

Oslabená oblasť v obvodových plášťoch na báze pórobetónu

Pórobetónové obvodové plášte panelového typu sú charakteristické rozsiahlymi nedostatkami prejavujúcimi sa neusporiadanou sieťou trhlin (obr. 1). Rozširovanie predmetnej degradácie by mohlo mať nepriaznivý vplyv na možnosť zmeny kvality tepelnej ochrany daných stavebných konštrukcií pomocou kontaktných tepelnoizolačných systémov (zateplovania).



Obr. 1 Pohľad na obvodový plášť na báze pórobetónu porušený sieťou trhlin

Okolo každej trhliny existuje istá takzvaná oslabená oblasť, v ktorej sa prejavuje vplyv prítomnosti trhliny na únosnosť rozperných kotiev. Aby sa mohol vyčísliť účinkov porušenia obvodového plášte trhlina na únosnosť rozperných kotiev, musela sa laboratórne stanoviť oslabená oblasť.

Východiskové hodnoty

Miera výskytu trhlin sa pohybuje na úrovni asi 75 %. Z toho vyplýva, že je nevyhnutné dôsledne riešiť stabilitu ETICS pri aplikácii na obvodové plášte na báze pórobetónu. S rastúcim výskytom trhlin totiž rastie aj pravdepodobnosť kotvenia ETICS do trhliny alebo do jej blízkosti, ktorú vo všeobecnosti možno považovať za oslabenú oblasť.

Z technických obhliadok obvodových plášťov na báze pórobetónu vykonaných počas merania a skúšok in situ sa zistil vysoký výskyt trhlin s rozličnou šírkou, zväčša v štvoruholníkovom rastru. Trhliny nezriedka prechádzajú celou hrúbkou obvodového plášte a prejavujú sa na vnútornom povrchu. Ich prítomnosť a namáhanie môže urýchľovať degradáciu obvodového plášte, čo môže vyústiť až do toho, že nemožno

užívať byty z dôvodu nesplnenia hygienických kritérií a/alebo znemožnenia mechanického prichytávania ETICS pri obnove budov.

Z výsledkov výťažných skúšok rozperných kotiev in situ (obr. 2) vyplýva, že existuje priama závislosť medzi únosnosťou rozperných kotiev a vzdialenosťou ich situovania od trhliny. Vlastnosti obvodového plášte v konkrétnom mieste sú v tomto prípade dané tromi základnými činiteľmi – pevnosťou v tlaku, vzdialenosťou od trhliny a vlhkosťou.

V laboratórnom overovaní sa nedeštruktívnou, takzvanou Hanečkovej metódou vykonalo na skúšobných telesách pórobetónových tvárnich pevnostnej triedy P2 celkovo 50 stanovení informatívnej pevnosti v tlaku $f_{c,inf}$ prostredníctvom meranej deformácie y . Tie sa porovnali s deštruktívne stanovenými pevnosťami pórobetónu v danom mieste f_c .

Deštruktívne stanovenie pevnosti v tlaku f_c (MPa) pórobetónu v laboratóriu (obr. 3) sa vykonalo podľa STN EN 679 na vzorkách z miest nedeštruktívneho merania pevnosti v tlaku takzvanou Hanečkovej metódou.

Pevnosť v tlaku nedeštruktívnou metódou (obr. 4) sa stanovila zvlášť pri každej stavebnej sústave (konštrukčnom systéme). Individuálne výsledky merania deformácie membrány y sa prepočítali na informatívnu pevnosť $f_{c,inf}$. Z individuálnych pevností $f_{c,inf}$ sa následne stanovila priemerná pevnosť v tlaku a odhadla sa smerodajná odchýlka súboru. Vzhľadom na dosiahnutú zhodu (97,89 %) s deštruktívne stanovenou pevnosťou sa informatívna pevnosť považuje priamo za pevnosť v tlaku obvodového plášte na báze pórobetónu.



