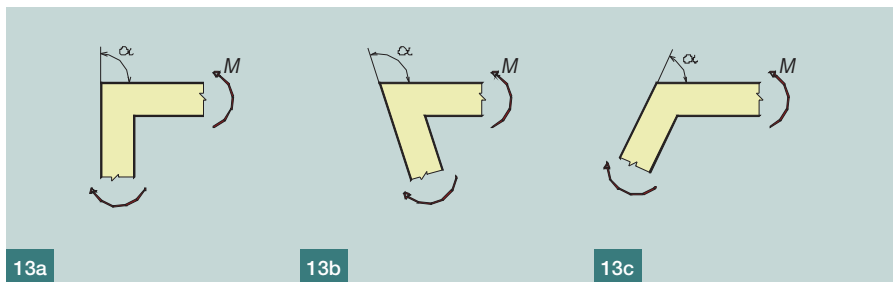
Obr. 12 Rámový roh s větší výškou přičle než sloupu ■ Fig. 12 Frame corner with height of beam greater than height of column

Obr. 13 Označení rámových rohů, a) pravoúhlý rámový roh, b) tupý rámový roh, c) ostrý rámový roh ■ Fig. 13 Description of frame corner, a) rectangular frame corner b) open frame corner, c) closed frame corner

Obr. 14 Příklad typických rámových rohů, vyztužení oblasti a odpovídající návrhový model ■ Fig. 14 Example of open frame corners, detailing of reinforcement and S&T model

Obr. 15 Příklad řešení ostrých rámových rohů, vyztužení a odpovídající modely náhradní příhradoviny ■ Fig. 15 Examples of analysis of closed frame corners, reinforcement and corresponding Strut and Tie models

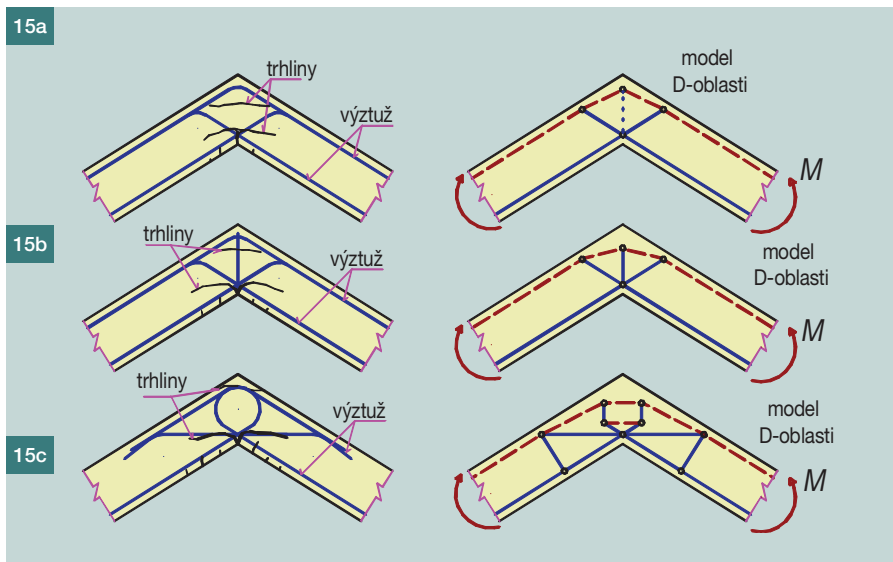
Obr. 16 Poruchová oblast rámových rohů spojitého nosníku se sloupem ■ Fig. 16 D-region of frame corners of continuous beam with column



Obr. 14 Příklad typických rámových rohů, vyztužení oblasti a odpovídající návrhový model ■ Fig. 14 Example of open frame corners, detailing of reinforcement and S&T model

Obr. 15 Příklad řešení ostrých rámových rohů, vyztužení a odpovídající modely náhradní příhradoviny ■ Fig. 15 Examples of analysis of closed frame corners, reinforcement and corresponding Strut and Tie models

Obr. 16 Poruchová oblast rámových rohů spojitého nosníku se sloupem ■ Fig. 16 D-region of frame corners of continuous beam with column



Obr. 15 Příklad řešení ostrých rámových rohů, vyztužení a odpovídající modely náhradní příhradoviny ■ Fig. 15 Examples of analysis of closed frame corners, reinforcement and corresponding Strut and Tie models

Obr. 16 Poruchová oblast rámových rohů spojitého nosníku se sloupem ■ Fig. 16 D-region of frame corners of continuous beam with column

ztužení E, F a G není žádná výztuž zachycující vznikající příčné tahy v betonové vzpěře. Proto dochází po vzniku první trhliny k velmi rychlému porušení celého průřezu. Průřez nemá dostatečnou duktilitu.

