

PROTLAČENÍ Z POHLEDU ČSN EN 1992-1-1 A PŘEDPISŮ PRO PATENTOVANOU SMYKOVOU VÝZTUŽ ■ PUNCHING ACCORDING TO ČSN EN 1992-1-1 AND GUIDELINES FOR PATENTED SHEAR REINFORCEMENT

Jiří Šmejkal, Jaroslav Procházka

Návrh smykové výztuže na protlačení je upřesněn v připravované změně normy ČSN EN 1992-1-1:2004 prA1:2014. S přihlédnutím k této změně i dalším problémovým ustanovením této normy jsou navržena upřesnění v připravované změně národní přílohy ČSN EN 1992-1-1. Standardní metody návrhu smykové výztuže na protlačení by neměly být používány pro speciální (patentovanou) smykovou výztuž. ■ Design of the shear reinforcement for punching is specified in the upcoming amendment to the standard ČSN EN 1992-1-1:2004 prA1:2014. According to this amendment and its further problematic provisions specifications are suggested for the upcoming amendment of the National Annex to the ČSN EN 1992-1-1. The standard methods of design of shear reinforcement for punching should not be used for special (patented) shear reinforcement.

Protlačení deskových konstrukcí vzniká v okolí lokálních podpěr, na koncích nosných stěn, popřípadě v rozích stěn. Obdobné je to i u základových desek, popřípadě základových patek. Při výpočtech konstrukcí pomocí MKP se jedná obvykle o singulární body řešení. Proto je nutné věnovat velkou pozornost i modelování. Protlačení na rozdíl od běžného smykového namáhání má sbíhající tlačené betonové diagonály (obr. 1).

V připravované změně normy EN 1992-1-1:2004 prA1:2014 (1a) je navrženo omezení maximální smykové výztuže na protlačení omezením únosnosti v protlačení při použití této výztuže. S přihlédnutím k této změně i dalším problémovým ustanovením této normy jsou navržena upřesnění v připravované změně národní přílohy ČSN EN 1992-1-1.

ZMĚNY V NORMĚ ČSN EN 1992-1-1

Podle současného návrhu změny normy [1] je třeba kontrolovat maximální smykovou únosnost v protlačení nejen v obvodu u_0 na styku se sloupem (obr. 2), ale i v prvním kontrolovaném obvodu u_1 . Ve změně je tedy doplněno omezení maximální únosnosti v tomto prvním kontrolovaném obvodu. Kritérium uvádí, kolikrát můžeme zvýšit únosnost smykovou výztuží oproti smykově nevyztuženému průřezu v prvním kontrolovaném obvodu, tj. ve vzdálenosti $2d$ od líce styčné plochy. Toto omezení je vyjádřeno podmínkou

$$\beta V_{Ed} \leq V_{Rd,max} = k_{max} v_{Rd,c} u_1 d, \quad (1a)$$

resp. $v_{Ed,1} = \beta V_{Ed} / (u_1 d) \leq k_{max} v_{Rd,c}$,

popřípadě

$$v_{Rd,cs} = 0,75 v_{Rd,c} + 1,5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} / (1/(u_1 d)) \sin \alpha \leq k_{max} v_{Rd,c}, \quad (1b)$$

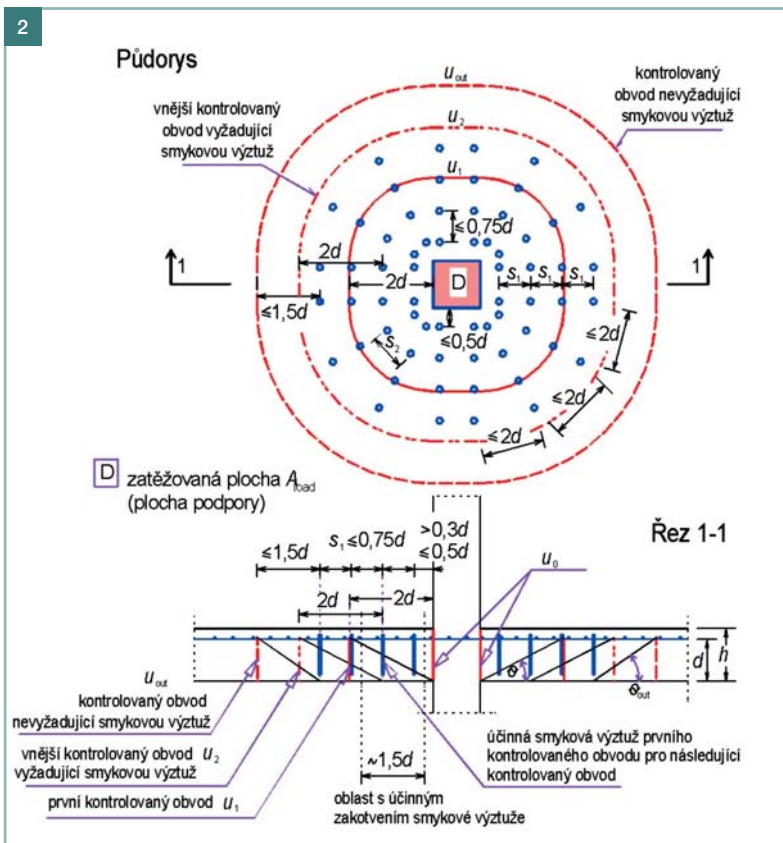
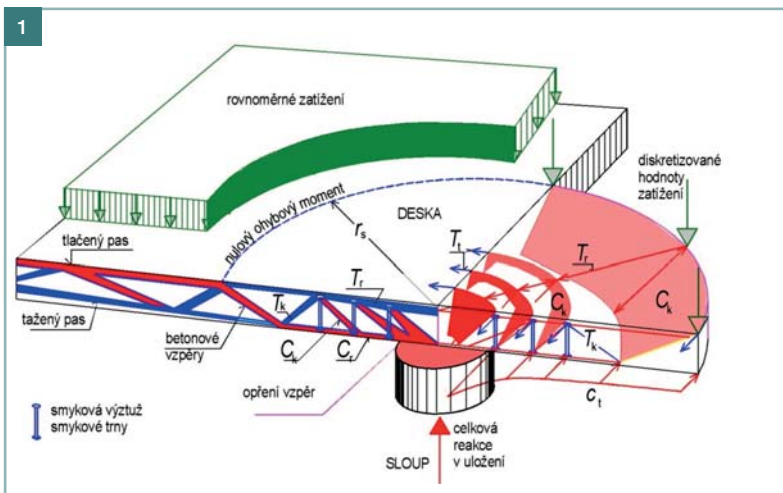
kde $v_{Rd,c}$ je návrhová únosnost betonového průřezu v protlačení bez smykové výztuže, k_{max} součinitel maximální únosnosti, jehož hodnota závisí na typu smykové výztuže a způsobu jejího zakotvení.

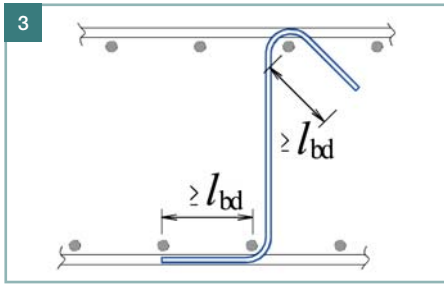
Pro smykovou výztuž spolehlivě zakotvenou v úrovni hor-

ní i dolní výztuže (např. obr. 3) a svařované smykové mřížky dostatečně zakotvené v úrovni výztuže při obou lících deskového prvku lze uvažovat součinitel k_{max} hodnotou:

- $k_{max} = 1,50$ pro účinnou výšku desky $d = 200$ mm,
- $k_{max} = 1,75$ pro účinnou výšku desky $d \geq 200$ mm.

