

## NAVRHOVÁNÍ S POUŽITÍM MODELŮ NÁHRADNÍ PŘÍHRADOVINY DESIGN WITH STRUT-AND-TIE MODELS

JIŘÍ ŠMEJKAL, JAROSLAV PROCHÁZKA

*S pomocí modelů náhradní příhradoviny navrhujeme poruchové oblasti v mezních stavech únosnosti i použitelnosti. V článku je popsána tvorba modelů náhradní příhradoviny pro lokální analýzu poruchové oblasti železobetonových konstrukcí. V následujících pokračováních budou uvedeny modely pro konstrukční prvky jako jsou konzoly, ozuby na nosnících, otvory v nosnících, stěnové nosníky a rámové rohy.*

*Strut-and-tie model is a tool for design discontinuity regions in ultimate limit states and in serviceability limit states. The design of the strut-and-tie models for analysis and detailing of structural concrete members is described in the article. Strut-and-tie models for the structures elements as corbels, Gerber beams, opening in beams, deep beams, knees and frame corners will be introduced in the next articles.*

### IDEALIZACE KONSTRUKCE

V současné době se pro celkovou analýzu nosného systému používají dvourozměrné popřípadě třírozměrné modely konstrukce. Pro celkovou analýzu nosného systému je nejdůležitější vhodná idealizace geometrie konstrukce. Tyčové prvky jsou modelovány jejich podélnou osou, desky jejich střednicovou rovinou a skořepiny střednicovou plochou.

Velmi důležitá je volba vhodného spojení mezi prvky v uzlových bodech a výběr podmínek podepření. Spojení prvků a podepření prvků se pohybují mezi dvěma limitními stavy, které lze zjednodušeně označit jako prosté podepření a vetknutí. U monolitických železobetonových konstrukcí obvykle mezi jednotlivými konstrukčními prvky uvažujeme vetknutí, zatímco u prefabrikovaných konstrukcí se většinou snažíme s přihlédnutím k jednoduchosti realizace o kloubové připojení (pevný nebo posuvný kloub). Pokud uvažujeme vetknutí konce prvku, je nutné, aby uložení neumožňovalo žádné pootočení. Pokud v reálné konstrukci nelze nulové pootočení zajistit, přesune se příslušná část ohybového momentu z vetknutí do pole. Při nerespektování chování reálné konstrukce by mohlo být vyztužení prvku v poli nedostatečné. Pro modelování vzájemného spojení konstrukce s podpěrami je nutné vyšetřit, zda je vhodné vazbu modelovat, nebo ji naopak zanedbat, a její vliv pokrýt vloženou přídatnou výztuží.

Při celkové analýze konstrukce se stanoví rozdělení vnitřních sil, napětí, deformací a reakcí konstrukce. Celková analýza je obvykle nutná pro stanovení celkové tuhosti a prostorové stability konstrukce. Pro jednotlivé konstrukční detaily a dílčí oblasti je nutná navazující lokální analýza.

Celková analýza i analýza jednotlivých oblastí jsou obvykle založeny na idealizaci geometrie konstrukce a idealizaci chování konstrukce.

### ANALÝZA JEDNOTLIVÝCH OBLASTÍ (LOKÁLNÍ ANALÝZA)

Ve výpočtech většinou používáme dvourozměrné modely, pokud však požadujeme popsat prostorové chování konstrukce jako celku, používáme třírozměrné modely. V globálních modelech existují i místa, kde neplatí předpoklad zachování rovinnosti

přetvoření průřezu. Proto nosné železobetonové konstrukce rozdělujeme na oblasti **B** a **D** (obr. 1).

Oblasti **B** (někdy nazývané Bernoulliovy oblasti) představují části konstrukce, kde platí předpoklad zachování rovinnosti průřezu podle Bernoulliovy hypotézy. V těchto částech konstrukce lze poměrně jednoduchým výpočtem získat věrohodné výsledky o chování konstrukce.

Oblasti **D** jsou oblasti s diskontinuitami (tzv. poruchové oblasti). Jedná se o oblasti, kde není lineárně rozděleno poměrné přetvoření průřezů. Jedná se např. o oblasti (obr. 2), ve kterých působí lokální zatížení nebo se náhle mění rozměr průřezu. Podle hypotézy St. Venanta lokální porucha mizí ve vzdálenosti rovné výšce přilehlého průřezu. Pro návrh průřezů v oblastech **D** lze použít modely náhradní příhradoviny [1].

**Modely náhradní příhradoviny** se používají při návrhu výztuže v mezních stavech únosnosti v poruchových oblastech. Lze je použít i pro prvky, u nichž je předpokládáno lineární rozdělení přetvoření po průřezu, např. rovinné poměrné přetvoření. Při posuzování mezních stavů použitelnosti lze použít modely náhradní příhradoviny, pokud je zaručena přibližná kompatibilita prutových modelů (zvláště poloha a směr důležitých tlakových diagonál).

Modely náhradní příhradoviny se skládají z tlacených prvků, tažených prvků a spojovacích uzlů – styčniců. Síly v prvcích prutového systému – náhradní příhradoviny se stanovují z podmínky zachování rovnováhy s působícím zatížením. Poloha a směr táhel modelu náhradní příhradoviny má souhlasit s odpovídající výztuží.