U rámových rohů je nutné vždy navrhnout výztuž pro zachycení příčných tahů v betonové vzpěře ve formě tří až

čtyř smyček nebo použít vícestržné tržmínky (např. obr. 10a, b, e). Při posuzování betonové vzpěře je možné započítat pouze průřez betonové vzpěře, který je ovinut výztuží. V betonové vzpěře při vnějším líci nemůže být započtena betonová krycí vrstva do celkové plochy vzpěře, protože při silnějším namáhání může dojít k jejímu odtržení. Přes-

něji by se neměla uvažovat krycí vrstva včetně tloušťky betonu v úrovni příčné výztuže.

U rámových rohů s kladným ohybovým momentem je hlavní tahová výztuž při vnitřním líci rohu. Při vyčerpání únosnosti průřezu může dojít k následujícím poruchám:

- vyčerpání únosnosti tahové výztuže,
- porušení betonu v tlaku vznikajícím příčným tahem,
- porušení betonu v tlaku odtržením betonového krytí,
- porušení kotevní oblasti výztuže.

Předcházející modely vycházejí z předpokladu, že výška průřezu před a za rámovým rohem jsou přibližně stejné. Pokud je výška průřezu přičle výrazně větší než rozměr průřezu sloupu, je nutné upravit model náhradní příhradoviny podle obr. 12. Spolu s tím je nutné doplnit výztuž podle principů zobrazených na obr. 12c.

Rámové rohy nemusí mít pravý úhel. Podle obr. 13 rozeznáváme rámové rohy tupé a ostré. Ostré rámové rohy jsou např. u zalomených schodišťových ramen (prefabrikovaných ale i monolitických). Tupé rámové rohy jsou méně časté. Optimální vyztužení tupého rámového rohu je na obr. 14a a odpovídající model oblasti na obr. 14b. Pokud není prostor k vytvoření smyček, je možné vyztužit podle obr. 14c. Tento způsob vyztužení je však možný pouze pro velmi málo namáhané rámové rohy, protože diagonální tah v rohu přebírá beton (tečkovaně

v obr. 10d). Obdobná situace je i u ostrých rámových rohů (obr. 15). U ostrého rámového rohu vyztuženého podle 15a (běžné u zalomených schodišťových ramen) přenáší diagonální tah v rohu beton (na rozdíl od běžných předpokladů tvorby modelů poruchových oblastí, kde nepředpokládáme působení betonu v tahu). Únosnost rámového rohu je výrazně omezena únosností tažené betonové diagonály. Poruchová trhlinka má průběh jako trhlinka *b* na obr. 7. Vložíme-li do rohu třmínek, únosnost rohu se výrazně nezvýší. Poruchová trhlinka se přesouvá do polohy *c* dle obr. 7 a výrazně zmenšuje výšku průřezu. Optimálním vyztužením je zakotvení tahové výztuže smyčkami a vložením šikmé výztuže podle obr. 15c.