Pro smykové trny, lišty a smykovou příhradovou výztuž lze uvažovat vyšší hodnoty k_{max} , ale tato speciální patentovaná smyková výztuž má být navrhována podle příslušných evropských technických doporučení (viz čl. 6.45.5(6) [1]). Vyšší hodnoty únosnosti vycházejí z řady ověřovacích zkoušek a jsou podmíněny řadou dalších podmínek odlišných





Obr. 1 Oblast namáhaná protlačením | Fig. 1 Area with punching shear at the ultimate limit state

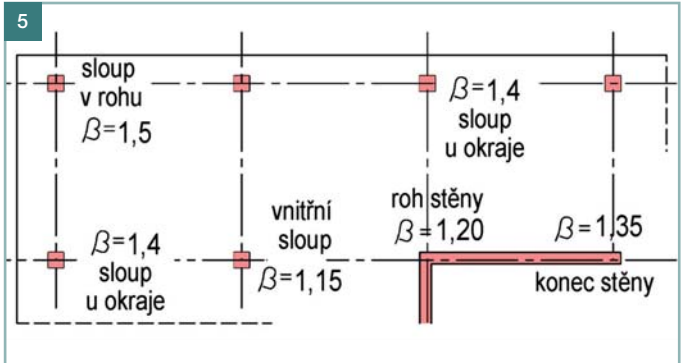
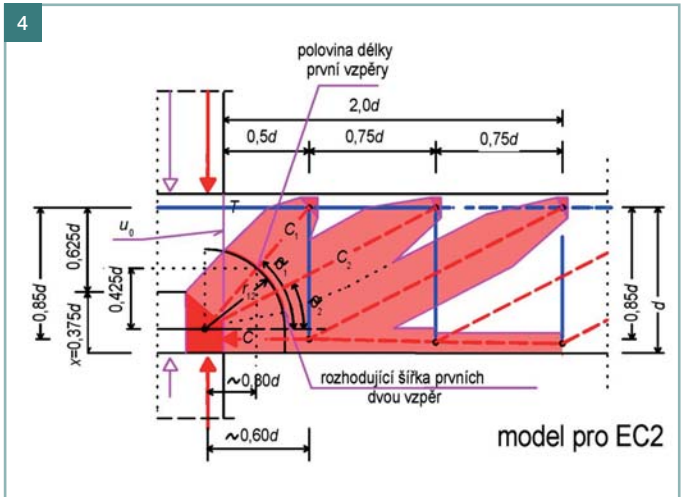
Obr. 2 Konstrukční zásady smykové výztuže podle ČSN EN 1992-1-1 | Fig. 2 Detailing rules for shear reinforcement according to ČSN EN 1992-1-1

Obr. 3 Příklad plnohodnotného zakončení smykové výztuže | Fig. 3 Example of full anchoring of shear reinforcement

Obr. 4 Model náhradní příhradoviny pro oblast protlačení | Fig. 4 Strut-and-tie model for the punching area

Obr. 5 Součinitel β excentrického zatížení styčné plochy | Fig. 5 Coefficient β for eccentric load of the loaded area

Obr. 6 Omezení velikosti styčné plochy vzhledem k účinné výšce desky. $b_1 = \min(b; 3d)$, $a_1 = \min(a; 2b; 6d - b_1)$, kde d je účinná výška průřezu, b delší strana průřezu sloupce, a kratší strana průřezu sloupce | Fig. 6 Limitation of the size of the loaded area in comparison of the effective depth of the slab. $b_1 = \min(b; 3d)$, $a_1 = \min(a; 2b; 6d - b_1)$, where d is effective depth, b longer side of cross section of column, a shorter side of cross section



od standardních podmínek uvedených v [1]. **Použití trmníků podle článku 8.5 [1] je nevhodné z hlediska jejich nedostatečného zakotvení.**

Další proměnné ve vztazích (1) jsou A_{sw} plocha smykové výztuže na jednom obvodu okolo sloupce [mm²]; $v_{Rd,cs}$ návrhová únosnost betonového průřezu v protlačení se smykovou výztuží; s_r radiální vzdálenost obvodů smykové výztuže [mm]; $f_{ywd,ef}$ účinná návrhová pevnost smykové výztuže na protlačení podle vztahu

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_{ywd} \text{ [MPa];}$$

d je průměrná účinná výška v ortogonálních směrech [mm]; α úhel, který svírá smyková výztuž s rovinou desky; $1,5 (d/s_r)$ počet prvků smykové výztuže v oblasti mezi vyšetřovaným a předchozím kontrolovaným obvodem.

Pokud je smyková výztuž tvořena ohybovými kozlíky v jedné řadě, pak poměr d/s_r lze ve vztahu nahradit hodnotou 0,67.

Maximální únosnost betonových diagonál je daná vztahem [1]

$$v_{Rd,max} = 0,4 v f_{cd}, \quad (2)$$

kde f_{cd} je návrhová pevnost betonu v tlaku a $v = 0,6$ [1 –

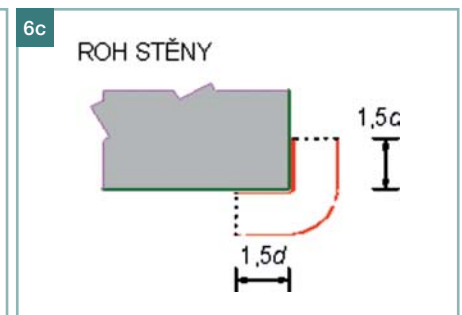
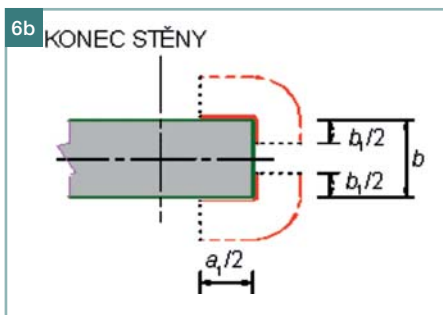
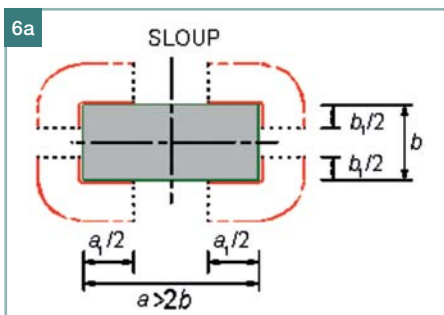
$f_{ck}/250$] je redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem.

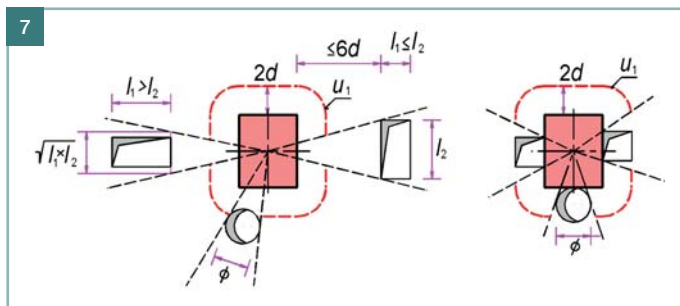
Vztah vychází z modelu náhradní příhradoviny podle obr. 4. Vyjadřuje maximální únosnost tlacené betonové diagonály v lici styčné plochy. Při omezení maximální únosnosti podle vztahu (2) není vyjádřen vliv smykové výztuže v průřezu. Experimentálně bylo prokázáno, že při velkém množství smykové výztuže v průřezu ji nelze spolehlivě zakotvit a je tak nedostatečně účinná. Proto se omezuje únosnost smykové výztuže podle vztahu (1a), resp. (1b).

