

# Obvodové plášte na báze pórobetónu 4 – Experimentálne overenie oslabenej oblasti

Po krátkej odmlke pokračuje náš seriál štvrtou časťou. Na spínaných pórobetónových obvodových dielcoch stavebnej sústavy P 1.15 a PS 82 TT, ale aj pri aplikáciách pórobetónových dielcov na iných konštrukčných systémoch sa zistili rozsiahle nedostatky prejavujúce sa neusporiadanou sieťou trhlin. Rozširovanie predmetnej degradácie by mohlo v krátkej budúcnosti zabrániť možnosti uplatňovania zmeny kvality tepelnej ochrany daných stavebných konštrukcií uplatňovaním zavedených technických riešení pomocou kontaktných tepelnoizolačných systémov (zateplovania).

O kolo každej trhliny existuje istá tzv. oslabená oblasť, v ktorej sa prejavuje vplyv prítomnosti trhliny na únosnosť rozperných kotiev. Aby sa mohol kvantifikovať účinok porušenia obvodového plášťa trhlinami na únosnosť rozperných kotiev, musela sa laboratórne stanoviť oslabená oblasť.

## Východiská experimentálnej časti

Vysoká miera výskytu trhlin (cca 75 %) zdôrazňuje potrebu dôsledného riešenia stability ETICS pri aplikácii na obvodové plášte na báze pórobetónu (OPP). S rastúcim výskytom trhlin totiž rastie aj pravdepodobnosť kotvenia ETICS do trhliny alebo do jej blízkosti, ktorú vo všeobecnosti môžeme považovať za oslabenú.

Z technických obhliadok OPP vykonaných počas merania a skúšok in situ sa zistil vysoký výskyt trhlin rôznych širok, zväčša v štvoruholníkovom rastru.

Trhliny nezriedka prestupujú celou hrúbkou OPP a prejavujú sa na vnútornom povrchu. Ich prítomnosť a namáhanie OPP môže spôsobovať akceleráciu degradácie obvodového plášťa, čo môže vyústiť do znemožnenia užívania bytov z dôvodu nesplnenia hygienických kritérií alebo znemožnenia mechanického prichytávania ETICS pri obnove OPP.

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. Únosnosť rozperných kotiev (ak sa vylúčia ich akékoľvek variácie) možno považovať za charakteristiku OPP. Vlastnosti OPP v konkrétnom mieste sú teda dané tromi základnými činiteľmi – pevnosťou v tlaku, vzdialenosťou od trhliny a vlhkosťou OPP, v tomto poradí.

V laboratórnom overovaní použiteľnosti nedeštruktívnej, tzv. Hanečkovej metódy sa na

skúšobných telesách pórobetónových tvárníc pevnostnej triedy P2 vykonalo celkovo 50 nedeštruktívnych stanovení  $f_{c,inf}$  prostredníctvom meranej deformácie  $y$ . Tieto sa prostredníctvom vzťahov odvodených z vzťahov (1) a (2) porovnali s deštruktívne stanovenými pevnosťami pórobetónu v danom mieste  $f_c$ . Následne sa podľa hodnotenia zhody  $R$  výsledkov – vzťah (3) – vybral korelačný vzťah dosahujúci vyššiu zhodu. Zistilo sa, že korelačný vzťah (1) dosahuje zhodu 94,22 % a korelačný vzťah (2) dosahuje zhodu 97,89 %. V hodnotení pevnosti v tlaku OPP nedeštruktívnou metódou sa preto používal vzťah (2):

$$\bar{y} = 0,164107 + 0,162000 \cdot f_{c,inf} \quad (10^{-2} \text{ mm}) \quad (1)$$

$$\bar{y} = 0,11069 + 0,37097 \cdot f_{c,inf} + 0,0367797 \cdot f_{c,inf2} \quad (10^{-2} \text{ mm}) \quad (2)$$

Deštruktívne stanovenie pevnosti v tlaku  $f_c$  (MPa) pórobetónu v laboratóriu sa vykonalo podľa STN EN 679 na vzorkách z miest nedeštruktívneho merania pevnosti v tlaku tzv. Hanečkovou metódou.

