

OPATRENIA NA OBMEDZENIE VZNIKU SKORÝCH DELIACICH TRHLÍN V ZÁKLADOVÝCH DOSKÁCH ■ MEASURES TO REDUCE THE FORMATION OF EARLY-AGE THROUGH CRACKS IN FOUNDATION SLABS

Juraj Bilčík, Robert Sonnenschein

Navrhovanie betónových stavieb sa sústreďuje najmä na účinky priameho zaťaženia z hľadiska bezpečnosti konštrukcie. V súvislosti s používaním masívnych betónových konštrukcií a nových technológií (vodonepriepustné betónové konštrukcie, integrované mosty a pod.) narastá potreba zohľadniť aj účinky nepriameho zaťaženia. Vzhľadom na význam presakujúcich trhlín na použiteľnosť a trvanlivosť betónových konštrukcií sa v príspevku analyzujú príčiny vzniku skorých trhlín a opatrenia na ich obmedzenie od objemových zmien betónu. ■ The design of concrete structures is particularly concentrated on the effects of the direct loads in terms of structural safety. In connection with the use of mass concrete structures and new technologies (integral bridges, etc.) there is a growing need to take into account the effects of indirect loads. Considering the importance of leaking cracks on the serviceability and durability of concrete structures the paper analyses the causes of the formation of early-age cracks and measures to reduce their occurrence due to volume changes in concrete.

Funkčná účelnosť – pevnosť, tvarovateľnosť a trvanlivosť – sú hlavné dôvody prečo je betón najpoužívanejší stavebný materiál. Okrem nosnej funkcie sa často využívajú aj jeho ďalšie vlastnosti, ako napr. vodonepriepustnosť alebo odolnosť proti požiaru. Pre podzemné podlažia budov, kde má betón okrem nosnej aj hydroizolačnú funkciu, sa zaužíval názov biele vane. Druhé vydanie nemeckej smernice [1] uvádza pre tento typ konštrukcie výstižnejšie označenie – vodonepriepustné vane (ďalej VV). Výhody VV sú natoľko evidentné, že dosiahli – tak, ako to je už dlhšie v Nemecku a Rakúsku – dominantné postavenie aj pri zakladaní budov v Česku a na Slovensku. Aj napriek dlhoročným skúsenostiam so zhotovovaním VV sa však projektanti i zhotoviteľia často dopúšťajú chýb, ktoré zhoršujú renomé tejto pokrokovej technológie.

V úvode je vhodné uviesť aktuálne platné predpisy pre vodonepriepustné vane. V marci 2012 vydala Slovenská komora stavebných inžinierov Smernicu pre vodonepriepustné betónové konštrukcie – biele vane (SmeBV) [2]. Smernica je kompatibilná s pôvod-

nou nemeckou smernicou [3] a jej komentárom [4] a je doplnená o špeciálne požiadavky súvisiace s navrhovaním, zhotovovaním a skúšaním VV. Od roku 2006 bol v ČR k dispozícii český preklad rakúskej smernice [5]. Česká betonárska spoločnosť vydala v roku 2015 preklad nemeckej smernice [2] a komentára [3] pod názvom TP ČBS 04 Vodonepriepustné betónové konštrukcie [6]. Rakúska a nemecká smernica vychádzajú z čiastočne odlišných predpokladov, preto nie je možné tieto dve smernice kombinovať.

Ako je z uvedeného zrejmé, na navrhovanie vodonepriepustných vaní sa môžu používať viaceré smernice. Pri vyvodzovaní zodpovednosti za chyby a poruchy VV treba kontrolovať dodržiavanie zmluvne dohodnutých smerníc, resp. noriem. Pri hľadaní príčin porúch VV sa návrh a zhotovenie konštrukcie porovnáva s aktuálnym stavom poznania, ktoré sa neustále vyvíja. Druhé vydanie nemeckej smernice [1] zohľadňuje spätnú väzbu na požiadavky a skúsenosti pri zhotovovaní vodonepriepustných vaní a striech, ako aj zmeny v základných normách a národných prílohách.