Styčnický jsou oblasti, ve kterých jsou transformovány síly mezi tlacenými prvky, z tlacených prvků do tažených prvků nebo také do reakcí. Styčnický jsou klasifikovány dle působících sil. Ve styčnicku s označením **CCC** působí nejméně tři tlakové betonové pásy – vzpěry (obr. 3). Ve styčnicku s označením **CCT** (obr. 4) působí dva tlakové betonové pásy a jeden tažený pás představovaný výztuží. Ve styčnicku **CTT** (obr. 5) působí jeden tlakový betonový pás a dva tažené pásy.

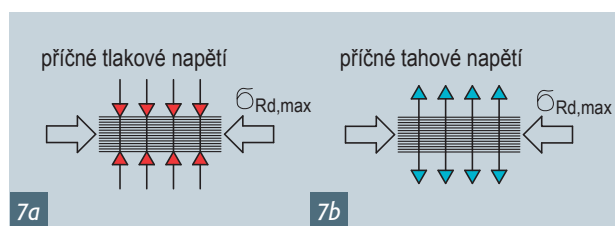
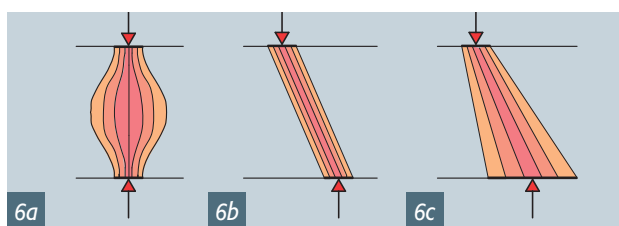
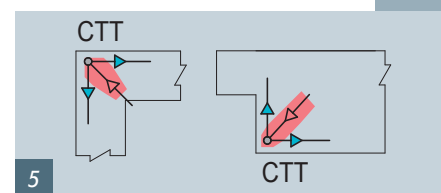
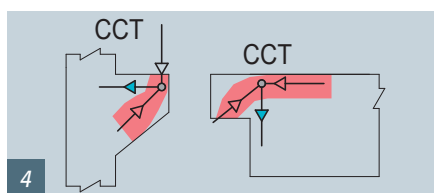
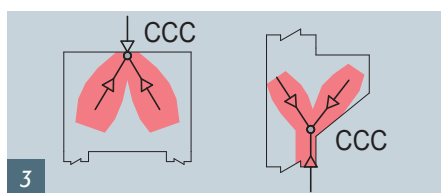
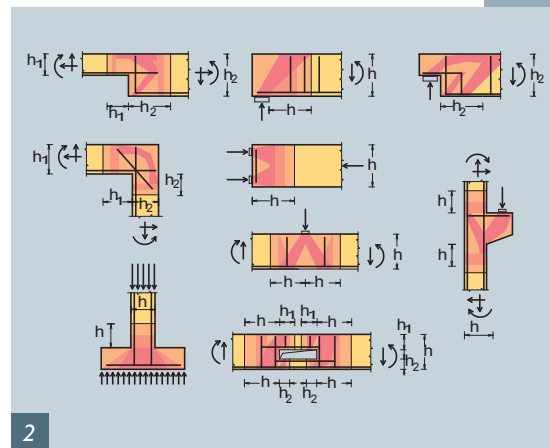
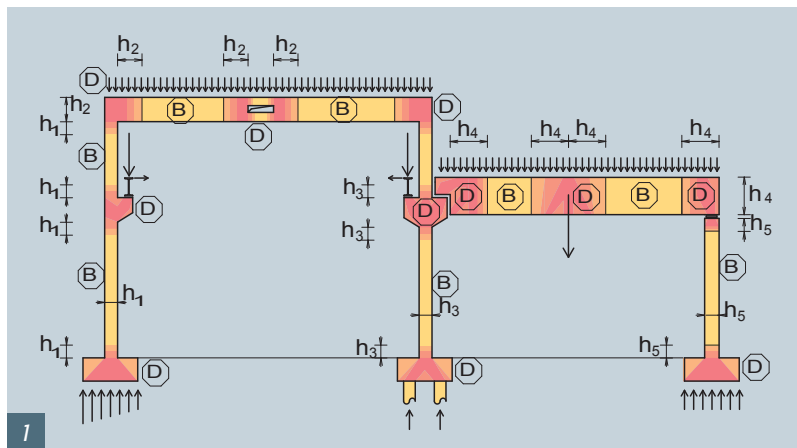
### TLAČENÉ PRUTY – BETONOVÉ VZPĚRY (STRUTS)

Tlačené pruty jsou základním stavebním prvkem modelů náhradní příhradoviny pro analýzu poruchových oblastí. Tlačené pruty mohou mít různý tvar (obr. 6). Rozlišujeme tři základní typy betonových vzpěr podle změny šířky po jejich délce [3].