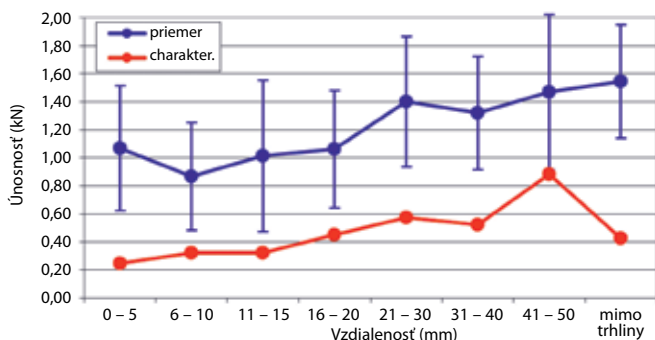
Obr. 4 Nedeštruktívna skúška pevnosti v tlaku Hanečkovej metódou

Pevnosti v tlaku obvodového plášte vidieť na obr. 5. Na obrázku sa rozlišujú nielen bytové domy sústavy P1.15, ale aj materiálové bázy pórobetónu Calsilox a Siporex, zistené v jednom paneli bytového domu v Bratislave.

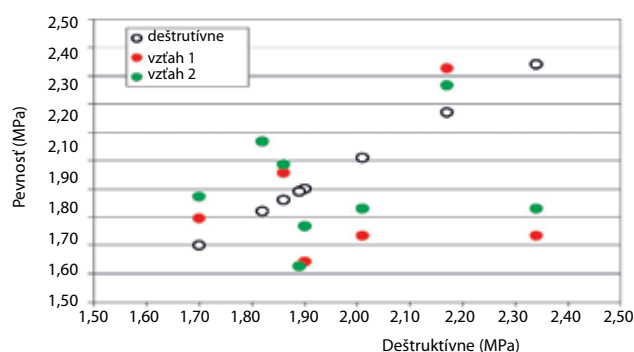
Návrh a metodika experimentálneho overenia

V laboratórnych podmienkach sa navrhlo simulovať existenciu trhliny (rezom) a tak spresniť vplyv trhliny na únosnosť rozperných kotiev. Takýmto postupom sa mali získať výsledky únosnosti kotiev na neporušenej hmote pórobetónu (referenčné) a na vzorkách so známym priebehom „trhliny“ v smere hrúbky obvodového plášte. V závislosti od smeru trhliny a vzdialenosti rozpernej kotvy sa predpokladalo definovanie istej oslabenej oblasti.

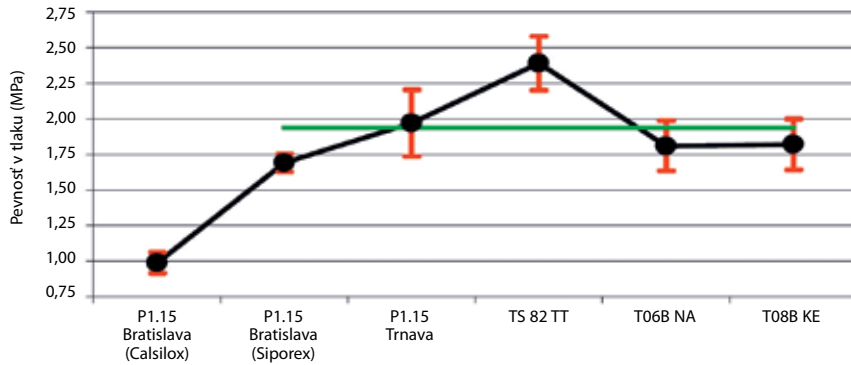
V metodickej príprave laboratórnej experimentálnej časti sa vychádzalo zo syntézy viacerých zistení. Podľa zisteného vplyvu vzdialenosti trhliny na únosnosť rozpernej kotvy (obr. 2) sa dospelo k predpokladu, že „oslabená“ oblasť bude približne 40 mm od trhliny. Za predpokladu, že



Obr. 2 Závislosť únosnosti rozperných kotiev a vzdialenosti od trhliny (získané in situ)



Obr. 3 Zhoda medzi nedeštruktívnymi a deštruktívnym stanovením pevnosti v tlaku



Obr. 5 Pevnosť v tlaku obvodového pláštá na báze pórobetónu jednotlivých stavebných sústav

trhlina prechádza kolmo na povrch obvodového pláštá možno usudzovať, že oslabená oblasť bude zasahovať asi 40 mm na obe strany od trhliny. Priebeh trhlín v hmote je však viac-menej náhodný, a preto je nevyhnutné overiť vplyv nielen vzdialenosti od trhliny, ale aj sklonu trhliny na únosnosť rozpernej kotvy.