Pro zajištění spolehlivého zapojení smykové výztuže je nutné její spolehlivé zakotvení. Smyková výztuž musí obepínat alespoň jednu vrstvu dolní a jednu vrstvu horní výztuže (musí být dostatečně zakotvena v úrovni druhé vrstvy dolní a horní výztuže). To je podmínka, která často komplikuje návrh smykové výztuže z prutů běžné betonářské výztuže.

NAVRHOVANÉ ZMĚNY V NÁRODNÍ PŘÍLOZE K NORMĚ ČSN EN 1992-1-1 [1]

Únosnost v protlačení deskových konstrukcí se rychle zmenšuje s rostoucí excentricitou zatížení. Pokud je nosný systém objektu prostorově ztužen jinak než rámovým účinkem spojení sloupce s deskou, lze pro stanovení excentrické-





Obr. 7 Vliv blízkých prostupů ■ Fig. 7 Influence of near openings

Obr. 8a, b Typické smykové trny ■ Fig. 8a, b Typical shear studs

Obr. 9 Principy vyztužení oblasti smykovými trny podle [7] ■

Fig. 9 Detailing of the area with shear studs according to [7]

ho zatížení použít podle [1] zjednodušující součinitel β podle obr. 5. Musí se ovšem jednat o pravidelnou konstrukci, u níž se rozpětí jednotlivých polí neliší více než o 25 %. Na rozdíl od standardně definovaných vlivů polohy sloupu je obrázek doplněn pro vlivy konce stěny a rohu stěny. Pokud spojení sloupu s deskou zároveň zajišťuje prostorovou tuhost objektu, je nutné vliv excentrického zatížení definovat přesněji podle vztahů uvedených v normě [1]. Pokud v blízkosti styčné plochy působí významné osamělé břemeno, nelze v žádném případě využít redukce podle článku 6.2.2(6), popřípadě 6.2.3(8) normy [1].

V normě [1] není vyjádřen vliv velikosti styčné plochy vůči účinné výšce deskové konstrukce. Pokud je styčná plocha velká, smykový přenos se koncentruje především v rozích styčné plochy (proto není vhodné používat umístění smykové výztuže podle obr. 6.22B normy ČSN EN 1992-1-1 [1], kde se soustřeďuje smyková výztuž ke stranám styčné plochy a nikoliv k jejím rohům). Vliv velké styčné plochy je doporučeno omezit podle obr. 6.

Únosnost v protlačení ovlivňují i prostupy deskovou konstrukcí v blízkosti styčné plochy. Tento vliv je dostatečně popsán v normě [1]. V návrhu národní přílohy jsou doplněny jen kruhové prostupy, které jsou velmi časté (obr. 7).

NÁVRHOVÉ POSTUPY PRO SMYKOVÉ TRNY

Při protlačení deskových konstrukcí se dnes nejčastěji navrhují smykové trny, popřípadě smykové lišty. Jedná se o speciální patentované výrobky (obr. 8). Jejich zabudování je poměrně jednoduché a lze je vložit i dodatečně do již vytvořené horní a dolní nezabetonované výztuže desky. Jejich kontrola a případná oprava jsou jednoduché. Navíc je možné přenést touto smykovou výztuží větší zatížení z důvodu jejího dobrého zakotvení v úrovni horní a dolní výztuže. To je vykoupeno vyšší cenou prvků. Při návrhu této patentované výztuže je však nutné postupovat podle metodik výrobců. Z pohledu ČSN EN 1992-1-1 [1] se uvádí v článku 6.4.5(5) „Pokud jsou použity patentované výrobky jako smyková výztuž,

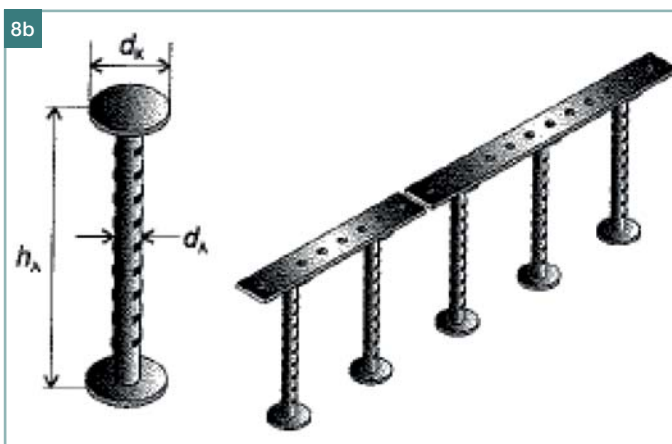
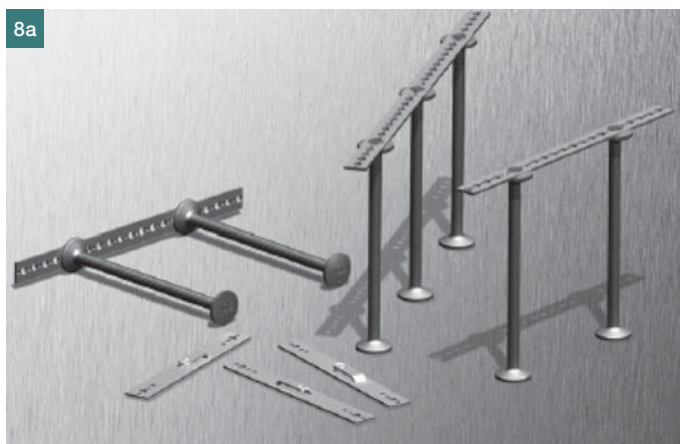
má se $v_{Rd,cs}$ stanovit zkouškami podle příslušného evropského technického schválení“. To znamená, že smykové trny, lišty, smyková příhradová výztuž by neměla být posuzována podle obecné metodiky uvedené v normě [1], protože nelze využít některých jejich speciálních vlastností (vyšší únosnost výztuže, lepší zakotvení v úrovni horní a dolní výztuže deskového prvku apod.). Metodiky výrobců zohledňují všechny výhody speciální smykové výztuže, což se promítá do vyšší celkové únosnosti průřezu na protlačení. Pokud bychom použili standardní postup návrhu podle normy [1], nedosáhli bychom požadované spolehlivosti návrhu a při případných sporech by výrobce patentované výztuže odmítl převzít záruku za takovýto návrh. Specializované návrhové postupy jsou navíc obvykle zajištěny specializovaným, volně dostupným a pravidelně aktualizovaným návrhovým softwarem. Jednotlivé postupy rozhodně nelze kombinovat nebo přijímat hodnoty součinitelů, příp. jednotlivých únosností. Srovnání jednotlivých přístupů je dobře patrné z následujícího příkladu.