Tlačené betonové pruty náhradní příhradoviny se v [1] rozlišují podle působícího příčného napětí. Jednak se uvažují tlačené pruty s působícím příčným tlakovým napětím, nebo bez působícího příčného napětí, a jednak pruty s příčným tahovým napětím. Návrhové napětí na mezi únosnosti pro tlačené betonové pruty v oblasti s příčným tlakovým napětím, nebo bez příčného tlakového napětí se stanoví ze vztahu 1 (obr. 7a).

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} \quad (1)$$

V oblastech s víceosým tlakem lze předpokládat vyšší návrhovou pevnost. Návrhové napětí na mezi únosnosti pro betonové tlačené pruty v oblastech s trhlinami je nutné redukovat. Pokud se nepoužije přesnější výpočet, lze návrhovou pevnost uvažovat dle vztahu 2 (obr. 7b)



Obr. 1 Rozdělení konstrukce na oblasti D a B

Fig. 1 Structure splitting on the D and B regions

Obr. 2 Příklad D-oblastí

Fig. 2 Examples of the D regions

Obr. 3 Příklad styčnicku CCC

Fig. 3 Examples of the CCC joint

Obr. 4 Příklad styčnicku CCT

Fig. 4 Examples of the CCT joint

Obr. 5 Příklad styčnicku CTT

Fig. 5 Examples of the CTT joint

Obr. 6 Základní geometrické tvary betonových vzpěr, a) baňkovitá vzpěra, b) vzpěra s rovnoběžnými vlákny, c) vějířovitá vzpěra

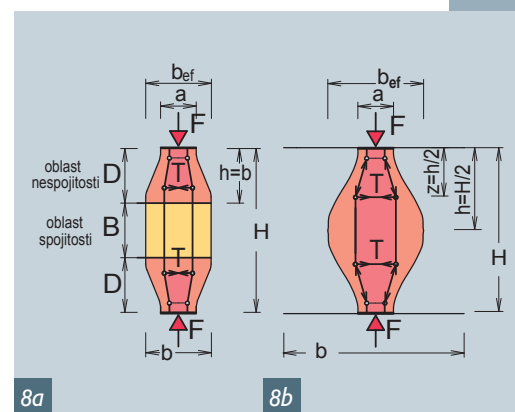
Fig. 6 Basic form of the concrete struts, a) bottle-shaped strut, b) parallel strut, c) fan strut

Obr. 7 Betonové vzpěry z hlediska příčného napětí, a) vzpěra s příčným tlakem nebo bez tlaku, b) vzpěra s příčným tahem

Fig. 7 Concrete struts in term of transverse strain, a) transverse compressive stress or no transverse stress, b) strut with transverse tension

Obr. 8 Příčné tahové síly v tlakovém poli, a) částečná nespojitost (s oblastí spojitosti B), b) úplná nespojitost

Fig. 8 Transverse tensile forces in compression field, a) partial discontinuity (with B-region), b) full discontinuity



$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 v' f_{cd} \quad (2)$$

kde  $v'$  lze vyjádřit  $v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$  (2a). Hodnota  $f_{ck}$  je v MPa.

Požadovaná výztuž, která má odolávat příčným tahovým silám v betonových vzpěrách, může být rozptýlena po délce tlačěného prvku (obr. 8a, b). Pokud výztuž v oblasti styčnicku přesahuje přes uvažovanou délku prvku, musí být umístěna na délce, kde jsou tlakové trajektorie zakřiveny (táhla a vzpěry). V oblastech s úplnou nespojitostí předpokládáme, že tahová síla působí ve čtvrtinách délky oblasti (obr. 8a, b).

Tahovou sílu stanovit podle vztahů 3 a 4.

a) pro částečně nespojitě oblasti, kde  $b \leq \frac{H}{2}$  a  $b_{ef} = b$  podle obr. 8a

$$T = \frac{1}{4} \frac{b-a}{b} F \quad (3)$$

b) pro úplně nespojitě oblasti, kde  $b > \frac{H}{2}$

$$a b_{ef} = 0,5H + 0,65a \text{ podle obr. 8b}$$

$$T = \frac{1}{4} \left( 1 - 0,7 \frac{a}{H} \right) F \quad (4)$$

Diagonální vzpěry jsou obecně rovnoběžné s očekávaným průběhem trhlin v betonu daného prvku.

#### TÁHLA (TIES)

Táhlo v modelu náhradní příhradoviny představuje výztuž. Návr-

hové napětí na mezi únosnosti táhel vychází z meze kluzu betonářské výztuže. Výztuž musí být odpovídajícím způsobem zakotvena ve styčnicku. Při návrhu táhla se uvažuje dosažení meze kluzu výztuže táhla před tlakovým porušením betonové vzpěry. V táhlech a vzpěrách uvažujeme pouze osové síly. Tahové síly v betonu se zanedbávají.

Táhla představují výztužné pruty, jejich celková šířka se obvykle zvětšuje o dvojnásobek krycí vrstvy nebo o polovinu vzdálenosti mezi další výztuží.