V masívnom betóne je približne dvadsať percent trhlín vyvolaných účinkami priameho zaťaženia, zvyšok je následok vynútených napätí od objemových zmien betónu [7]. Napätia vyvolávajúce vznik „skorých trhlín“ (štandardne do siedmich dní) sú väčšinou dôsledok teplotných zmien od hydratácie cementu. V tomto relatívne krátkom čase je zmršťovanie od vysychania betónu pomerne malé a prebieha v povrchovej vrstve (plastické trhliny). Autogénne zmršťovanie betónu s pevnostnou triedou do C25/30 je zanedbateľné. Pri hľadaní príčin vzniku skorých deliacich trhlín sa preto treba sústrediť na teplotné účinky a vonkajšie väzby obmedzujúce deformácie betónu. Ak skoré trhliny vznikajú od vynútených napätí pri poklese teploty betónu, tieto často prechádzajú cez celý prierez. Deliace trhliny všeobecne neohrozujú statickú odolnosť betónovej konštrukcie, sú však často príčinou priesaku vody (obr. 1), čím obmedzujú použiteľnosť a trvanlivosť vodonepriepustných konštrukcií.



Na obmedzenie nadmerného množstva presakujúcich trhlín od teplotných zmien betónu sa používajú konštrukčné, technologické a výrobné opatrenia.

OBMEDZENIE VYNÚTENÝCH NAPÄTÍ V ZÁKLADOVÝCH DOSKÁCH

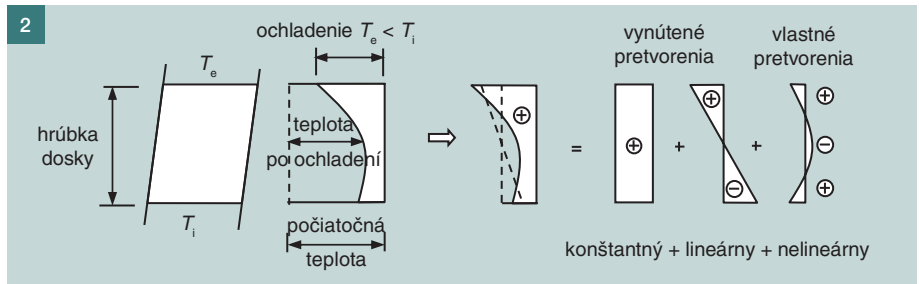
Základové dosky sú priestorové nosné prvky, ktoré roznášajú zaťaženia z konštrukcie do základovej zeminou. Sú vo vzvislej a vodorovnej interakcii so zemnou. Trhliny vznikajú od ťahových, ohybových alebo šmykových napätí od priamych zaťažení alebo od obmedzenia vynútených deformácií. Pretvorenie základovej dosky je viac či menej obmedzené vonkajšími väzbami (napr. trením so základovou zemnou, pilótami, šachtami) alebo vnútornými väzbami (napr. výstužou, teplotnými rozdielmi po priereze). Pri výskyte silnejších vonkajších väzieb môžu byť účinky vnútorných väzieb zanedbateľné [8].

Počas tuhnutia a tvrdnutia vzniká v dôsledku rozdielných okrajových podmienok, najmä v masívnom betóne, nelineárne rozdelenie teplôt po výške prierezu. Pri analýze s tým súvisiacich pretvorení sa tieto rozdeľujú na vynútené (lineárne zložky) a vlastné (nelineárna zložka) (obr. 2). Pri vyšetrení vzniku a rozvoja deliacich trhlín sú rozhodujúce vynútené pretvorenia. Vlastné pretvorenie vyvoláva najmä povrchové trhliny. Podrobnejšie sa vznikom trhlín od vlastných (samorovnovážnych) napätí zaoberá článok [9].

Na zistenie vplyvu obmedzenia deformácií (pretvorení) v základových doskách vonkajšími väzbami sa najčastejšie používajú dva modely. Prvý mo-

Obr. 1 Presakujúca deliaca trhlina v základovej doske ■ Fig. 1 Leaking through crack in a foundation slab

Obr. 2 Rozdelenie teploty a pomerných pretvorení po výške základovej dosky pri chladnutí betónu [10] ■ Fig. 2 Distribution of temperature and strains along the depth of the foundation slab at concrete cooling [10]



del predpokladá posun dosky po tuhom podloží s aktiváciou trenia na ich styku. Tento model je vhodný pre tenšie, resp. kratšie základové dosky. S narastajúcou hrúbkou, resp. dĺžkou základovej dosky sa znižuje význam trenia a zvyšuje účinok spolupôsobenia (interakcie) medzi doskou a základovou zemínou. Pre tento model je významný parameter pružnosť základovej zeminy [11].