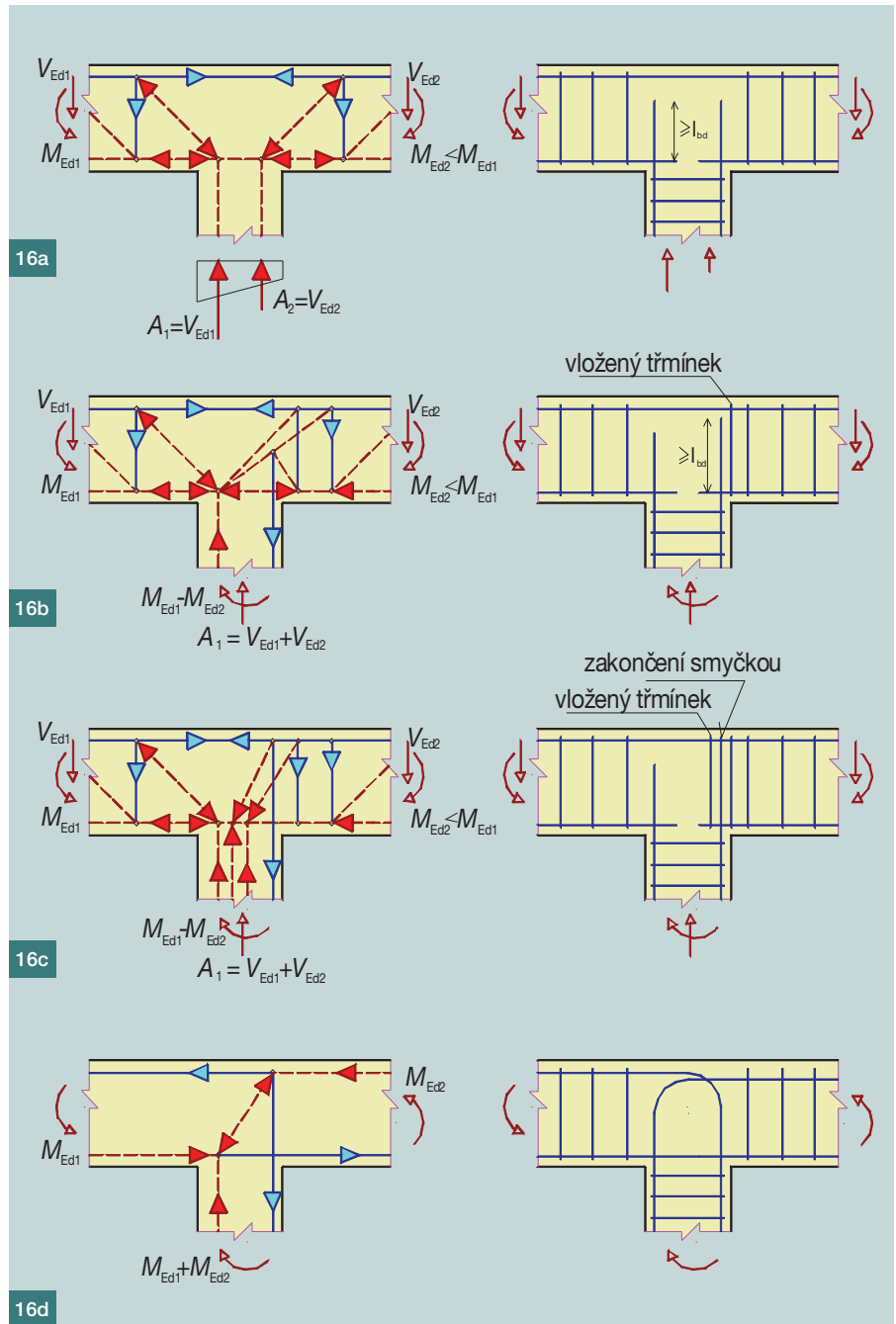
RÁMOVÉ STYČNÍKY

Sloup se spojitou příčlípí

Rámové rohy jsou i v napojení sloupu na průběžný trám (příčel). Na obr. 16 jsou modely náhradní příhradoviny pro spojitou rámovou příčel při různých kombinacích vnitřních sil. V modelu je schematicky nakresleno doporučené vyztužení oblasti. Je-li styk sloup – příčel celý tlačенý (obr. 16a), postačuje zakotvit výztuž sloupu na kotevní délku v průřezu příčle. Pro zakotvení pozitivně působí tlačенá oblast průřezu příčle. Pokud ve styku sloupu a příčle vznikají tahy, je nutné upravit model náhradní příhradoviny podle dalších obrázků 16b až 16d. Pro zakotvení tažené výztuže sloupu bývá výška průřezu nedostatečná a je nutné zakotvit výztuž smyčkou nebo ohybem 16c, d, případně lze použít přivařených kotevních desek nebo speciálních mechanických kotevních spojek [10]. Při ohybu tažené výztuže vznikají příčné tahy, které je nutné zachytit třmínky příčle – doplněním třmínků i do oblasti přímo nad sloupem. Při velkém momentovém namáhání styku sloupu s příčlípí (obr. 16d) je možné dostatečné zakotvení výztuže ohnutím výztuže do tažené příčle při jejím horním líci.