### STYČNÍKY

Styčníky v modelech náhradní příhradoviny představují oblasti styku táhel a vzpěr. Styčníky jsou betonové. Všechny síly působící ve styčnicku musí být v rovnováze. Styčníky uvažujeme např. v místech působení soustředěných zatížení, v podporách, v kotevních oblastech s koncentrovanou betonářskou výztuží, v ohybech výztužných prutů a ve spojích a rozích prvků.

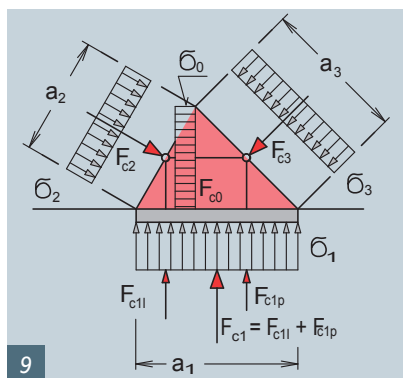
U styčnicku namáhaného víceosým tlakem (CCC – obr. 9) se předpokládá stejné napětí na všech styčných plochách tlacenných betonových prutů – pásů (Mohrovy kružnice). Oblast styčnicku se nazývá hydrostatická uzlová – styčnicková zóna.

Hydrostatickou uzlovou zónu lze rozšířit na styčníky s taženými

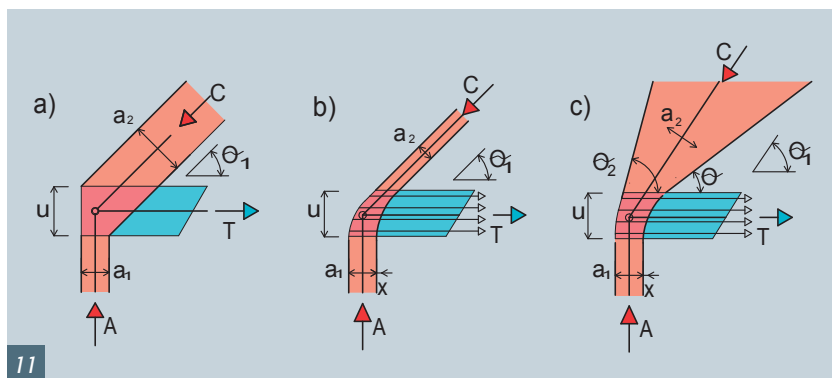
prvky – CCT a CTT. Táhla jsou pro zakotvení protažena tlacenným pásem a vzniká tak rozšířená styčnicková zóna. Plocha předpokládané kotevní (ložiskové) desky se stanoví tak, aby se napětí v tlaku rovnalo napětí na opačné straně tlacenné uzlové zóny.

Požadavek stejného napětí, které působí na všech stranách hydrostatické uzlové zóny, komplikuje použití těchto hydrostatických uzlových zón. Proto vznikl koncept rozšířených uzlových zón, ve kterých jsou uzlové zóny ohraničeny vnějšími liniemi tlacenných pásů a jejich průsečíky. Průnik tlacenných pásů, reakce a tažených pásů včetně přilehlého betonu je oblast hydrostatické uzlové zóny. Na obr. 10 je označen tmavší barvou. Rozšířená uzlová zóna (označena světlejší barvou) je oblast s tlakovým napětím od betonových vzpěr a od reakce na průniku s taženými pásy vně hydrostatické uzlové zóny. Tlakové napětí napomáhá přenosu sil z jedné vzpěry do druhé nebo do táhla představovaného výztuží.

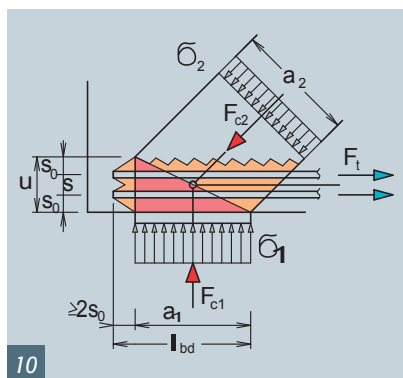
Protože beton je jen omezeně plasticky deformovatelný, systém vnitřních sil musí být stanoven tak, aby v žádné části oblasti nepřekročil limitní deformaci. Pro stanovení optimálního modelu náhradní příhradoviny je nejlepší vycházet z pružné analýzy oblasti pomocí MKP modelů. Ze stanovených pružných vnitřních sil je potom možné sestavit model náhradní příhradoviny. Do modelu je nutné vhodně zakomponovat vyztužení prvku – táhla. Betonové vzpě-



9



11



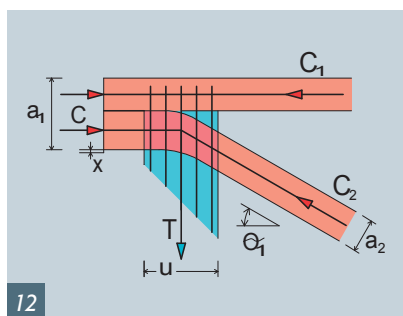
10

Obr. 9 Styčník CCC se vzpěrami bez táhel  
Fig. 9 Compression node CCC without ties