Simulovanie trhlín s rôznym sklonom a vzdialenosťou od rozperných kotiev sa navrhlo rozpílením a opätovným zopnutím murovacích pórobetónových tvárnic. S týmto cieľom sa navrhlo a zostrojil spínací rám (obr. 6). Navrhnutý bol s ohľadom na dostupný sortiment murovacích pórobetónových tvárnic a ich rozmerov vzhľadom na požiadavky na výkon výtlačných skúšok podľa prílohy C, ETAG 014. Veľkosť skúšobných telies bola 500 × 300 × 250 mm. Na jednom skúšobnom telese sa dali vykonať maximálne štyri výtlačné skúšky. Pri výbere murovacích tvárnic (skúšobných telies) sa zvolila pevnostná trieda P2 s objemovou hmotnosťou 420 kg/m³, čo zodpovedá priemernej pevnosti v tlaku obvodového pláštá na báze pórobetónu, zistenej in situ (obr. 5).

Hlavné skúšky sa zamerali na hodnotenie únosnosti rozperných kotiev v hmote pórobetónu. Sila potrebná na vytiahnutie kotvy je priamym ukazovateľom mechanických vlastností pórobetónu – najmä pevnosti v tlaku.

Na zvolenom materiáli (pórobetónové tvárnice) sa vykonala séria hlavných – výtlačných skúšok rozperných kotiev. V prvom kroku sa zistila únosnosť v referenčných telesách – bez akejkoľvek trhliny. Na základe požiadaviek podľa ETAG 014 na 15 skúšobných miest sa zvolili štyri skúšobné telesá, čo reprezentuje šesťnásť skúšobných miest. Výtlačné skúšky na referenčných vzorkách reprezentujú únosnosť rozperných kotiev v neporušenej hmote (neoslabenej oblasti) pórobetónu pri dodržaní ich aplikačných podmienok (hĺbka kotvenia 65 mm).

Vplyv sklonu trhliny na únosnosť rozperných kotiev pri rôznej vzdialenosti od trhliny, respektíve šírka oslabenej oblasti sa overila na výtlačných skúškach rozperných kotiev. Šikmá trhlina sa simulovala rezaním elektrickou plátovou pilou naprieč ce-

lej hrúbke telesa (konštrukcie). Sklon trhliny proti normále skúšobnej plochy (smer pozdĺžnej osi rozpernej kotvy) sa navrhlo variovať v kroku po 15°, čo predstavuje sklony (0, 15 a 30°). Skúšobné telesá sa po rozpílení zopli pomocou tuhého spínacieho rámu (obr. 6 a 7). Pri výtlačných skúškach sa zohľadnil vznik oslabenej oblasti v blízkosti trhliny a variovala sa poloha skúšobných miest v závislosti od polohy trhliny (vzdialenosť 0, 10, 20, 30 a 40 mm) na obe strany od trhliny. Inými slovami, zohľadnila sa poloha vzhľadom na smer sklonu trhliny.

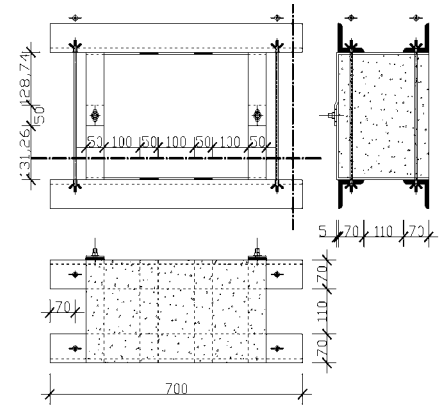
Celkovo sa vykonalo 216 výtlačných skúšok na 54 skúšobných telesách.

Okrem výtlačných skúšok sa vykonávali aj kontrolné nedeštruktívne skúšky opisujúce vlastnosti každého skúšobného telesa a ich homogénnosť v rámci súpravy telies, ale aj celého súboru. Jedným kontrolným parametrom bola pevnosť v tlaku stanovená takzvanou Hanečkovej metódou. Druhým kontrolným parametrom bola povrchová vlhkosť, ktorá sa zisťovala kapacitnou metódou.