Průběžný sloup s příčlípí

Pro rámové rohy krajních průběžných sloupů obecně platí, že tlačенá a tažená oblast sloupu se pod rámovým rohem mění (obr. 17 a 18). Změna vyvolává vodorovné tahy ve střední části výšky příčle (označené *T*). Vzniklé tahy je nutné zakotvit v oblasti, kde je zároveň kotvena tahová výztuž příčle.



Podrobnější model na obr. 18 lépe dokládá vznik tažené oblasti přibližně ve středě výšky příčle. Vodorovná výztuž navržená na vzniklé tahy *T* zároveň musí přenést i vznikající příčné tahy z tlačенé betonové diagonály *C*. Podle obr. 17a v rámovém rohu působí posouvající síla *V_{jh}*. Při posouzení únosnosti průřezu se obdobně jako u nosíkových průřezu rozlišuje průřez bez třmínkové (smyčkové) výztuže a s třmínkovou výztuží [3].

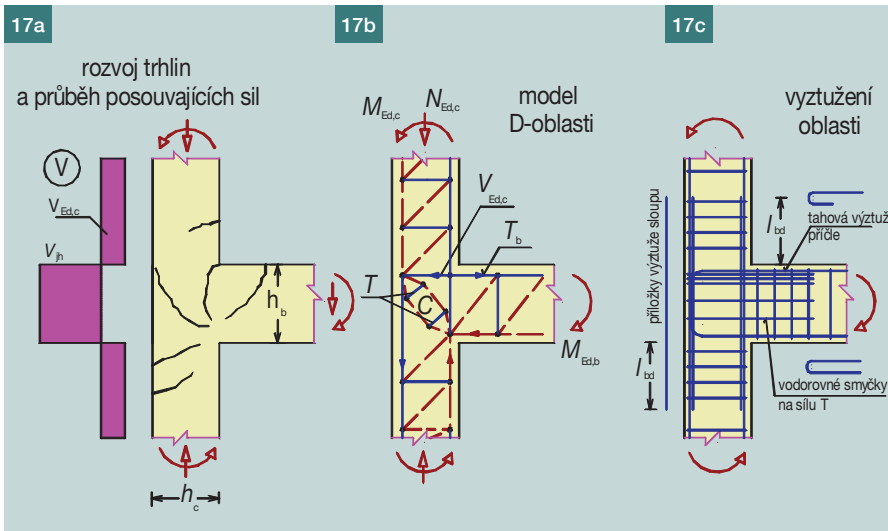
- Únosnost styčníku bez třmínkové výztuže $V_{j,cd} = 1,4(1,2 - 0,3(h_b/h_c))b_{eff}f_{cd}^{1/4}$.
 - Únosnost styčníku s třmínkovou výztuží $V_{j,Rd} = V_{j,cd} + 0,4 A_{sj,eff} f_{yd} \leq 2V_{j,cd}$ a současně $V_{j,Rd} < \gamma_N 0,25 f_{cd} b_{eff} h_c$.
- Význam jednotlivých proměnných: h_c je výška průřezu sloupu, h_b výška prů-

řezu nosníku/příčle, $A_{sj,eff}$ plocha třmínků v oblasti mezi tlačенou oblastí příčle a horním lícem styčníku, b_{eff} efektivní šířka styčníku $b_{eff} = (b_c + b_b)/2 \leq b_c$, γ_N vliv normálové síly ve sloupu a štíhlosti styčníku $\gamma_N = \gamma_{N1} \gamma_{N2}$, kde $\gamma_{N1} = 1,5(1 - 0,8 (N_{Ed,c} / (A_{c,c} f_{ck}))) \leq 1$ a $\gamma_{N2} = 1,9 - 0,6h_b / h_c \leq 1$.

Doporučené vyztužení je na obr. 17c.