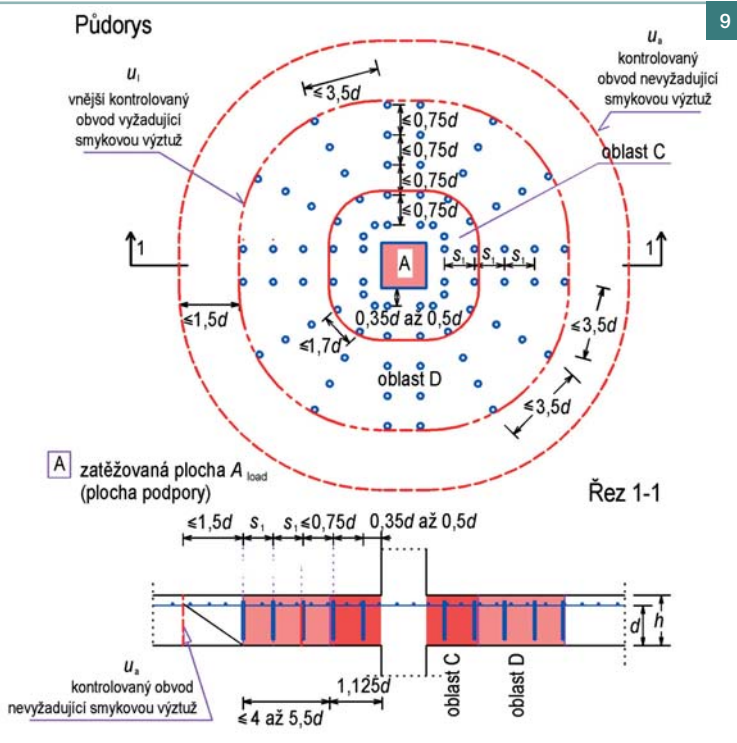
Návrh smykových trnů podle ETA [7] respektuje všechny zásady normy EN 1990. Vychází ze zatížení podle EN 1991 a z návrhových kombinací EN 1990. Na rozdíl od předchozích předpisů respektuje všechny principy návrhu protlačení podle EN 1992-1-1 [1]. V předpisu se vychází ze závěrů řady experimentů a tak lze zvýšit únosnost prvního kontrolovaného obvodu až $k_{max} = 1,96$ oproti smykově nevyztuženému průřezu. Vzdálenosti kontrolovaných obvodů $2d$ a poslední kontrolovaného obvodu $1,5d$ jsou stejné jako v normě [1]. Stejně se uvažuje vliv otvorů a okrajů desky.

Pozn.: V předpisu ETA se nekontroluje maximální únosnost tlačené betonové diagonály $V_{Rd,max}$ proto je doporučeno vždy kontrolovat maximální únosnost podle vztahu (2) i při výpočtu podle předpisu ETA.

PROTLAČENÍ U STROPNÍCH DESEK

Návrhový postup podle evropského certifikátu ETA (např. [7]) vychází z tradičně označených oblastí „C“ a „D“ namáhaných na protlačení.





Oblast „C“ je oblast bezprostředně související se styčnou plochou, je dlouhá 1,125d od líce styčné plochy a smyková výztuž v této oblasti musí přenést veškeré namáhání (bez spolupůsobení betonu). V této oblasti musí být nejméně dva trny v paprsku od styčné plochy ($n_c \geq 2$). První musí být ve vzdálenosti 0,35d až 0,5d od kraje styčné plochy a druhý do vzdálenosti 1,125d. Pro silnější desky s účinnou výškou $d \geq 0,5$ m musí být nejméně tři smykové trny, pokud platí $V_{Ed} \geq 0,85V_{Rd,max}$. V tangenciálním směru nesmí vzdálenost smykových trnů překročit 1,7d ve vzdálenosti 1,0d od kraje styčné plochy.

Na oblast „C“ navazuje oblast „D“. V oblasti „D“ je maximální tangenciální vzdálenost smykových trnů 3,5d a v radiálním směru 0,75d. Pro silnější desky se v radiálním směru redukuje vzdálenost mezi smykovými trny podle vztahu

$$s_{w,d} = \frac{3dm_D}{2n_C m_C} \leq 0,75d, \tag{3}$$

kde m_C je počet smykových trnů v „C“ v tangenciálním směru – paralelně s okrajem styčné plochy, m_D počet smykových trnů v „D“ v tangenciálním směru – paralelně s okrajem styčné plochy, n_C počet smykových trnů v „C“ v radiálním směru – kolmo na okraj styčné plochy.

Tab. 1 Součinitel k_β pro výpočet redukovaného součinitele

$\beta_{red} = k_\beta \cdot \beta$ pro poslední kontrolovaný obvod

Tab. 1 Coefficient k_β for the calculation of reduced coefficient

$\beta_{red} = k_\beta \cdot \beta$ for last controlled perimeter

Pozice styčné plochy / sloupu	Součinitel k_β
Vnitřní sloup	$k_\beta = 1$
Sloup u okraje	$k_\beta = \frac{1}{1,2 + (\beta / 20) \cdot (l_s / d)}$
Sloup v rohu	$k_\beta = \frac{1}{1,2 + (\beta / 15) \cdot (l_s / d)}$
Roh stěny	$k_\beta = 1$
Konec stěny	$k_\beta = 1$

V posledním kontrolovaném obvodu se upravuje součinitel excentrického zatížení styčné plochy β na hodnotu β_{red} . Hodnota se stanoví ze vztahu $\beta_{red} = k_\beta \cdot \beta \geq 1,1$.

PROTLAČENÍ ZÁKLADOVÝCH PATEK

První smykový trn musí být umístěn ve vzdálenosti 0,3d a druhý trn 0,8d od líce sloupu. Další smykové trny se umísťují do vzdálenosti 0,75d od předchozího trnu, pokud se jedná o poddajné patky ($a_\lambda/d \geq 2$) (obr. 1), nebo do vzdálenosti 0,5d, pokud se jedná o blokové kompaktní patky ($a_\lambda/d \leq 2$), kde a_λ/d je poměr vyložení patky k její účinné výšce. Současně s tím se uvažuje $C_{Rd,c} = 0,12 = 0,18/\gamma_C$ pro poddajné patky a $C_{Rd,c} = 0,1 = 0,15/\gamma_C$ pro kompaktní blokové patky.

PRINCIPIÁLNÍ ROZDÍLY NÁVRHU

- Maximální obvod $2(a+b) \leq 12d$.
- Minimální tloušťka desky při použití smykových trnů je 180 mm (v normě [1] je 200 mm).
- Doplnující omezení maximálního vyztužení

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} \leq 0,5f_{cd} / f_{yd} \tag{5}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_C \text{ pro } u_0/d \geq 4 \tag{6}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_C (0,1u_0/d + 0,6) \geq 0,15/\gamma_C \text{ pro } u_0/d < 4, \text{ ale lze uvažovat i standardní hodnoty.}$$

$$C_{Rd,c} = 0,15/\gamma_C \text{ pro blokové základové patky.}$$

- Je doporučena jiná hodnota součinitele $\beta \geq 1,1$ pro vnitřní sloupy (v normě [1] je 1,15). Upřesnění vlivu excentrického zatížení se provádí podle standardního postupu uvedeného v normě [1].
- Uvažuje se plná návrhová únosnost smykové výztuže $f_{yd} = 435$ MPa (v normě [1] je redukovaná „účinná“ únosnost

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25d \leq f_{ywd} \text{ [MPa]}. \tag{7}$$

- Oblast protlačení je rozdělena na dvě části. Oblast „C“ přímo souvisí se zatěžovanou plochou (např. sloupem) a její hranice je ve vzdálenosti 1,125d. Zbýlá část smykově vyztužené oblasti je označena „D“.
- V oblasti „C“ se uvažuje, že veškeré zatížení přenáší pouze smyková výztuž (**nejvýznamnější rozdíl od standardního postupu normy [1]**)

$$A_{s,req} = V_{Ed} \beta \eta / f_{yd} \tag{8}$$

kde $\eta = 1,0$ pro $d \leq 200$ mm a $\eta = 1,6$ pro $d \geq 800$ mm (mezilehlé hodnoty lze interpolovat).