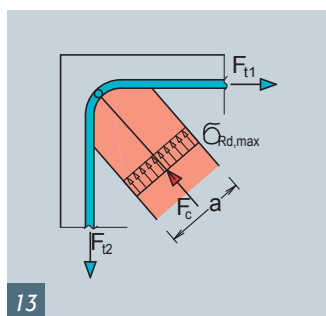
Obr. 10 Styčník CCT se vzpěrami a výztuží (táhlem) v jednom směru – rozšířená styčnicková oblast  
Fig. 10 Compression tension node CCT with reinforcement (tie) provided in one direction – extended nodal zone

Obr. 11 Geometrie styčnicku CCT pro přímou podporu  
Fig. 11 Joint CCT geometry for direct support

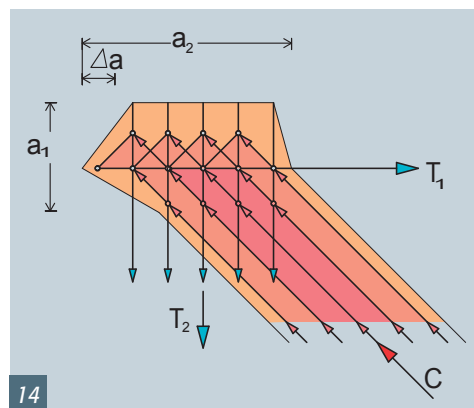
Obr. 12 Geometrie styčnicku CCT pro nepřímou podporu  
Fig. 12 Joint CCT geometry for indirect support



12



13



14

ry u nepřímého uložení se musí opírat o zakotvenou výztuž táhla. Obvykle výztuž táhla obepíná styčník CCT nebo CTT.

Ze zkušeností se ukazuje, že není nutné přesně sledovat průběh tok vnitřních sil v limitním stavu únosnosti. Nejjednodušším příkladem je příhradový model pro návrh smykové výztuže, který připouští uvažovat základní sklon tlačeneho betonového pásu a výztuže pod úhlem 45° až 63° od neutrální osy.

Návrhové hodnoty pro tlaková napětí na mezi únosnosti ve styčnicích lze určit následovně:

**Styčníky s tlakovými silami (CCC)**, ve kterých nejsou kotvena táhla dle obr. 9 a podle [1].

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 v' f_{cd} \quad (5)$$

kde  $\sigma_{Rd,max}$  je maximální napětí, které může působit na hranách styčnicku a  $v'$  viz vztah (2a).

**Styčníky s tlakovými i tahovými silami s táhly kotvenými v jednom směru** dle obr. 10 (CCT) a podle [1].

$$\sigma_{Rd,max} = 0,85 v' f_{cd} \quad (6)$$

kde  $\sigma_{Rd,max}$  je maximální napětí  $\sigma_{Rd,1}$  a  $\sigma_{Rd,2}$  a  $v'$  viz vztah (2a).

Typickým představitelem styčnicku CCT je místo uložení nosníku. Idealizovaný model styčnicku je na obr. 10. Pokud výztuž není jen

v jedné vrstvě, je vhodné uvažovat postupný přenos sil do táhel (obr. 11). Pro nepřímé uložení betonové vzpěry do táhla tvořeného třímínky, např. při horním líci nosníku, je přenos sil do táhla zobrazen na obr. 12. Pro nepřímé uložení je nutné uvažovat opření vzpěry do oblasti uzavřené táhlem – třímínky. Tím se nám výrazně posouvá poloha styčnicku od líce prvku.

Podle obr. 11a [3] lze stanovit namáhání v šikmé betonové vzpěře

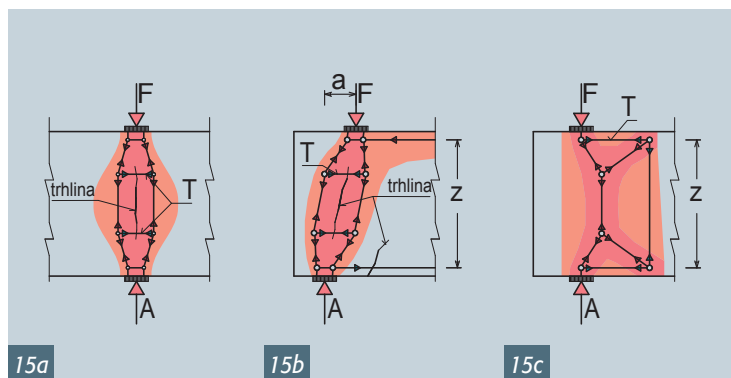
$$\sigma_c = \frac{A}{b \sin \theta_1 (a_1 \sin \theta_1 + u \sin \theta_1)} \quad (7)$$

Pokud budeme uvažovat postupný přenos namáhání do táhla podle obr. 11b [3], namáhání v betonové vzpěře se vyjádří podle vztahu

$$\sigma_c = \frac{A}{(b a_1 \sin^2 \theta_1)} \quad (8)$$

Při vějířovité betonové vzpěře podle obr. 11c [3] je namáhání v místě styku vzpěry a táhla