Interpretácia výsledkov

Z laboratórnych skúšok vznikla komplexná databáza jedinečných výsledkov únosnosti rozperných kotiev, vlhkosti pórobetónu a pevnosti v tlaku. Databáza obsahuje 216 individuálnych výsledkov únosnosti kotiev, 216 individuálnych výsledkov vlhkosti pórobetónu (648 meraní) a 54 individuálnych pevností pórobetónu v tlaku (216 meraní).

S ohľadom na nepravidelný smer reálnych trhlín v obvodovom pláštá na báze pórobetónu a sťažené podmienky technických prehliadok in situ, ako aj presnosť merania dĺžok sa zvolili intervaly vzdialenosti rozperných kotiev od trhliny. Z obr. 2 jasne vyplýva lineárna závislosť priemernej únosnosti a vzdialenosti kotiev od trhliny. Vysokú variabilitu výsledkov (26,2 až 53,3 %) možno vysvetliť rôznorodosťou hmoty pórobetónu v obvodovom pláštá, rôznym vekom a technológiou výroby obvodového pláštá, ale aj neidentifikovaným sklonom (pokračovaním) trhliny smerom dovnútra pláštá. Na obr. 2 sú zachytené priemerné a charakteristické únosnosti. Charakteristické únosnosti sa v zmysle ETAG 014



Obr. 6 Schéma spínacieho rámu



Obr. 7 Vzorka s trhlinou sklonenou o 15°

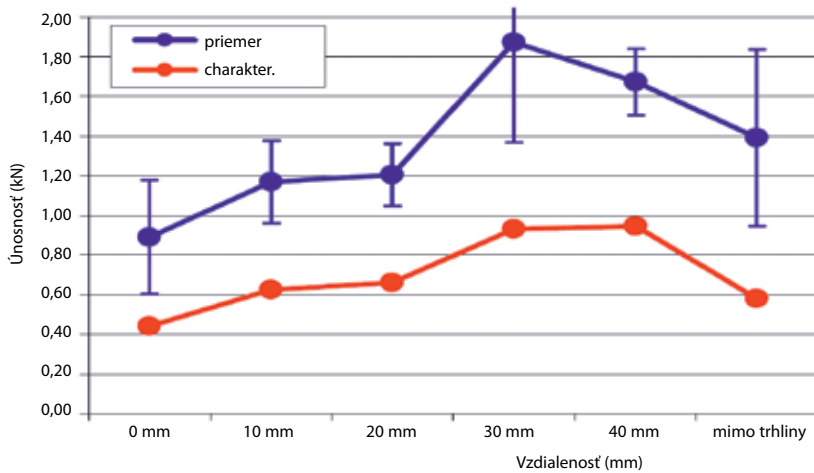


Obr. 8 Vznik deltovitého útvaru pri výtlačnej skúške

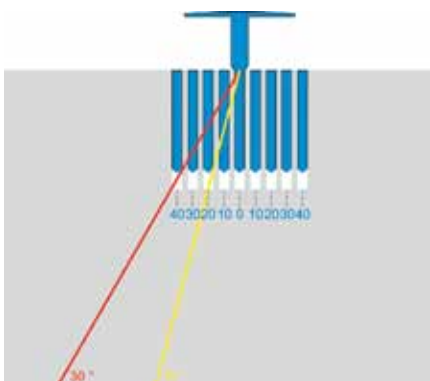
stanovili ako 0,6-násobok priemeru piatich najnižších meraní.

Z takto komplexne prezentovaných výsledkov nemožno stanoviť šírku oslabenej oblasti v okolí trhliny. V grafe sa totiž nevyskytuje bod (oblasť), od ktorého by napríklad nárast únosnosti so vzdialenosťou výrazne ustával. Takéto oblasti sa však identifikovali jednotlivito pri konkrétnych stavebných sústavách.

Charakteristické únosnosti rozperných kotiev nedosahujú hodnotu 0,6 kN, a to až



Obr. 9 Priemerné a charakteristické únosnosti rozperných kotiev v obvodovom plášti na báze pórobetónu s trhlinou sklonenou o 0° od normály vonkajšej plochy obvodového plášťa



Obr. 10 Schéma umiestnenia rozperných kotiev vzhľadom na simulované trhliny

vodového plášťa na báze pórobetónu in situ.