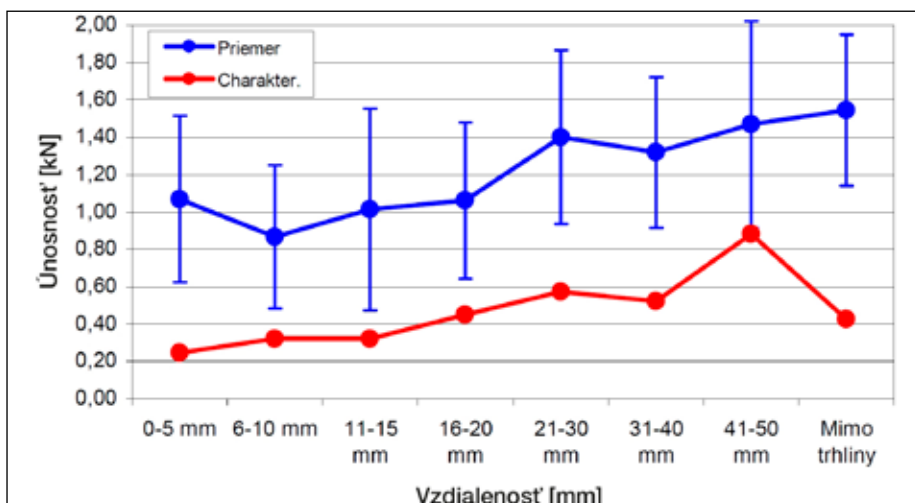
$$R = \frac{f_{e,inf}}{f_c} \cdot 100$$

Pevnosť v tlaku nedeštruktívnou metódou (obr. 5) sa stanovila zvlášť pre každú stavebnú sústavu (konštrukčný systém). Individuálne výsledky merania deformácie membrány sa s použitím vzťahu (2) 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 OPP.

Pevnosti v tlaku OPP prezentuje obr. 6. V obrázku sa rozlišujú nielen bytové domy sústavy



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



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

P1.15, ale aj materiálové bázy pórobetonu Calsilox a Siporex, zistené v jednom paneli bytového domu v Bratislave.

### Návrh 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 pórobetonu (referenčné) a na vzorkách so známym priebehom „trhliny“ v smere hrúbky OPP. 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 trhlinka prechádza kolmo na povrch OPP, možno

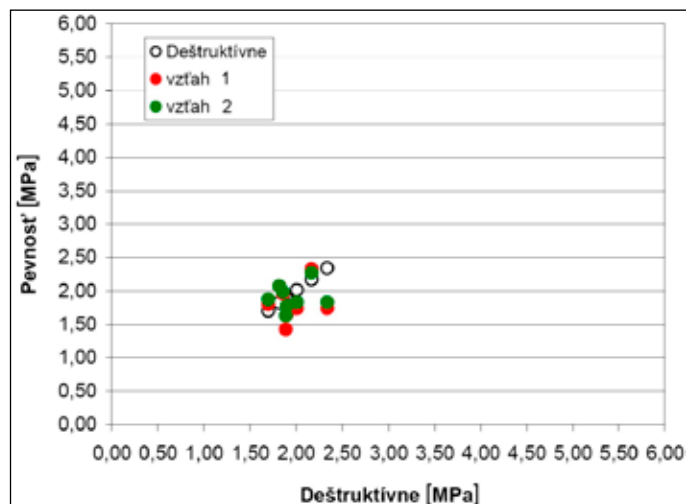
usudzovať, že oslabená oblasť bude zasahovať cca 40 mm na obe strany od trhliny. Priebeh trhlín v hmote je však viac-menej náhodný, a preto je nevyhnutné overiť vplyv nielen vzdialenosti od trhliny, ale aj sklonu trhliny na únosnosť rozpernej kotvy.

Simulovanie trhlín rôzneho sklonu a vzdialenosti od rozperných kotiev sa navrhlo rozpínaním a opätovným zopnutím murovacích pórobetonových tvárnic. Za týmto účelom sa navrhlo a zostrojil spínací rám (obr. 7). Navrhnutý bol s ohľadom na dostupný sortiment murovacích pórobetonových tvárnic a ich rozmerov vzhľadom na požiadavky na výkon výťažných skúšok podľa prílohy C, ETAG 014. Veľkosť skúšobných telies sa zvolila 500x300x250 mm. Na jednom skúšobnom telese bolo možné vykonať maximálne štyri výťažné skúšky. Pri výbere murovacích tvárnic (skúšobných telies) sa zvolila pevnostná trieda P2 s objemovou hmotnosťou 420 kg/m<sup>3</sup>, čo zodpovedá priemernej pevnosti v tlaku OPP zistenej in situ (obr. 6).