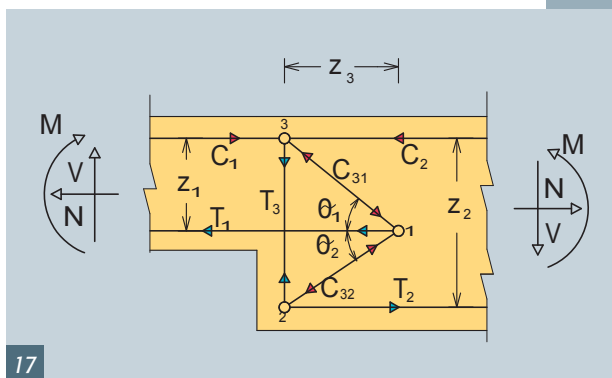
$$\sigma_c = \frac{A}{b \sin^2 \theta_1 [a_1 + 0,5u (\cot \theta - \cot \theta_2)]} \quad (9)$$



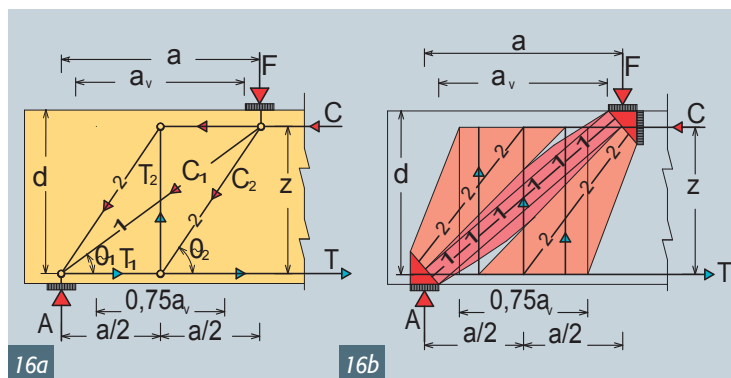
15a

15b

15c

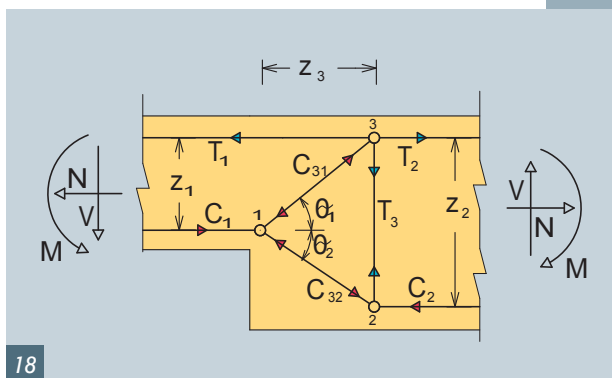


17



16a

16b



18

Obr. 13 Styčník CTT se vzpěrou a výztuží (táhlý) ve dvou směrech  
Fig. 13 Compression tension node CTT with reinforcement (ties) provided in two directions

Obr. 14 Geometrie styčnicku CTT  
Fig. 14 Joint CTT geometry

Obr. 15 Osamělé břemeno v blízkosti podpory, a) nad vnitřní podporou, b)  $a \leq z/2$ , c)  $a = 0$

Fig. 15 Load near support, a) load over inside support, b)  $a \leq z/2$ , c)  $a = 0$

Obr. 16 Osamělé břemeno v blízkosti podpory, a) S&T Model, b) znázornění přenosu zatížení

Fig. 16 Load near support, a) S&T Model, b) illustration of the load transmission

Obr. 17 Náhlá změna výšky průřezu – kladný ohybový moment

Fig. 17 Sudden change of cross section – positive bending moment

Obr. 18 Náhlá změna výšky průřezu – záporný ohybový moment

Fig. 18 Sudden change of cross section – negative bending moment



Pokud se uvažuje postupný přenos sil do táhla podle obr. 11 a 12, dochází k prodloužení styčnicku o délku  $x$ . Prodloužení přispívá k délce, na které se musí táhlo dostatečně zakotvit. Při parabolickém tvaru hranice oblasti styčnicku lze délku  $x$  stanovit

$$x = \frac{1}{4} \left( \frac{a_2}{\cos \theta_1} + u \tan \theta_1 - a_1 \right), \quad (10)$$

kde  $a_1$  je celková šířka tlačeneho betonového pásu,  $a_2$  šířka šikmé betonové vzpěry,  $u$  šířka táhla,  $c$  betonové krytí prutů táhla a  $\theta_1$  úhel střednice betonové vzpěry.

Pro zakotvení táhla je k dispozici délka  $l = a_1 + 0,5x - c$

**Styčnickými s tlakovými i tahovými silami s táhly kotvenými ve více směrech** dle obrázku 13 (CTT). Nejčastěji se vyskytuje styčnick CTT v rámových rozích se záporným působením ohybového momentu [1].

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 v' f_{cd}, \quad (11)$$

kde  $\sigma_{Rd,max}$  je maximální napětí a  $v'$  viz vztah (2a).

Na obr. 14 je podrobný model pro přenos sil z tlačené diagonály do svislého táhla reprezentovaného třmínky [3]. Část tlakové síly vzpěry je opřena přímo do táhla a zbylá část se opírá až za táhlem a vytváří podružnou tlačenu vzpěru opírající se o táhlo z druhé strany. To se projeví prodloužením délky táhla ve styčnicku o  $\Delta a$ . Prodloužení délky je závislé především na úhlu sklonu vzpěry.