MODEL TRENIA

Ťahovú silu *N* v základovej doske je možné vypočítať zo vzorca:

$$N = \frac{1}{2} \mu l b h \gamma_c, \tag{1}$$

kde μ je súčiniteľ trenia medzi základovou doskou a zemínou, *l* dĺžka, *b* šírka a *h* hrúbka základovej dosky a γ_c objemová tiaž betónu. Zo vzorca (1) je zrejmé, že ťahová sila je funkciou súčiniteľa trenia a dĺžky dosky. Zmenšenie ťahovej sily *N* je možné dosiahnuť:

- vyhladením povrchu podkladového betónu a klznými vrstvami na zmenšenie súčiniteľa trenia,
- zmenšením dĺžky betónovacích úsekov.

V tab. 1 je porovnanie účinkov povrchových úprav a klzných vrstiev na súčiniteľ trenia.

INTERAKČNÝ MODEL

Pomocou 3D MKP modelu [11] bol vypočítaný vplyv hrúbky základovej dosky a vonkajších obmedzení pretvorenia na vynútené ťahové napätia pri poklese teploty od hydratácie cementu. Pri zohľadnení vodorovnej plastizácie zákla-

dovej zeminy a jej deformačnej kompatibility so základovou doskou bola odvodená maximálna hodnota ťahovej sily v základovej doske N_{max} :

$$N_{max} = -\epsilon_0 E_c A_c \frac{1}{1 + \frac{E_c A_c}{E_E A_E}}, \tag{2}$$

kde ϵ_0 je pomerné pretvorenie betónu, E_c modul pružnosti betónu, A_c plocha betónu, E_E vodorovný modul pružnosti základovej zeminy a A_E aktivovaná plocha zeminy.

Z interakčného modelu získané zavery o riziku vzniku a type trhlín v základových doskách sa nezhodujú s v správe CIRIA C660 [13] uvedeným modelom. Ten vychádza z predpokladu, že tvorba deliacich trhlín v hrubších doskách sa formuje v jadre prierezu, kde je najväčší teplotný rozdiel (obr. 3). Príčinou rozdielnych výsledkov môžu byť väčšie hrúbky základovej dosky uvažované v správe CIRIA C660.

Riziko vzniku deliacich trhlín ovplyvňujú viaceré činitele, napr. pokles teploty počas prvej zimy, keď základová doska ešte nie je zastavaná. Bolo preukázané, že rozdiel strednej teploty betónu základovej dosky T_{max} po betonovaní a T_{min} v zime je najčastejšou príčinou vzniku neskorých deliacich trhlín.

OPATRENIA NA OBMEDZENIE VZNIKU SKORÝCH TRHLÍN

V ďalšom sa stručne analyzujú konštrukčné, technologické a výrobné opatrenia na zmenšenie teplotných rozdielov a obmedzení (väzieb), a tým aj rizika vzniku skorých trhlín.

Konštrukčné opatrenia

Konštrukčné opatrenia zamerané na redukciiu obmedzení vynútených deformácií (väzieb) sú jedným z ekonomicky najúčinnějších metód na zmenšenie rizika vzniku skorých trhlín. Pre základové dosky sa odporúčajú nasledovné konštrukčné opatrenia a ich kombinácie [1]:

- zmenšenie trenia vyhladením povrchu podkladového betónu,
- použitie klzných vrstiev,
- rovný spodný povrch základovej dosky,
- rozdelenie základovej dosky pracovnými škárami,
- predpätie základovej dosky.

Medzi konštrukčné opatrenia na obmedzenie vzniku a rozvoja deliacich trhlín v základovej doske patrí úprava základovej škáry tak, aby bolo uľahčene pretvorenie dosky od objemových zmien. Na tento účel sa odporúča vytvorenie rovnej spodnej plochy základovej dosky, bez väzieb na základové pásy, pätky, pilóty, podzemné steny a pod. Nepriaznivý účinok výškového členenia základovej škáry (výťahové šachty, inštaláčne kanály a pod.) je možné obmedziť vytvorením nábehov pod uhlom približne 30° alebo vložením mäkkého pružného panelu (obr. 4).

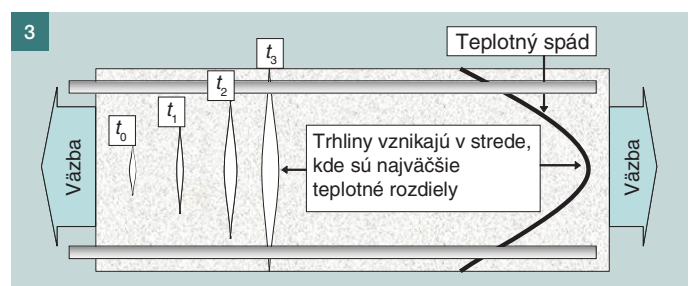
Zmenšenia vynútených napätí v základovej doske je možné dosiahnuť aj členením základovej dosky na betónovacie úseky. Rozdelenie základovej dosky a stien pracovnými škárami by mal navrhnúť projektant po dohode so zhotoviteľom.