Průběžný sloup se spojitou příčlípí

Pro rámové rohy s průběžnou příčlípí i průběžným sloupem jsou modely náhradní příhradoviny znázorněny na obr. 19. Navržená výztuž podle obr. 19a není vhodná. Výztužné pruty sloupu jsou kotveny přímo v oblasti rámového rohu. V diagonálách rámového rohu se koncentrují velké síly zvětšené

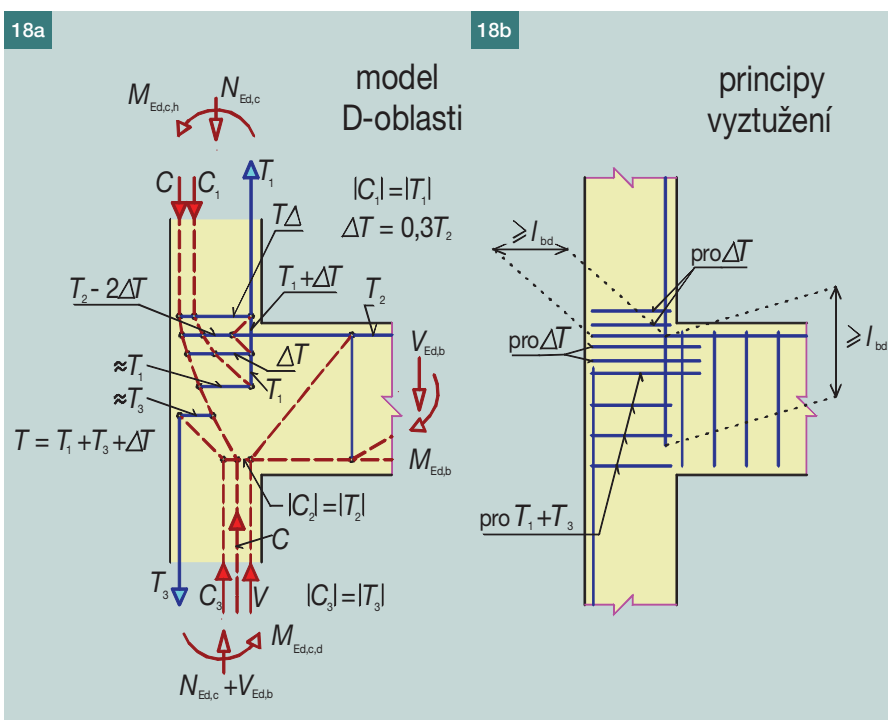


Obr. 17 Poruchová oblast krajního průběžného sloupu s příčlí, a) zatížení oblasti b) návrhový model styčnicku, c) vyztužení
 Fig. 17 D-region of frame corner of exterior continuous column with beam, a) straining of region, b) design model, c) detailing of reinforcement

Obr. 18 Poruchová oblast rámového styčnicku krajního průběžného sloupu s příčlí větší výšky průřezu, a) podrobný model, b) vyztužení
 Fig. 18 D-region of frame corner of exterior column with beam with great section height, a) detailing strut and tie model, b) detailing of reinforcement

Obr. 19 Poruchová oblast středního styčnicku průběžného sloupu s příčlí
 Fig. 19 D-region of middle joint of continuous column with beam

Obr. 20 Vyztuž zalomené schodiškové desky
 Fig. 20 Reinforcement of the cranked stair slab



• V příčlích a sloupech je nutné v oblasti délky d (účinná výška průřezu) doplnit příčnou třmínkovou výztuž.

Zalomené nosníky

Zalomené nosníky, desky se používají např. pro schodišková ramena (obr. 1). Po celé délce zalomené desky schodiškového ramene jsou rámové rohy s kladným i záporným působením ohybového momentu. Poruchové oblasti rámových rohů bezprostředně na sebe navazují. Vyztužení oblasti je možné pouze na sebe navazujícími třmínky se šikmou výztuží (obr. 20). Estetický tvar prefabrikátu je vykypen velmi komplikovanou a náročnou výztuží.

ZÁVĚR

Rámové rohy jsou oblasti, které velmi často rozhodujícím způsobem ovlivňují chování celých konstrukcí, proto je nutné věnovat návrhu poruchových oblastí rámových rohů dostatečnou pozornost. V oblasti rámového rohu je nutné umístit nosnou a konstrukční výztuž odpovídající modelu náhradní přhradoviny. Ve všech navazujících prvcích (sloupech a příčlích) je nutno doplnit konstrukční výztuž v oblasti přechodu poruchové oblasti a běžné nosníkové (sloupové) oblasti. Ve všech rámových rozích s kladným ohybovým momentem je doporučeno vkládat šikmou výztuž k omezení vznikající poruchové trhliny a k posílení duktility oblastí.