Kotvení výztuže (táhel) ve styčnicích s tlakovými a tahovými silami uvažujeme od okraje styčnicku. Například při kotvení nad podporou začíná kotvení u vnitřního líce podpory. Pro kotevní délky táhla je k dispozici celá délka styčnicku. Zakotvení výztuže lze provést i za styčnickem.

Hodnotu návrhového tlakového napětí lze zvýšit o 10 %, pokud je splněna alespoň jedna z následujících podmínek [1]:

- je zaručen trojosý tlak
- všechny úhly mezi tlačеныmi pruty a táhly jsou  $\geq 55^\circ$
- výztuž je umístěna v několika vrstvách
- pohyb styčnicku je spolehlivě omezen uspořádáním v uložení nebo třením.

Pokud je známé rozdělení tlaků všech tří směrů u trojose tlačných styčnicků, lze návrhové napětí vyjádřit dle vztahu

$$\sigma_{Rd,max} \leq 3 v' f_{cd}. \quad (12)$$

#### Tvorba modelů náhradní příhradoviny

Tvorba modelů náhradní příhradoviny bývá často založena na empirických zkušenostech, popřípadě na podrobném nelineárním modelování D-oblastí. Pro zjednodušení jsou základní pravidla uvedena v normě [1] a další literatuře, např. v [5], [6] a [7]. Předpokládá se, že tlakové síly přenáší betonové vzpěry a tahové síly vynáší betonářská výztuž. Základy modelování D-oblastí vycházejí z výzkumných prací z roku 1984 (Der Grudngedanke der Bemessung von Konstruktionsbeton – Schlaich). Postupně byla tato metoda rozvíjena a ověřena řadou experimentů.

Při tvorbě modelu náhradní příhradoviny je nutné postupovat následovně:

- Nalézt reakce v modelované části konstrukce
- Rozdělení zatížení a nalezení vnitřních sil – výslednice napětí nahradit výslednicemi sil, nahradit asymetrická napětí dvojicí sil, definovat model náhradní příhradoviny soustavou vzpěr

a táhel. Při definování jednotlivých prvků je nutné vždy zvážit polohu skutečného vyztužení sledované části konstrukce včetně zakotvení výztuže v oblasti styčnicků.

- Přechod D-oblasti do B-oblasti musí být plynulý bez jakýchkoliv skokových změn.
- Předpoklady pro modely náhradní příhradoviny:
  - v táhlech je dosaženo meze kluzu výztuže před vyčerpáním pevnosti betonových vzpěr
  - síly ve vzpěrách a táhlech jsou jen osové
  - tahové síly v betonu jsou zanedbány
  - ve všech styčnicích musí být zajištěna rovnováha
  - výztuž táhel se aktivuje po vzniku trhlin v betonu
  - k redistribuci vnitřních sil dochází po vzniku trhlin v betonové části průřezu
  - vzpěry jsou obvykle rovnoběžné s očekávaným směrem trhlin ze vznikajících příčných tahových sil v betonové části průřezu.
- Pro omezení šířky trhlin D-oblastí je nutné:
  - při povrchu oblasti vložit minimálně konstrukční ortogonální výztuž s plochou nejméně  $A_s \geq 0,003A_c$ ,
  - maximální vzdálenost výztužných prutů musí být menší než 300 mm.

#### OSAMĚLÉ BŘEMENO U PODPORY

Při zatížení osamělým břemenem v blízkosti podpory je nutné navrhovat svislou a vodorovnou výztuž. Vodorovná výztuž se navrhuje na vznikající příčné tahy. Návrh svislé výztuže vychází z geometrie oblasti. Působí-li osamělé břemeno na horním líci ve vzdálenosti  $a_v$  od líce uložení, lze navrhovat svislou výztuž na redukovanou posouvající sílu  $\beta V_{Ed}$  [1]. Redukci působící posouvající síly lze provést pro vzdálenost  $a_v$  pro niž platí:

$$0,5 \leq a_v \leq 2d, \quad (13)$$

kde  $d$  je účinná výška průřezu.

Součinitel  $\beta$  má hodnotu

$$\beta = a_v / (2d). \quad (14)$$

Pro vzdálenosti  $a_v \leq 0,5d$  uvažujeme minimální posouvající sílu v hodnotě  $0,25 V_{Ed}$ . Přitom pro posouvající síly  $V_{Ed}$  vypočtené bez redukce součinitelem  $\beta$  musí být splněna následující podmínka:

$$V_{Ed} \leq 0,5 b_w d v f_{cd}, \quad (15)$$

kde  $b_w$  je nejmenší šířka průřezu mezi tlačným a taženým pásem, v redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem v hodnotě  $v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$ .