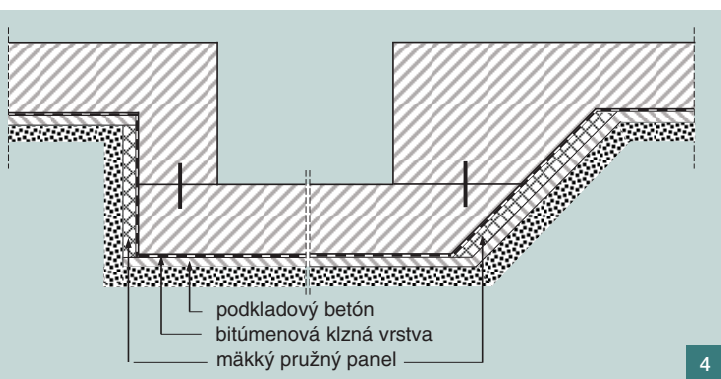
V americkej norme [15] sa pre zákla-

Tab. 1 Súčinitele trenia pre rôzne úpravy základovej škáry [12] ■ Tab. 1 Friction coefficients for different slide bearings between the foundation and subsoil [12]

Podkladová vrstva	Klzná vrstva	Súčiniteľ trenia μ
Štrk	bez klznej vrstvy	1,4 – 2,1
Piesok	bez klznej vrstvy	0,9 – 1,1
Súdržná zemina	bez klznej vrstvy	0,5 – 0,8
Podkladový betón hladný	1 vrstva PE fólie	0,8 – 1,4
Podkladový betón hladný	2 vrstvy PE fólie	0,6 – 1,0
Podkladový betón drsný	2 vrstvy PE fólie	max. 2,0 (<i>h</i> = 0,3 m) max. 1,3 (<i>h</i> ≥ 1,5 m)
Podkladový betón drsný	1 až 2 vrstvy bitúmenových pásov	≈ 0,45 (<i>h</i> = 0,3 m) ≈ 0,2 (<i>h</i> ≥ 1,5 m)

Obr. 3 Rozvoj trhlín v hrubšej základovej doske s okrajovými vonkajšími väzbami [13] ■ Fig. 3 Development of cracks in a thicker foundation slab with edge restraints [13]





Obr. 4 Vloženie mäkkého pružného panelu (vľavo) a/alebo vytvorenie nábehu (vpravo) [14]
 ■ Fig. 4 Insertion of a soft elastic panel (on the left) and/or creating a slope (on the right) [14]

dové dosky odporúčajú zmršťovacie pásy, a naopak neodporúčajú sa šachovnicové betónovacie úseky. Zdôvodnené je to tým, že časové rozdiely medzi šachovnicovými úsekmi sú malé na zmenšenie účinkov zmršťovania. Pri základových doskách je podiel zmršťovania počas prvých troch mesiacoch takmer zanedbateľný, takže zmršťovacie pásy nie sú účinné, najmä pri hrubších základových doskách [16]. Vplyvom obmedzenia deformácie rovnobežne so zmršťovacím pásmom vznikajú ťahové napätia a následne často aj trhliny kolmé na pracovnú škáru. Preto sa zmršťovacie pásy neodporúčajú.

V strednej Európe sa uprednostňujú šachovnicovo rozdelené betónovacie úseky (do 1 000 m²), ktoré účinne znižujú vonkajšie väzby základovej dosky od teplotných účinkov (obr. 5). Časový posun zhotovovania susedných betónovacích úsekov by mal byť minimálny.

V súčasnosti sa presadzujú betónové konštrukcie bez dilatačných škár, pretože tie v základových doskách zvyšujú riziko priesaku podzemnej vody, a rozdeľovacie škáry sa robia, ak treba eliminovať účinky nerovnomerného sadania.

V špeciálnych prípadoch môže byť na obmedzenie skorých trhlín vhodné aj predpätia základovej dosky a/alebo steny.

Technologické opatrenia

Na zmenšenie rizika vzniku skorých trhlín v betóne od teplotných účinkov sa používajú viaceré technologické opatrenia. Sem patrí napr. zníženie súčiniteľa teplotnej rozťažnosti betónu (výber kameniva), zvýšenie pretvornosti betónu v ťahu (polymérne prísady) a zmenšenie maximálnej teploty betónu. Na zmenšenie rizika vzniku skorých trhlín v betóne od teplotných účinkov sa používajú najmä tieto technologické opatrenia [1]:

- použitie betónu s nízkym vývojom hydratačného tepla,
- chladenie čerstvého betónu.