Posouzení

$$V_{Rd,sy} = m_C n_C A_{Anker} f_{yd} / \eta \geq V_{Ed} \beta, \tag{9}$$

kde A_{Anker} je průřezová plocha dřívku smykového trnu; m_C počet smykových trnů v prstenci v oblasti „C“; n_C počet smykových trnů v radiálním směru v oblasti „C“.

- Maximální únosnost průřezu je:

$$\text{pro desky } v_{Rd,max} = 1,96v_{Rd,c} \tag{10}$$

$$\text{pro základové patky } v_{Rd,max} = 1,5v_{Rd,c} \tag{11}$$

- Konstrukční zásady podle ETA [7] jsou jiné. Maximální vzdálenost trnů v tangenciálním směru je 1,75d v obvodu ve vzdálenosti do 1,0d od líce styčné plochy. Maximální vzdálenost v posledním smykově vyztuženém obvodu je 3,5d v tangenciálním směru v nejvzdálenějším smykově vyztuženém obvodu. Radiálně je nutné umístit nejméně

dva trny do $1,125d$ od líce sloupu (případně tři trny pro silnější více namáhané desky). V radiálním směru je v obou předpisech stejná maximální vzdálenost $0,75d$.

V současné době jsou ještě v platnosti starší návrhové postupy pro smykové trny, které vycházely z normy DIN 1045-1. Tyto postupy byly podrobně popsány v článcích publikovaných v Beton TKS [5]. Vzhledem k uvedenému a k jejich již omezené platnosti se jejich návrhový postup v článku nerozebírá.

U všech výrobců smykových trnů je základní postup návrhu v podstatě stejný, jak je uvedeno v předchozím odstavci.

PŘÍKLAD NÁVRHU PROTLAČENÍ SMYKOVÝCH TRNŮ PODLE ETA A EC2

Pro srovnání je zpracován návrh smykové výztuže podle standardní metodiky ČSN EN 1992-1-1 [1] a podle evropského certifikátu ETA [7]. Stropní deska o účinné výšce $d = 230$ mm je uložena na vnitřním sloupu o průřezu 400×400 mm (jedná se o ztuženou konstrukci, sloupy se nepodílejí na přenosu vodorovných zatížení). Stropní deska je navržena z betonu C25/30 XC1, betonová krycí vrstva 30 mm, výztužení nad sloupem je tvořeno profily $\varnothing 20$ po 120 mm v obou směrech, betonářská výztuž B500B. Zatížení přenesené z desky do sloupu je $V_{Ed} = 930$ kN.

Oba postupy mají řadu společných parametrů a postupů vycházejících z metodiky ČSN EN 1992-1-1 [1].

Společné parametry

- Průměrný stupeň vyztužení $\rho = 0,0114$,
- Vliv rozměru desky $k = 1 + \sqrt{200/d} = 1,93 \leq 2$
- Kontrolované obvody – obvod $u_0 = 1,6$ m, obvod $u_1 = 1,6 + 4\pi d = 4,49$ [m], součinitel excentrického zatížení $\beta = 1,15$ (podle ETA $\beta = 1,1$)
- Smykové napětí na líci styčné plochy
 $v_{Ed,0} = \beta V_{Ed}/(u_0 d) = 2,91$ [MPa] $\leq v_{Rd,max}$
- Maximální únosnost první tlačené diagonály
 $v_{Rd,max} = 0,4v f_{cd} = 3,6$ [MPa],
kde $v = 0,6[1 - f_{ck}/250] = 0,54$
- Smykové napětí v prvním kontrolovaném obvodu
 $v_{Ed,1} = \beta V_{Ed}/(u_1 d) = 1,04$ [MPa]
- Únosnost nevyztuženého průřezu
 $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100\rho_1 f_{ck})^{1/3} / \gamma_C = v_{min}$
při $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_C$ a $\gamma_C = 1,5$ obdržíme
 $v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,93 \cdot (100 \cdot 0,0114 \cdot 25)^{1/3} / 1,5 =$
 $= 0,707$ [MPa] $\geq v_{min}$
 $v_{min} = 0,035 \cdot 1,93^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0,469$ [MPa].

Návrh smykových trnů v oblasti „C“ podle ETA [7]

Maximální únosnost $v_{Rd,max} = 1,96 v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,707 = 1,387$ [MPa] $\geq v_{Ed1}$ vyhovuje.

Statically nutná plocha smykových trnů (v celé oblasti „C“)

$$A_{s,req} = V_{Ed} \beta \eta / f_{yd} = 930 \cdot 1,1 \cdot 1,03 / 435\,000 = 2,42 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]} (\eta = 1,03).$$

Minimální počet trnů z konstrukční podmínky (z maximální vzdálenosti smykových trnů v obvodu do vzdálenosti d od líce sloupu – viz výše) $(1,6 + 2\pi d)/(1,75d) = 3,045/0,403 = 7,6$.

Minimální počet trnů po obvodu je osm a radiálně dva – celkem šestnáct trnů $24,2 \cdot 10^{-4} / 16 = 1,58 \cdot 10^{-4}$ – minimální průměr trnů 16 mm $A_{s1} = 2,01 \cdot 10^{-4}$ [m²].

Navrženo uspořádání trnů o průměru 16 mm v osmi radiálních paprscích, celkem šestnáct smykových trnů. Alternativně je možné navrhnout devět paprsků s trny o průmě-

ru 14 mm, nebo dvanáct paprsků s trny o průměru 12 mm a šestnáct paprsků s trny o průměru 10 mm.

Posouzení

$$V_{Rd,sy} = 8 \cdot 2 \cdot 2,01 \cdot 10^{-4} \cdot 435\,000 / 1,03 = 1\,358,2 \text{ [kN]} \geq 930 \cdot 1,1 = 1\,023 \text{ [kN]}$$

Návrh smykových trnů v oblasti „D“ podle ETA [7]:

Délka smykově vyztužené oblasti l_s : ze vztahu

$$u_{out} = 2(a+b) + 2\pi(l_s + 1,5d)$$

$$v_{Ed,out} = \beta_{Red} V_{Ed} / (u_{out} d) = 1,1 \cdot 930 / (u_{out} \cdot 0,23) \leq 707 \text{ [kPa]}$$

$u_{out} = 6,58$ m, minimální $l_s = (6,58 - 1,6) / (2\pi) - 1,5d = 0,448$ [m] to představuje nejméně čtyři trny.

Skutečná délka smykově vyztužené oblasti l_s je tedy $(0,35 + (4 - 1) \cdot 0,75)d = 0,598$ [m].

Poslední kontrolovaný obvod
 $u_{out} = 1,6 + (0,598 + 1,5d) 2\pi = 7,53$ [m]

Posouzení

$$v_{Ed,out} = \beta_{Red} V_{Ed} / (u_{out} d) = 1,1 \cdot 930 / (7,53 \cdot 0,23) = 590,7 \leq 707 \text{ [kPa]}$$

Vyhovuje.

Ověření konstrukčních zásad v oblasti „D“: obvod s posledním trnem 5,36 m, počet trnů 8, vzdálenost mezi trny 0,669 m, maximální vzdálenost je $3,5d = 0,805$ m, vyhovuje.