U prvků vyžadující návrh smykové výztuže musí být navíc plněna podmínka pro redukovanou posouvající sílu

$$V_{Ed} \leq A_{sw} f_{ywd} \sin \alpha, \quad (16)$$

kde  $A_{sw} f_{ywd}$  je únosnost smykové výztuže protínající šikmou smykovou trhlínu mezi zatíženými oblastmi a  $\alpha$  je sklon smykové výztuže. Redukce posouvající síly je možná, pokud je podélná výztuž dostatečně zakotvená v uložení.

Nosníky s osamělým břemenem v blízkosti uložení a na krátkých konzolách mohou být alternativně navrženy podle modelů náhradní příhradoviny (obr. 15a-c [2]).

Při vzdálenosti osamělého břemene do hodnoty  $a_v \leq 0,5d$  se

předpokládá, že se zatížení přenáší přímo (na obr. 16 označeno 1). Pro vzdálenější působí síly od místa uložení se přenos zatížení dělí mezi soustavy 1 a 2 dle obr. 16. Pro vzdálenosti  $a_v \geq 2d$  veškeré zatížení přenáší soustava 2. Svislá výztuž pro vynášení svislého zatížení soustavy 2 je účinná pouze v oblasti  $0,75a_v$  podle [1] nebo  $a_w = 0,85a - z/4$  podle [2]. Tuto svislou výztuž navrhujeme na redukovanou posouvající sílu  $\beta V_{Ed}$  podle [1] nebo podle [2] na svislou sílu

$$F_2 = \frac{2}{3} \left( \frac{a}{z} - \frac{1}{2} \right) F. \quad (17)$$

Při návrhu svislé výztuže je nutné zbývající část oblasti konstrukčně vyztužit svislými třmínky a vodorovnou výztuží pro zachycení příčných tahů vznikajících v tlačných betonových vzpěrách obou soustav 1 a 2 náhradní příhradoviny.

### ZMĚNA PRŮŘEZU

Při náhlé změně výšky průřezu vznikají v průřezu sekundární vnitřní síly – tahy a tlaky. Jejich působení je pro kladné momenty schematicky zobrazeno na obr. 17. Pro záporné momenty je rozdělení na D- a B-oblasti zobrazeno na obr. 18.

Vzdálenost  $z_3$  pro oba modely náhradní příhradoviny podle obr. 17 a 18 lze stanovit podle vztahu

$$z_3 = 1,5\sqrt{[z_1(z_2 - z_1)]}. \quad (18)$$

Tah v táhle  $T_3$  stanovíme z rovnováhy ve vodorovném směru ve styčnici 1 a z rovnováhy ve svislém směru ve styčnicích 2 a 3. V táhle  $T_3$  vzniká síla

$$T_3 = T_1 \frac{z_1(z_2 - z_1)}{z_2 z_3}, \quad (19)$$

$$T_3 = -C_1 \frac{z_1(z_2 - z_1)}{z_2 z_3}. \quad (20)$$

Význam veličin ve vzorcích je patrný z obr. 17 a 18.

### ZAVĚR

Nejznámějšími poruchovými oblastmi jsou konzoly, ozuby průvlaků, otvory v průvlacích, stěnové nosníky a rámové rohy.

### Literatura:

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI 2006
- [2] Reineck K. H.: Modellierung der D-Bereiche von Fertigteilen, BetonKalender 2005, Ernst & Sohn, A Wiley Company, 2005. ISBN 3-433-01670-4
- [3] Hottmann U. H., Schäfer K.: DAFStb Heft 459 Bemessung von Stahlbetonbalken und Wandscheiben mit Öffnungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1996
- [4] Narayanan R. S.: Eurocode 2, Worked Examples, Camberlay, 05/2008
- [5] 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
- [6] DAFStb Heft 430 Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002
- [7] DAFStb Heft 525 Beuth Verlag GmbH, Berlin, září 2003

Návrhu jednotlivých oblastí budou věnována další pokračování v rámci seriálu o poruchových oblastech. Vztahy uvedené v této úvodní části budou využívány při řešení konkrétních oblastí v následujících pokračováních.

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, 602 461 064  
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

## SPOLEČNOST ATLAS COPCO KOUPILA ČESKÉHO DISTRIBUTORA KOMPRESORŮ

Stockholm, Švédsko, 7 září, 2009: Společnost Atlas Copco s. r. o. koupila společnost Servis A.C. s. r. o., distributora a poskytovatele služeb v oblasti zařízení na stlačování vzduchu, který působí na severní Moravě.

Akvizice společnosti Servis A. C. je příležitostí, jak zvýšit prodej kompresorů a příslušenství, včetně následných servisních služeb v tomto regionu, který je i z mezinárodního pohledu důležitým centrem průmyslových aktivit v České republice.

„Společnost Servis A. C. je na severní Moravě uznávaným dodavatelem“, říká Joeri Ooms, generální ředitel Atlas Copco s. r. o. divize Kompresory. „Akvizice tohoto druhu jsou důležitou součástí naší strategie, protože nás přibližují našim zákazníkům a umožňují nám zlepšovat naše servisní služby“.

Tisková zpráva společnosti Atlas Copco

Pro další informace prosím kontaktujte:  
Jindru Landovou, manažerku komunikace  
+420 225 434 341, www.atlascopco.com

Atlas Copco