V masívnych konštrukciách predstavuje vývoj a veľkosť hydratačného tepla najvýznamnejší parameter z hľadiska objemových zmien betónu. Hydratácia cementu je exotermická reakcia, ktorá je najčastejšou príčinou vzniku a rozvoja skorých trhlín. Nárast teploty v konštrukcii by mal byť čo najpomalší a zároveň maximálna teplota betónu v jadre by mala byť čo najnižšia (do 50 °C), ak nie je špecifikované inak [4].

Zníženie teploty čerstvého betónu pri jeho spracovaní je účinná metóda na zníženie napätí od teplotných zmien a tým aj rizika vzniku trhlín. V masívnych konštrukciách zníženie teploty čerstvého betónu o 6 K spôsobí pokles maximálnej teploty tvrdnúcего betónu o približne 3 K [18]. Nahradenie všetkej

zámesovej vody ľadovou drťou umožňuje znížiť teplotu čerstvého betónu o približne 11 K. Ak treba znížiť teplotu čerstvého betónu o viac ako 11 K je vhodné použiť na chladenie tekutý dusík v betonárke alebo počas transportu v domiešavači.

Podrobnejšie sa technologické opatrenia uvádzajú v smerniciach [2], [3], [6].

Výrobné opatrenia

Zhotovovanie základových dosiek vyžaduje dodržiavanie všeobecných požiadaviek platných pre zhotovovanie betónových konštrukcií podľa STN (ČSN) EN 13670 [19].

Medzi dôležité výrobné opatrenia, ktoré môžu obmedziť tvorbu skorých trhlín patria [1]:

- včasný začiatok ošetrovania betónu,
- ochrana pred priamym slnečným žiarením,
- voľba vhodného času betónovania,
- použitie tepelnej izolácie po prekročení maximálnej teploty betónu.

Betón je schopný bez trhlín prenieť pomerné pretvorenia 0,1 až 0,2 %, čomu zodpovedá zmena teploty o 10 až 20 K [20]. Tento pomerne široký rozsah je dôsledok rôznych súčiniteľov dotvarovania, podmienok tvrdnutia betónu a teplotného spádu.

NÁVRH VÝSTUŽE

Návrh a overenie výstuže na účinky priameho zaťaženia pre MSÚ sa riadi EN 1992-1-1 [21]. Komplexný návrh geometrie a vystuženia základových dosiek na ohyb a pretlačenie uvádza aj článok [22].

Železobetónové prvky vodonepriepustných konštrukcií sú spravidla vystužené betonárskou výstužou v tvare pravouhlej siete pri oboch povrchoch. Ak má výstuž obmedzovať aj šírku trhlín postupuje sa pri návrhu výstuže a kontrole šírky trhlín podľa EN 1992-1-1 nasledovne:

- návrh minimálnej plochy výstuže na obmedzenie šírky trhlín,
- overenie navrhutej výstuže kontrolou šírky trhlín:
 - bez priameho výpočtu alebo
 - výpočtom šírky trhlín.

Návrh výstuže na kontrolu šírky trhlín bez priameho výpočtu, aj výpočtom sa podrobne analyzuje v článkoch [23], [24]. Návrh výstuže, ako aj výpočet šírky trhlín je založený na viacerých predpokladoch a zjednodušeníach. Ako hlavné príčiny rozdielov medzi vypočítanou a skutočnou šírkou trhlín možno označiť:

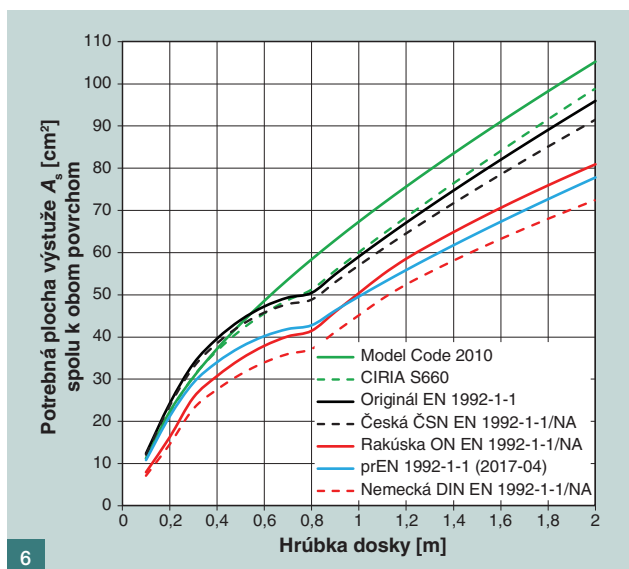
Obr. 5 a) Betónovací úsek základovej dosky, b) šachovnicovo rozdelené betónovacie úseky [17]
 Fig. 5 a) Concrete sequence of a foundation slab, b) checkerboard-like casting sequences [17]