Při návrhu konstrukce s rámovými rohy není vhodné uvažovat s plným využitím materiálů. Je výhodnější uvažovat redistribuci ohybových momentů a s nárůstem momentů v poli příčlí. Momenty v rámových rozích jsou vlivem silného namáhání trhlínami porušeného průřezu přerozděleny a redukovány někdy až o 30 % [7].

o síly ze zakotvení podélné výztuže. Taženou diagonální výztuž je velmi obtížné dostatečně zakotvit. Možným řešením je ohnout podélnou taženou výztuž sloupu do příčle podle obr. 19b. Lépe je protáhnout výztuž sloupu styčnickem a kotvit ji až za oblastí rámového rohu obr. 19c. Návrh příložek výztuže příčle a sloupu podle [2] je na obr. 19c.

Pro rámové rohy nejsou v ČSN EN 1992-1-1 [1] další pravidla. Podrobnější pravidla pro vyztužení sloupů lze najít v DAfStb 525 [3].

U rámových styčnicků vnitřních sloupů ztužených nosných systémů, kde veškeré vodorovné zatížení přebírají ztužující systémy, lze rámové působení zanedbat, pokud pro sousední pole příčlí platí poměr $0,5 < l_{0,1} / l_{0,2} < 2$ [3]. U ostatních styčnicků je nutné posoudit únosnost podle rovnice

$$V_{jh} = (|M_{b,1}| + |M_{b,2}|) / z_b - |V_c| \leq \gamma_N 0,25 f_{cd} b_{eff} h_c$$

kde $M_{b,1}$, $M_{b,2}$ jsou antisymetrické ohybové momenty příčlí 1 a 2 a γ_N je vliv normálové síly ve sloupu a štihosti styčnicku $\gamma_{N1} = 1,5(1 - 0,8 (N_{Ed,c} / (A_{c,c} \cdot f_{ck}))) \leq 1$.

Rovnice platí za podmínky poměru výšky průřezů sloupu a příčlí $1 \leq h_b / h_v \leq 1,5$.

Pro rámové rohy platí následující doporučení:

- Podélná výztuž sloupu musí být přímá a procházet spojitě celou oblastí.
- U nosných neztužených rámových soustav je doporučeno zvýšit plochu podélné výztuže sloupu v D-oblasti. Takto doplněná výztuž musí být dostatečně zakotvena za D-oblastí.

Literatura:

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI 2006
- [2] DIN 1045-1(08/2008) Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. DIN Deutsches Institut für Normung s. V. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [3] DAfStb Heft 525 Beuth Verlag GmbH, Berlin. Zář 2003
- [4] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování s použitím modelů náhradní příhradoviny. Beton TKS 6/2009
- [5] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny. Beton TKS 6/2009
- [6] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování nepřímě uložených a složených konzol s použitím modelů náhradní příhradoviny. Beton TKS 1/2010
- [7] Schlaich J., Schäfer K.: Konstruieren im Stahlbetonbau. BetonKalender 2001, Ernst & Sohn, A Wiley Company, 2001
- [8] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování ozubů nosníků a desek s použitím modelů náhradní příhradoviny. Beton TKS 2/2010
- [9] Šmejkal J., Procházka J.: Navrhování prostupů nosníků s použitím modelů náhradní příhradoviny. Beton TKS 3/2010
- [10] Procházka J., Šmejkal J.: Betonářská výztuž – Trendy výroby a spojování. ČVUT v Praze, fakulta Stavební. 2008. ISBN 978-80-01-04260-1
- [11] Nilsson J. H. E.: Reinforced concrete corners and joints subjected to bending moment. Nation Swedish Building Research, Document D7, 1973

Při návrhu poruchové oblasti rámového rohu je také nutné po dokončení výpočtu a nakreslení výztuže ověřit předpokládanou geometrii modelu náhradní příhradoviny.

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu GAČR 103/08/1533

Ing. Jiří Šmejkal, CSc.
ŠPS statická kancelář
Lísková 10, 312 16 Plzeň
tel.: 739 613 929, 777 241 470
e-mail: jiri.smejkal@email.cz



Prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.
Odborná společnost pro vědu,
výzkum a poradenství ČSSI
Komornická 15, 160 00 Praha 6
tel.: 222 938 907, 602 825 789
e-mail: proch.jar@volny.cz