Při splnění konstrukčních zásad ETA není nutné posuzovat další kontrolované obvody.

Celkový počet smykových trnů:

$$4 \cdot 8 = 32 \text{ trnů } \varnothing 16 \text{ výšky } 225 \text{ mm.}$$

Poslední kontrolovaný obvod je od osy sloupu 0,943 m, minimální délka horní výztuže je $2,29 \text{ m} + 2 \cdot l_{bd}$.

Při použití trnů o průměru 12 mm by bylo celkem 24 trnů v oblasti „C“ a při použití trnů o průměru 10 mm by jich bylo celkem 34. Takto velké počty trnů v oblasti „C“ nejsou z hlediska provádění vhodné. Celkový počet trnů v oblasti namáhané protlačením je uveden v tab. 2.

STANDARDNÍ NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE PODLE NORMY [1]

Návrh smykových trnů v prvním kontrolovaném obvodu:

Maximální únosnost (pokud nesprávně budeme uvažovat zvýšenou únosnost prvního kontrolovaného průřezu jako u ETA [7])

$$v_{Rd,max} = 1,96 v_{Rd,c} = 1,96 \cdot 0,707 = 1,385 \text{ [MPa]} \text{ vyhovuje, smyková výztuž je nutná.}$$

Podle konstrukčních zásad je maximální vzdálenost mezi smykovými prvky $1,5d$ v oblasti prvního kontrolovaného obvodu. Druhý smykový prvek je $1,25d$ od líce sloupu, jejich obvod je 3,41 m. Minimální počet smykových prvků je $n = 3,41 / (1,5d) = 10$.

Účinná návrhová pevnost smykové výztuže

$$f_{ywd,eff} = 250 + 0,25 \cdot 230 = 307,5 \text{ [MPa]} \\ v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot 0,707 + 2A_{sw} 307,5 \cdot (1 / (4,49 \cdot 0,23))$$

Statically nutná plocha smykové výztuže v jednom obvodu kolem sloupu

$$A_{sw} = (1,0695 - 0,75 \cdot 0,707) \cdot 1,033 / (2 \cdot 307,5) = 9,06 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Při deseti paprscích postačuje profil 12 mm, celková plocha smykové výztuže v jednom obvodu je $A_{sw} = 1\,131 \text{ mm}^2$. Únosnost v prvním kontrolovaném obvodu je

Tab. 2 Celkový počet smykových trnů ■ Tab. 2 Total number of shear studs

	Umístění	Ø10	Ø12	Ø14	Ø16
ETA	První kontrolovaný obvod	32	24	18	16
	Zbýlé obvody	32	24	18	16
	celkem	64	48	36	32
ČSN EN 1992-1-1	První kontrolovaný obvod	24	-	-	-
	Zbýlé obvody	24	-	-	-
	celkem	48	*)	*)	*)

*) Rozhodují konstrukční zásady, počet trnů by byl stejný

Obr. 10a,b Smyková příhradová výztuž podle [6]
 ■ Fig. 10a,b Shear lattice girder according to [6]

Obr. 11 Uspořádání příhradové smykové výztuže podle [6] ■
 Fig. 11 Detailing of lattice girder according to [6]

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot 0,707 + 2 \cdot 11,31 \cdot 10^{-4} \cdot 307,5 \cdot (1 / (4,49 \cdot 0,23)) = 1,204 \text{ [MPa]} \geq v_{Ed1} = 1,04 \text{ [MPa]}$$

Únosnost vyhovuje.

Délka posledního kontrolovaného obvodu bez smykové výztuže je stejná u obou postupů.

Délka smykově vyztužené oblasti je 0,522 m (viz předchozí výpočet). První trn umístíme 0,3d až 0,5d od líce styčné plochy ve vzdálenosti 0,1 m, další trny po vzdálenostech 0,75d = 0,173 m.

Trny uspořádáme následovně: 0,1 + 3 · 0,173 = 0,619 [m], vyhovují čtyři trny v paprsku.

Skutečná délka smykově vyztužené oblasti je 0,619 m.

Posouzení posledního kontrolovaného obvodu

$$u_{out} = 1,6 + 2 \cdot (0,619 + 0,345) \pi = 7,66 \text{ [m]}$$

$$v_{Ed,out} = \beta V_{Ed} / (u_{out} d) = 1,15 \cdot 1\,000 / (7,66 \cdot 0,23) = 652,7 \text{ [kPa]} \leq 707 \text{ [kPa]}$$

Konstrukčně počet trnů v posledním vyztuženém obvodu 5,49 / (2d) = 11,9 → 12.

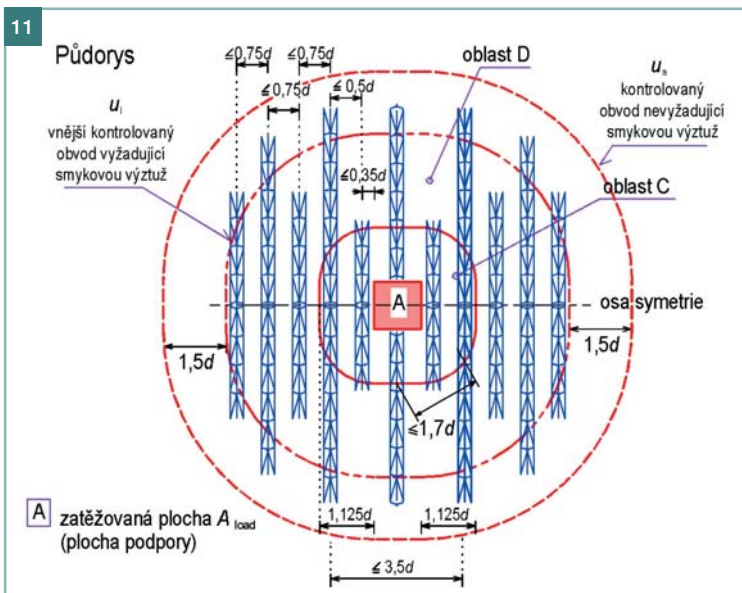
Musíme změnit počet radiálních paprsků výztuže na 12 a můžeme i zmenšit průměr smykového trnu na 10 mm ($A_{sw} = 942 \text{ mm}^2 \geq 906 \text{ mm}^2$).

Minimální množství smykové výztuže v prvním obvodu 12 · 2 · Ø10 = 0,001884 [m²].

$$\sum A_{sw} \geq 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Celkový počet smykových trnů:

$$4 \cdot 12 = 48 \text{ trnů Ø10 výšky 225 mm.}$$



ZÁVĚRY SROVNÁNÍ

Podle EC2 [1] je celkově jinak umístěná výztuž menšího průměru dokonce v menším počtu. Z toho vyplývá, že není dosažena stejná úroveň spolehlivosti jako u ETA [7], proto není možné zvyšovat maximální únosnost v prvním kontrolovaném obvodu podle ETA [7] oproti normou definované hodnotě (jak bylo uvažováno v příkladu). Příklad nelze zobecňovat, v daném příkladu jsou výsledky na nebezpečné straně. V metodice ETA [7] jsou navíc upřesněny případy silných deskových konstrukcí, základových konstrukcí a doporučená redukce únosnosti v prvním kontrolovaném obvodu bez smykové výztuže. Zvýšení únosnosti smykově vyztuženého průřezu je umožněno především tím, že zakotvení smykových trnů s rozkovanou hlavou (na trojnásobný průměr oproti dřívku) je výrazně lepší než u běžné smykové výztuže. Uvedené však musí být doplněno konstrukčními a návrhovými pravidly definovanými v ETA [7]. Především návrhovým předpokladem, že v prvním kontrolovaném obvodu je veškeré zatížení přenášeno pouze smykovou výztuží bez započítání části přenášené betonem.