4	5	8	11
1	2	6	9
3	7	10	12

→
Smer betonáže

Obr. 6 Porovnanie potrebnej plochy výstuže podľa NDP v tab. 2, Model Code 2010 a CIRIA C660
 Fig. 6 Comparison of the required reinforcement area according to NDP in Tab. 2, Model Code 2010 and CIRIA C660



- zjednodušenia výpočtového modelu,
- rozptyl skutočných účinkov a materiálových vlastností,
- kvalitu zhotovenia.

Účinky nepriameho zaťaženia sa zanedbávajú a často sa výstuž plošných prvkov v smere kolmo na výstuž pre priame zaťaženia navrhuje podľa zásad pre rozdeľovaciu výstuž. Zanedbaním účinku nepriamych zaťažení dochádza k poddimenzovaniu výstuže a vzniku deliacich trhlin nekontrolovanej šírky.

NÁVRH VÝSTUŽE NA KONTROLU ŠÍRKY TRHLÍN

Pri návrhu výstuže na kontrolu šírky trhlin sa v nemeckej smernici postupuje podľa EN 1992-1-1, rakúska smernica používa vlastné nomogramy. Používaním prekladu nemeckej smernice [6] v Česku a Sme-BV [2] na Slovensku sa zjednotí postup pri návrhu výstuže. Určité rozdiely v ploche výstuže na kontrolu šírky trhlin vznikajú použitím národne definovaných parametrov (NDP) v národných prílohách k EN 1992-1-1 (tab. 2). Slovenská národná príloha je v kapitole 7.3 „Kontrola trhlin“ identic-

ká s originálnou verziou EN 1992-1-1.

Pri návrhu a overovaní výstuže na kontrolu šírky skorých trhlin projektant počíta s účinnou pevnosťou betónu v ťahu v čase vzniku skorých trhlin $f_{ct,eff}$. V niektorých národných prílohách (tab. 2) je uvedená hodnota $f_{ct,eff} = 0,5 \cdot f_{ctm}$ (min. 1,5 MPa). V originálnej EN 1992-1-1, ako aj v prEN 1992-1-1 sa $f_{ctm}(t)$ vypočíta v závislosti na čase vzniku prvej trhliny z rovnice 3.4 [21]. Ak chýbajú informácie o zložení betónu je možné hodnotu účinnej pevnosti betónu v ťahu $f_{ct,eff}$ uvažovať nasledovne [25]:

- vznik prvej trhliny do 3 dní od betónáže $0,65 f_{ctm}$,
- vznik prvej trhliny do 5 dní od betónáže $0,75 f_{ctm}$,
- vznik prvej trhliny do 7 dní od betónáže $0,85 f_{ctm}$.

Porovnanie plochy výstuže na obr. 6 bolo urobené použitím NDP z tab. 2, pracovnej verzie prEN 1992-1-1 [26], Model Code 2010 [27] a CIRIA C660 [13]. Porovnanie je urobené pre tieto vstupné parametre:

- pevnostná trieda betónu C25/30, trieda počiatočnej pevnosti cementu L,

Tab. 2 Národne definované parametre podľa EN 1992-1-1

Tab. 2 Nationally determined parameters according to EN 1992-1-1

Parametre	Originál STN EN 1992-1-1	Nemecká národná príloha	Česká národná príloha [23]	Rakúska národná príloha	prEN 1992-1-1 (2017-04)
k_1	0,8 1,6	1,0	0,8 1,6	0,8 1,6	0,8 1,6
k_2	0,5 1,0	1,0	0,5 1,0	0,5 1,0	1,0
k_3	3,4	0	$3,4(25/c)^{2/3}$	0	2,0
k_4	0,425	1/3,6	0,425	1/3,6	0,35
$h_{c,ef}$	$2,5d_1$	$(2,5 \pm 5,0)d_1$	$2,5d_1$	$(2,5 \pm 5,0)d_1$	$2,5d_1$
k	$h \leq 0,3$ m	1,0	0,8	1,0	1,0
	$h \geq 0,8$ m	0,65	0,5	0,65	0,65
$f_{ct,eff}$	$f_{ctm}(t)$	$0,5f_{ctm}$ 1,5 MPa	$0,5f_{ctm}$	$0,5f_{ctm}$ 1,5 MPa	$f_{ctm}(t)$