Na obr. 9 je zahrnutá aj oblasť meraní na referenčných (neporušených) vzorkách, teda mimo trhliny. Charakteristická únosnosť je aj v tejto sérii výsledkov nižšia ako charakteristické únosnosti v určitej nulovej vzdialenosti od trhliny. Vysvetľuje to teória pravdepodobnosti výskytu slabších miest a čiastočne aj vplyv mierne nižšej pevnosti v tlaku referenčných vzoriek. Z obr. 9 vyplýva, že existuje takzvaná oslabená oblasť zasahujúca asi 30 až 40 mm na obe strany od kolmej trhliny (sklonenej 0° od normály roviny povrchu vzorky). V tejto oblasti sa pozoruje nižší nárast až zdánlivé zníženie únosnosti rozperných kotiev. Zvyšné skúšky, na vzorkách so simulovanou sklonenou trhlinou, sa vykonali s rozlíšením polohy rozpernej kotvy vzhľadom na smer priemetu rezu, respektíve trhliny (obr. 10). Výsledky získané na kotvách (v intervale 0 až 40 mm od päty trhliny), ktoré aspoň čiastočne pretínali plochu rezu, sa označujú a interpretujú ako „nad trhlinou“. Výsledky získané na kotvách (v intervale 0 až 40 mm od päty trhliny), ktoré sa nachádzali na opačnej strane priemetu rezu (trh-

do vzdialenosti asi 40 mm od trhliny, ako sa to požaduje v STN 73 2901. Je preto odôvodnené považovať ich za nedostatočné.

Výsledky skúšok únosnosti rozperných kotiev v laboratóriu vidieť na obr. 9 až 12. Výsledky podporných skúšok vlhkosti a pevnosti pórobetónu v tlaku zachytáva tab. 1. Je zjavné, že vlhkosť vzoriek sa pohybovala na úrovni asi $8 \pm 1,4 \%$ a pevnosť v tlaku sa zistila asi $2,0 \pm 0,4$ MPa. Výsledky indikujú bežné vlastnosti pórobetónu blízke tým, ktoré sa reálne zistili skúškami ob-

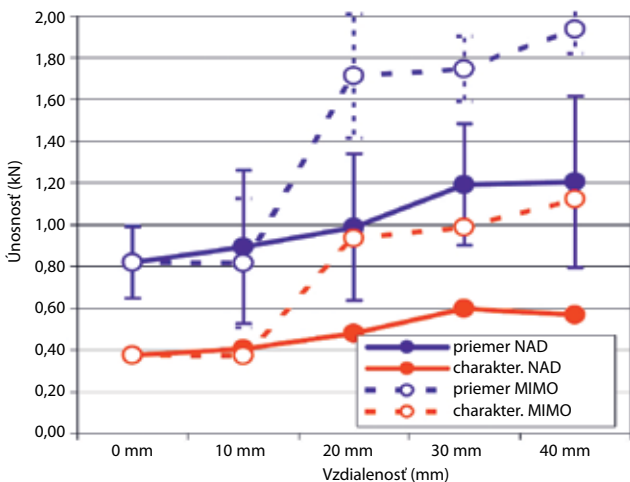
Tab. 1 Rozbor výsledkov merania vlhkosti a pevnosti pórobetónu v tlaku

	Vlhkosť (%)	Pevnosť (MPa)
priemer	7,99	2,02
minimum	5,60	1,27
maximum	15,10	2,93
smerodajná odchýlka	1,39	0,39
variabilita (%)	17,41	19,44
rozsah súboru	216	216