Návrhové postupy pro příhradovou výztuž

Návrhový postup pro speciální příhradovou výztuž podle [6] (obr. 10) umožňuje využít smykovou výztuž pro zvýšení únosnosti v prvním kontrolovaném průřezu vyšší hodnotou, než je uvedeno u smykových trnů. Maximální únosnost je

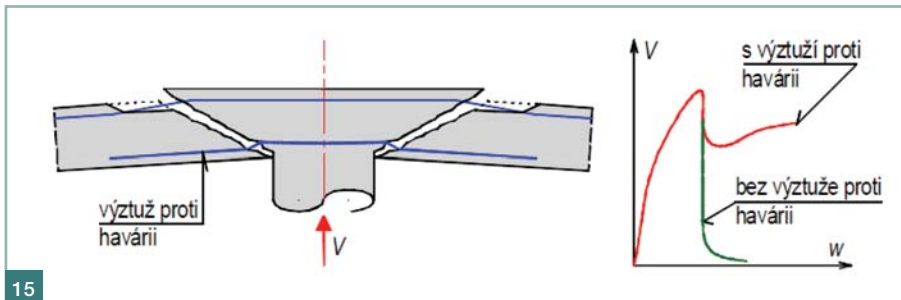
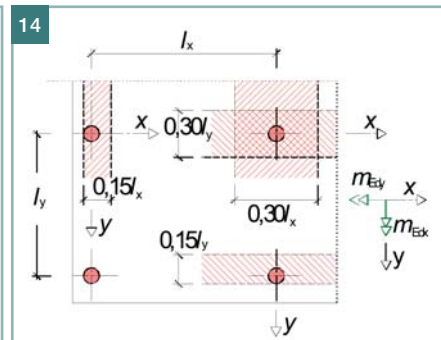
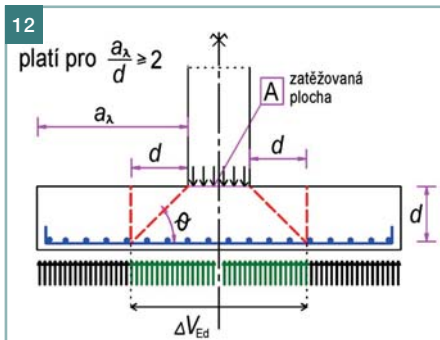
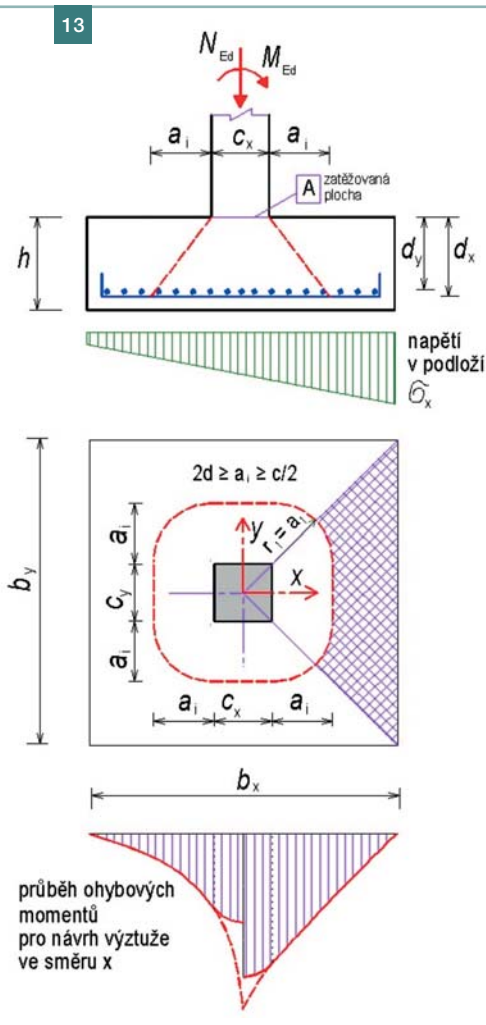
$$v_{Ed,1} = \beta V_{Ed} / (u_1 d) \leq k_{max} v_{Rd,c} \quad (12)$$

10a



10b





Tab. 3 Minimální ohybové momenty pro minimální vyztužení desky ■ Tab. 3 Minimum bending moments for minimum reinforcement of a flat slab

Poloha sloupu	Pro m_{Edx}			Pro m_{Edy}		
	horní výztuž	dolní výztuž	účinná šířka	horní výztuž	dolní výztuž	účinná šířka
Vnitřní sloup	-0,125	0	$0,3 l_y$	-0,125	0	$0,3 l_x$
Okrajový sloup (okraj rovnoběžný s osou x)	-0,25	0	$0,15 l_y$	-0,125	0,125	na 1 m
Okrajový sloup (okraj rovnoběžný s osou y)	-0,125	0,125	na 1 m	-0,25	0	$0,15 l_x$
Rohový sloup	-0,5	0,5	na 1 m	-0,5	0,5	na 1 m

kde $k_{max} = 2,09$, s tím, že v oblasti „C“ je nutné posoudit únosnost smykové výztuže podle vztahu

$$\beta V_{Ed} \leq V_{Rd,sy} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s \eta} \sum (A_{sy} \sin \alpha_i), \quad (13)$$

kde $\eta = 1,0$ pro $\beta V_{Ed}/V_{Rd,c} = 1,8$
a $\eta = 1,5$ pro $\beta V_{Ed}/V_{Rd,c} = 2,09$.

Ostatní parametry jsou stejné, jako u smykových trnů (délka oblasti, součinitel β_{red} apod.). Konstrukční zásady jsou rozdílné vzhledem k charakteru smykové výztuže (obr. 11).

Pozn.: I v návrhovém postupu pro speciální příhradovou výztuž je doporučeno kontrolovat maximální únosnost tlačené diagonály $V_{Rd,max}$ podle [1].

PROTLAČENÍ U ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ

U základových desek a patek je nutné posuzovat protlačení podle [1] iteračním postupem, protože koncentrované zatížení vyvozuje v základové spáře napětí zmenšující sílu v protlačení. Nejprve je nutné stanovit vzdálenost kontrolovaného obvodu a_{crit} od líce zatěžovací plochy. Tato vzdálenost má být v rozmezí $0,5d$ až $2d$. Iterační postup je pro ruční výpočet zdoluhavý, počítačové výstupy jsou hůře kontrolovatelné. Přitom může být rozhodující kontrolovaný obvod u jednotlivých patek nosného systému různý především z důvodu různého zatížení. Pro poddajné patky lze použít zjednodušení a uvažovat první kontrolovaný obvod ve vzdálenosti $0,5d$ od líce sloupu podle obr. 12. Poddajné patky jsou ty patky, u nichž je vzdálenost od okraje patky od líce sloupu větší než $2d$.

U základových patek nelze použít zjednodušujícího souči-

nitele β podle obr. 3, protože patky jsou z pohledu protlačení samostatné konstrukční prvky. Proto je optimální posuzovat nejvíce zatíženou výseč patky podle obr. 13.