REKONSTRUKCE PLZEŇSKÉHO PIVOVARU SVĚTOVAR

Bývalý český pivovar Světovar v Plzni, který je od roku 2008 kulturní památkou, se po své rekonstrukci stane součástí technologického centra Dronet, které si klade za cíl přilákat do Plzně společnosti podnikající v oblasti výroby dronů a vývoje softwarových aplikací spojených s využíváním dronů v praxi. Centrum Dronet vzniklo z iniciativy Správy informačních technologií města Plzeň a zaměřuje se na podporu firem z oboru bezpilotního letectvého průmyslu. Hlavní objekt v současné době zahrnuje komplex pronajímatel- ných kanceláří, prototypových výrobních, testovacích, výstavních a přednáškových prostor, zasedacích místností a doprovodných prostor pro zaměstnance a provozní techniky.

Podkladem připravované projektové dokumentace, kterou zpracovává tým Obermeyer Helika, je architektonická studie technologického centra Dronet, jejímiž autory jsou akad. arch. Milan Varvařovský s MgA. Terezou Varvařovskou. Nově je v ní specifikována budoucí náplň objektu dle požadavku investora, jímž je statutární město Plzeň. Součástí projektu je i rekonstrukce vily, doplňkového objektu bývalého pivovaru, který bude nově využit pro kanceláře, dílny a zázemí pro zaměstnance.

zdroj: tisková zpráva Obermeyer Helika, a. s.



Literatúra:

- [1] *DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton*. Berlin: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2017.
- [2] *Smernica pre vodonepriepustné betónové konštrukcie – biele vane*. SKSI, 2012.
- [3] *DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton*. Berlin: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2003.
- [4] *Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton*. Berlin: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2006.
- [5] *Richtlinie: Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weisse Wannen*. Wien: Österreichischer Betonverein, 2002.
- [6] *Technická pravidla ČBS 04. Vodonepropustné betonové konstrukce (preklad nemeckej smernice a komentára)*. Praha: ČBS ČSSI, 2015.
- [7] SHI, N., OUYANG, J., ZHANG, R., HUANG, D. Experimental Study on Early-Age Crack of Mass Concrete under the Controlled Temperature History. *Advances in Materials Science and Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 2014. 10.1155/2014/671795, p. 1–10.
- [8] ACI 207.2R-07. *Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete*. ACI Committee 207. Farmington Hills, MI, U.S.A.: American Concrete Institute, 2007.
- [9] VINKLER, M., PROCHÁZKA, J. Vznik trhlin v betonu vlivem nesilových účinků. *Beton TKS*. 2016, roč. 16, č. 1, str. 49–55.
- [10] SPRINGENSCHMID, R. Die Ermittlung von Spannungen infolge von Schwinden und Hydratationswärme in Beton. *Beton- und Stahlbetonbau*. 1984, Vol. 79, No. 10, s. 263–269.
- [11] SCHLICKE, D., TUE, N. V. Minimum reinforcement for crack width control in restrained concrete members considering the deformation compatibility. *Structural Concrete*. 2015, No. 2, p. 221–232.
- [12] SCHWEIGHOFER, A., KOLLEGGER, J. Reibungsfreie Gleitlagerungen für Vorgespannte Bodenplatten. *Beton und Stahlbetonbau*. 2013, Vol. 108, No. 5, s. 335–345.
- [13] BAMFORTH, P. B. *Early-age thermal crack control in concrete*. London: CIRIA C660, 2007.
- [14] EBELING, K. Die neue WU-Richtlinie. *Beton*. 2004, Vol. 7+8, s. 356–359.
- [15] ACI 302.1R-04. *Guide for Concrete Floor and Slab Construction*. ACI Committee 302. Farmington Hills, MI, U.S.A.: American Concrete Institute, 2004.
- [16] VÍTEK, J. L. Objemové zmeny betónu v konštrukciách budov. *Stavebné materiály*. 2009.
- [17] FASTABEND, M., DOERING, N., SCHÜCKER, B. Konstruktionserfahrungen mit ausgedehnten Weißen Wannen. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2006, Vol. 101, No. 7, s. 479–489.
- [18] MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 3rd ed. McGraw-Hill, 2006.
- [19] STN EN 13670. *Zhotovovanie betónových konštrukcií*. 2010.
- [20] *fib Bulletin No. 53. Structural Concrete*. Volume No. 3. Lausanne, Switzerland: fib, 2010.
- [21] EN 1992-1-1. *Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. CEN, 2004.
- [22] SMUTEK, M. Komplexní návrh základových desek. *Beton TKS*. 2018, roč. 18, č. 1, s. 62–68.
- [23] ŠMEJKAL, J., PROCHÁZKA, J. Výpočet šířky trhlin – 1. část. *Beton TKS*. 2014, roč. 14, č. 6, s. 68–76.
- [24] ŠMEJKAL, J., PROCHÁZKA, J. Výpočet šířky trhlin – 2. část. *Beton TKS*. 2015, roč. 15, č. 1, s. 72–78.
- [25] KRAUSE, H. J., HORSTMANN, M. Planung und Bemessung von WU-Konstruktionen – Entwurfsgrundsätze und deren statisch konstruktive Umsetzung. *Beton- und Stahlbetonbau, Spezial 2018 – WU-Bauwerke aus Beton*. s. 20–35.
- [26] prEN 1992-1-1. *Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. 2017.
- [27] *Model Code 2010. fib Model Code for Concrete Structures*. Berlin, Germany: Ernst und Sohn, 2013.
- [28] EMPELMANN, M., KRAKOWSKI, W. Erweitertes Modell zur Berechnung der Rissbreite. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2015, No. 7, Vol. 110, s. 458–467.