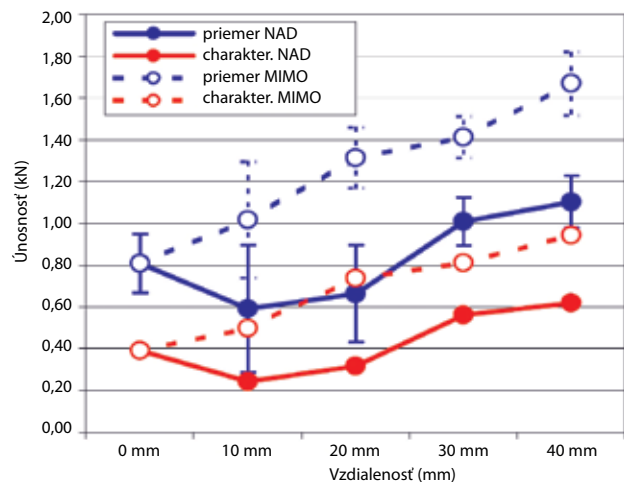
liny) sa označujú a interpretujú ako „mimo trhliny“.

Výsledky únosnosti kotiev na vzorkách s trhlinou sklonenou 15° zachytáva obr. 11. Súčasne zobrazuje výsledky získané pri skúškach na oboch stranách trhliny. Z výsledkov nad trhlinou jasne vidieť, že charakteristická únosnosť prakticky nedosahuje limitnú hodnotu 0,6 kN, a to bez ohľadu na vzdialenosť od trhliny. Pri podrobnejšom pohľade však medzi vzdialenosťou 30 a 40 mm od trhliny možno pozorovať len minimálny prírastok únosnosti. Znamená to, že oslabená oblasť nad trhlinou so sklonom 15° má šírku 30 mm od päty trhliny. Výsledky mimo trhliny vykazujú zníženie, respektíve zachovanie rovnakej únosnosti v oblasti do 10 mm. Je to spôsobené malou vzdialenosťou od trhliny vzhľadom na priemer použitého vrtáku (8 mm) a následnou deštrukciou šmykovej oblasti (v blízkosti päty trhliny) zaťaženej trením plášťa kotvy. Medzi vzdialenosťou 10 a 20 mm sa pozoruje extrémny nárast únosnosti. Prisudzuje sa to náhodnému výberu skúšobných telies s mierne zvýšenou priemernou pevnosťou v tlaku (2,43 MPa). V prípade zníženia pevnosti v tlaku sa očakáva miernejší, ale aj tak výrazný nárast únosnosti. Šírka oslabenej oblasti mimo trhliny sa stanovila na 20 mm.

Výsledky únosnosti kotiev na vzorkách s trhlinou sklonenou o 30° zachytáva obr. 12. Súčasne zobrazuje výsledky získané pri skúškach na oboch stranách trhliny. Z výsledkov nad trhlinou jasne vidieť, že charak-



Obr. 11 Priemerné a charakteristické únosnosti rozperných kotiev v obvodovom plášti na báze pórobetónu s trhlinou sklonenou o 15° od normály vonkajšej plochy obvodového plášťa



Obr. 12 Priemerné a charakteristické únosnosti rozperných kotiev v obvodovom plášti na báze pórobetónu s trhlinou sklonenou o 30° od normály vonkajšej plochy obvodového plášťa

teristická únosnosť dosahuje limitnú hodnotu 0,6 kN až vo vzdialenosti nad 40 mm. Pri podrobnejšom pohľade však medzi vzdialenosťou 30 a 40 mm od trhliny možno pozorovať štandardný prírastok únosnosti. Znamená to, že oslabená oblasť nad trhlinou so sklonom 30° má šírku 40 mm od päty trhliny. Výsledky nad trhlinou tiež vykazujú zníženie, respektíve zachovanie rovnakej únosnosti v oblasti do vzdialenosti asi 25 mm. Je to spôsobené vysokým sklonom trhliny, čo spôsobuje neštandardnú distribúciu napätí v hmote a dochádza k vytvoreniu novej lomovej plochy (vznik deltovitého úlomku obr. 8). V oblasti mimo trhliny únosnosť narastá prakticky lineárne po celej meracej základni 0 až 40 mm. Predpokladalo sa zachovanie, prípadne skrátenie oslabenej oblasti mimo trhliny v porovnaní s trhlinou skloneňou o 15°. Predpoklad vychádzal z väčšieho sklonu trhliny, a teda intenzívnejšieho vzdávania od skúšobného miesta. Šírka oslabenej oblasti mimo trhliny sa na základe meraných výsledkov stanovila na 40 mm.