Minimální vyztužení oblasti namáhané na protlačení

Při návrhu tahové výztuže je nutné zohlednit celou oblast namáhanou protlačení. Ve výpočtu smykové únosnosti se uvažuje vliv tahové výztuže. Přitom je možné uvažovat jen tu výztuž, která je dostatečně zakotvena za prvním kontrolovaným obvodem, který nevyžaduje smykovou výztuž. Dále je nutné splnit podmínku minimálního vyztužení, aby bylo možné vytvořit spolehlivý model náhradní příhradoviny. Minimální výztuž je definována na obr. 14 a v tab. 3.

Dále je nutné u stropních konstrukcí lokálně podepřených doplnit výztuž proti progresivnímu kolapsu. Funkcí této výztuže je zabránit řetězovému zřícení stropní desky (obr. 15). Při selhání stropní desky v protlačení by měla deska zůstat viset zavěšená na sloupech právě na této výztuži.

ZÁVĚR

Správný návrh oblasti namáhané protlačení obvykle rozhoduje o správné funkci nosné lokálně podepřené deskové konstrukce. Návrhy podle EC2 vycházejí v podstatě z modelů náhradní příhradoviny. Návrhové postupy tak lze i ověřit vytvořením vlastního konkrétního modelu. V současné době se jako výztuž na protlačení používají nejčastěji smykové trny, které mají speciální metodiku návrhu (ETA), která je v souladu s EN 1990 a všemi návrhovými normami včetně normy pro zatížení a plně využívá speciálních vlastnos-

Literatura:

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006
- [2] EN 1992-1-1:2004 prA1:2014
- [3] DIN EC 1992-1-1 včetně německého NA:2011-01. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Technische Baubestimmungen 2011
- [4] Feix J., Häusler F., Walkner R.: Necessary amendments to the rules for punching design according to EN 1992-1-1. In Design of concrete structures and bridges using eurocodes. 2nd international workshop 2011, Bratislava
- [5] Šmejkal J., Procházka J., Hanzlová H.: Navrhování na mezní stav porušení protlačení, Beton TKS 5/2011 str. 66–71 a Beton TKS 6/2011, str. 78–85
- [6] ETA-13-0521 Filigran-Durchstanzbewehrung.II. European technical approval Filigran Trägersysteme GmbH & Co.KG 13. 6. 2013
- [7] ETA-12/0454 Punching reinforcement. European technical approval Halfen GmbH, 18. 12. 2012

Obr. 12 Základová patka namáhaná na protlačení ■
Fig. 12 Footing with punching

Obr. 13 Výškové posouzení excentricky namáhané základové patky ■ Fig. 13 Cut-out verification of eccentrically loaded footing

Obr. 14 Minimální ohybové momenty pro minimální vyztužení desky ■ Fig. 14 Minimum bending moments for minimum reinforcement of a flat slab

Obr. 15 Vyztuž proti progresivní havárii stropní desky ■ Fig. 15 Reinforcement against progressive collapse of a flat slab

tí smykové výztuže. Výhody speciální smykové výztuže nelze využívat v rámci standardního návrhového postupu podle ČSN EN 1992-1-1 [1], protože by nebyla zajištěna dostatečná spolehlivost návrhu oblasti namáhané na protlačení, což je i přímo uvedeno v textu normy. Pokud provedeme návrh smykových trnů podle standardního návrhového postupu podle ČSN EN 1992-1-1 [1], je nutné vždy dodržet všechna ustanovení normy a nevyužijeme tak všech výhod smykové výztuže ve formě trnů s rozkovanými hlavami (tedy vyšší únosnost, větší rozestupy a podobně).

Tento příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru TA 02010837 Víceúčelový demontovatelný železobetonový prefabrikovaný stavební systém.

Ing. Jiří Šmejkal, CSc.
ŠPS statická kancelář
332 01 Tymákov 353
tel.: 608 548 788
e-mail: jiri.smejkal@email.cz



prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.
ČVUT v Praze, FSv
Katedra betonových a zděných konstrukcí
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
tel.: 224 354 633, 602 825 789
e-mail: jaroslav.prochazka@fsv.cvut.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.

CZECHSCAPE – PORTRÉT SOUČASNÉ KRAJINÁŘSKÉ ARCHITEKTURY

„Každý z nás je někde uvnitř architektem. První krok k tomu se jím stát by měla být cesta přírodou.“

Sverre Fehn

Publikace CzechScape představuje téma současné české krajinářské architektury. Kniha byla vydána u příležitosti stejnojmenné výstavy, která se konala v Galerii Jaroslava Fragnera v Praze 18. 6. až 9. 9. 2014. Její vydání se odehrálo v širším kontextu rostoucího zájmu veřejnosti



o toto téma a v průběhu druhého ročníku Landscape Festivalu v Praze.

Czechscape představuje několik desítek realizací, které jsou tematicky členěny do sedmi kapitol. Hlavních šest kapitol (krajina a venkov, soukromá zahrada, park a veřejná zahrada, zeleň komerčních objektů, veřejný prostor a veřejné intervence) je uvedeno sérií článků a esejí, v nichž autoři popisují vývoj krajinářské tvorby v Česku. Na ně navazuje první kapitola nazvaná iniciační projekty, představující některé z významných počínů předchozí generace krajinářských architektů.

Výběr projektů v publikaci Czechscape poukazuje na rozsah práce krajinářského architekta. Město, krajina a veřejný prostor mají mnoho poloh, ve kterých se jim můžeme snažit porozumět a pracovat s nimi. Krajinářští architekti musí dnes pracovat v hybridním prostředí, ve kterém jsou hranice jednotlivých oborů dynamické a rozostřené. Dělalí tak z krajinářské architektury velmi komplexní a zajímavou disciplínu.

Při práci s krajinou, nebo veřejným prostorem je důležité dokonale porozumění danému místu a uvědomění si existujících vztahů a vazeb. Krajinářská architektura není pouze o kráse. Krása je otázkou vkusu a ten se liší u každého z nás. „Dobrý veřejný prostor by měl být generátorem aktivit, které se v něm dějí. Smyslem je pochopit dané místo, jeho příběh a aktivity, které danou lokalitu utvářely a pokusit se na ně navázat. Takto nastolená kontinuita pak dokáže zachovat Genia loci, atmosféru a identitu daného místa.“ Říká Frans Boots, nizozemský krajinářský architekt.

CzechScape představuje množství velmi dobrých realizací různých měřítek a v různých lokalitách. Kniha také reflektuje na měnící se povahu veřejného prostoru a naší roli v ní. V poslední kapitole (veřejné intervence) je představena skupina „neoficiálně“ organizovaných projektů poukazujících na různé aspekty veřejného prostoru.

Nizozemský architekt Adriaan Geuze zavádí nový termín – veřejná krajina. Upouští v ní od jasného definování funkcí v navrhovaném prostoru a vytváří hybridní, flexibilní místa, která dovolují experimentování a sebevyjádření. Místa, která vybízejí obyvatele města k aktivnímu přístupu a pomáhají měnit anonymitu v představení, diváka na umělce. Taková místa mají schopnost navracet fantazii a pomáhat znovu nalézt identitu.

CzechScape je rozhodně zajímavou publikací, mapující vývoj a současnost české krajinářské architektury. Je odrazem jejího stavu – snahy o přiblížení se k západu, ale zároveň o hledání osobitého vyjádření a svého místa v Evropě.

Ing. arch. Ivo Jelínek

vydavatel: Galerie Jaroslava Fragnera
vydání: česko-anglické
formát: 27,8 × 21,5 cm, brožovaná
počet stran: 289
ISBN 978-80-905782-3-4