- trieda výstuže B 500B s priemerom 16 mm,
- trieda konštrukcie S3, stupeň prostredia XC2/XC3 => minimálne krytie výstuže 30 mm,
- maximálna prípustná šírka trhliny $w_{k,max} = 0,2$ mm,
- vek betónu v čase vzniku prvej trhliny $t = 5$ dní.

Pri interpretácii prezentovaných výsledkov treba zobrať do úvahy, že podľa nemeckej DIN EN 1992-1-1/NA a rakúskej ON EN 1992-1-1/NA sa šírka trhliny počíta v úrovni výstuže, zatiaľ čo podľa ostatných národných príloh sa počíta na povrchu betónu. V úrovni výstuže je meraná šírka trhlín takmer nezávislá od hrúbky betónovej krycej vrstvy. Rozdiel medzi šírkou trhliny v úrovni výstuže a na povrchu betónu pri napätí výstuže $\sigma_s = 250$ MPa je v priemere približne $\Delta w \approx 0,1$ mm. Táto odchýlka narastá so zvyšujúcim sa napätím vo výstuži a hrúbkou betónovej krycej vrstvy [28]. Výpočet šírky trhlín v úrovni výstuže umožňuje ušetriť približne 20 % plochy výstuže, čím sa na druhej strane znižuje pravdepodobnosť samoutsedenia trhlín.

ZÁVERY

Pri navrhovaní vodonepriepustných vaní je treba zabezpečiť vodonepriepustnosť obvodových prvkov v styku s vlhkosťou alebo podzemnou vodou. Najvyšší hydrostatický tlak od zadrživanej zrážkovej alebo podzemnej vody pôsobí na základové dosky. Z uvedeného vyplýva, že základové dosky sú vystavené zvýšenému riziku plošných alebo líniových priesakov vody. V masívnych základových doskách sa vyskytujú prevažne líniové priesaky cez deliace trhliny alebo netesné pracovné škáry.

V článku sa konštatuje, že hlavnou príčinou vzniku skorých deliacich trhlín v betóne sú zmeny teploty od účinkov hydratačného tepla. Autori analyzujú a hodnotia konštrukčné, technologické a výrobné opatrenia na obmedzenie vzniku skorých deliacich trhlín. Záverečná časť príspevku je venovaná návrhu výstuže na kontrolu šírky trhlín podľa existujúcich a pripravovaných noriem. Porovnanie výsledkov vedie k záveru, že i pri navrhovaní podľa spoločnej normy EN 1992-1-1 dochádza aplikáciou národných príloh k pomerne veľkému rozptylu výstuže. Najme-

nej výstuže vychádza podľa nemeckej národnej prílohy, čo zrejme súvisí s náskokom v teórii navrhovania, dlhodobými skúsenosťami a technologickou disciplínou pri zhotovovaní vodonepriepustných vaní.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0658 a výskumným projektom VEGA č. 1/0456/17 „Nelineárna analýza betónových a spriahnutých konštrukcií“.

prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.

e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk



Ing. Robert Sonnenschein, PhD.

e-mail: robert.sonnenschein@stuba.sk



oba: Stavebná fakulta STU
v Bratislave
Katedra betónových konštrukcií
a mostov

Text článku byl posouzen odborným lektorem.
The text was reviewed.