Záver

Potvrdilo sa, že únosnosť rozperných kotiev závisí od dvoch hlavných parametrov. Všeobecne platné sú priama úmera medzi únosnosťou rozperných kotiev a pevnosťou v tlaku, ale aj vzdialenosťou od trhliny. Výťažnými skúškami pri simulovaní rôznych trhlín pri premenlivej vzdialenosti rozper-

nej kotvy od trhliny sa stanovili takzvané oslabené oblasti v okolí trhlín. Usporiadanie a šírka oslabených oblastí je daná sklonom trhliny. Na základe bezpečnostných pravidiel sa stanovila šírka oslabenej oblasti jednotne na 55 (40 + 15) mm pri každej trhlíne. Vykonal sa prepočet na konkrétny pórobetonový panel a zistila sa pomerná plocha oslabenej oblasti (nedosahujúcej únosnosť 0,6 kN) asi 10,63 % plochy panela.

Publikované informácie sú čiastkovým výstupom riešenia úlohy výskumu a vývoja Technické a technologické podmienky obnovy obvodových plášťov na báze pórobetonu č. 82/550/2010 financovanej Ministerstvom dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky.

**TEXT: Ing. Peter Briatka, PhD.
prof. Ing. Zuzana Sternová, PhD.
OBRAZKY a FOTO: archív autorov**

Ing. Peter Briatka, PhD. je výskumným pracovníkom v TSÚS, Bratislava, so špecializáciou na technológiu betónu a technológiu zhotovenia betónových konštrukcií.

Prof. Ing. Zuzana Sternová, PhD. je riaditeľkou TSÚS, Bratislava.

Literatúra

1. Sternová, Z. a kol.: Technický stav a perspektívy obnovy a revitalizácie bytového fondu (E 05.3). Bratislava: TSUS, 2009 (Číslo úlohy: 1009005/2009 – Z- (354/550/2007/MVRR SR)).

2. Sternová, Z. – Briatka, P. – Horečný, R.: Technické a technologické podmienky obnovy obvodových plášťov na báze pórobetonu – ETAPA 1 (Úvodná štúdia). Správa číslo: 008/RÚ/2010/10100088-Z/VaV-E01, Bratislava: TSÚS, 2010, s. 38.
3. Sternová, Z. – Briatka, P. – Horečný, R.: Technické a technologické podmienky obnovy obvodových plášťov na báze pórobetonu – ETAPA 2 a 3 – (1. podetapa). Správa číslo: 017/RÚ/2010/10100088-Z/VaV-E02/1, E03/1. Bratislava: TSÚS, 2010, s. 48.
4. Gilányi, L.: Niektoré problémy navrhovania pórobetonových konštrukcií. Práca kandidátskeho minima. Bratislava: SAV – ÚSTARCH, 1983, s. 76.
5. <http://www.understanding-cement.com/autoclaved-aerated-concrete.html>
6. McElroy, D. L. – Kimpfen, J. F.: Insulation Materials, Testing and Applications. ASTM STP 1030. Baltimore, 1990.
7. RILEM, Technical Committees 78-MCA and 51-ALC: Autoclaved Aerated Concrete – Properties Testing and Design. London: E&FN Spon, 1993.
8. Hamák, Ľ. – Schnábl, M.: Prešetrovanie vlastností pórobetonu vo výrobných a na stavbách. In: Zborník prác k 15. výročiu TSÚS. Bratislava, 1968.
9. Sternová, Z. a kol.: Obnova bytových domov – Hromadná bytová výstavba po roku 1970. Bratislava: JAGA GROUP, 2001, s. 237.
10. Bohner, E. – Ödeen, K.: Durability of Autoclaved Aerated Concrete – A Field study of Industrial Buildings. In: Proceedings of 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Institute for Research in Construction, Ottawa, 1999, s. 107-117.
11. STN EN 679: 2006: Stanovenie pevnosti v tlaku autoklavovaného pórobetonu.
12. ETAG 014: 2004: Kotvy z plastu na pripevňovanie vonkajších kontaktných tepelnoizolačných systémov s omietkou.
13. STN 73 2901: 2008: Zhotovovanie vonkajších kontaktných tepelnoizolačných systémov (ETICS).