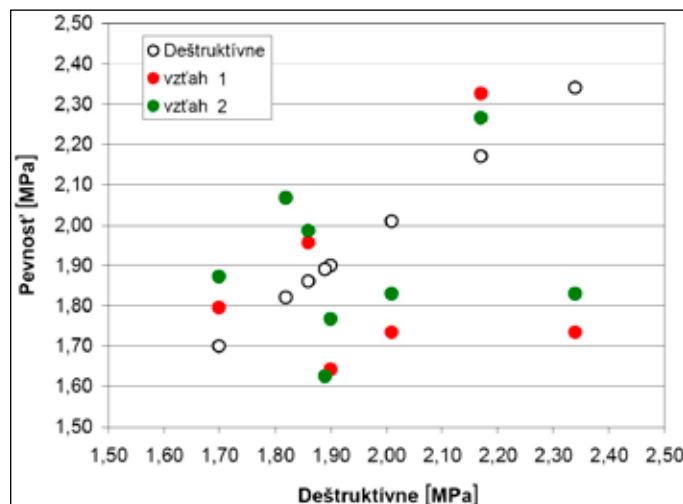
### Metodika

Metodika experimentálneho overenia oslabenej oblasti sa navrhla tak, aby výsledky skúšok zaznamenávali určujúce parametre hmoty, resp. vplyv okrajových podmienok na interpretáciu výsledkov. Hlavné skúšky sa zamerali na hodnotenie únosnosti rozperných kotiev v hmote pórobetonu. Sila potrebná na vytiahnutie kotvy je priamym ukazovateľom mechanických vlastností pórobetonu – najmä pevnosti v tlaku. Použili sa vzorky z pórobetonu pevnostnej triedy P2 s objemovou hmotnosťou 420 kg/m<sup>3</sup>. Výber vychádzal z overenia a kalibrácie Hanečkovej metódy.

Na zvolenom materiále (pórobetonové tvárnice) sa vykonala sada hlavných – výťažných skúšok rozperných kotiev. V prvom kroku sa zistila únosnosť v referenčných telesách – bez akejkoľvek trhliny. Vychádzajúc z požiadavky podľa ETAG 014, na 15 skúšobných miest sa zvolili štyri skúšobné telesá (obr. 9), čo reprezentuje 16 skúšobných miest, a teda dostatočne veľký súbor výsledkov. Výťažné skúšky na referenčných vzor-



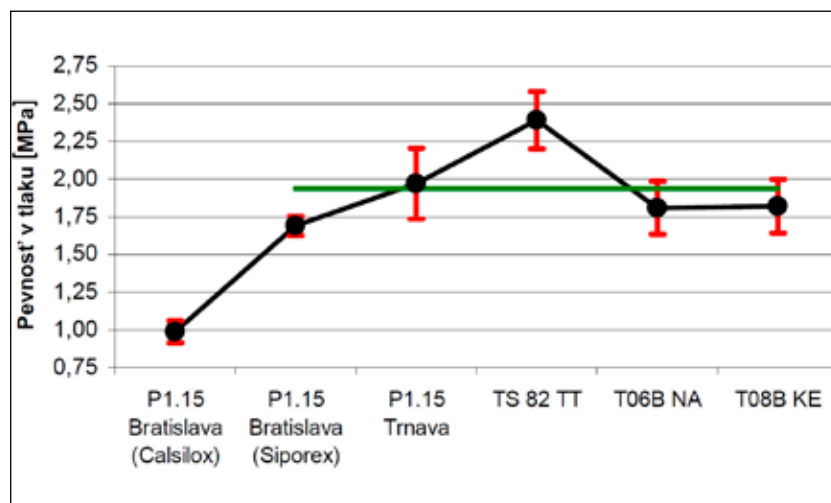
Obr. 3: Zhoda medzi nedeštruktívnymi a deštruktívnym stanovením pevnosti v tlaku



Obr. 4: Zhoda medzi nedeštruktívnymi a deštruktívnym stanovením pevnosti v tlaku



Obr. 5: Nedeštruktívna skúška pevnosti v tlaku tzv. Hanečkovou metódou



Obr. 6: Pevnosť v tlaku OPP jednotlivých stavebných sústav

kách 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, resp. šírka oslabenej oblasti, sa overili na výťažných skúškach rozperných kotiev. Šikmá trhlina sa navrhla simulovať rezaním elektrickou plátovou pílou naprieč celou hrúbkou telesa (konštrukcie). Sklon trhliny voči normále skúšobnej plochy (smer pozdĺžnej osi rozpernej kotvy) sa navrhoval variovať v kroku po 15°, čo predstavuje sklony 0°, 15° a 30°. Skúšobné telesá sa po rozpílení zopli pomocou tuhého spínacieho rámu (obr. 7 a 8). Pri výťažných 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.

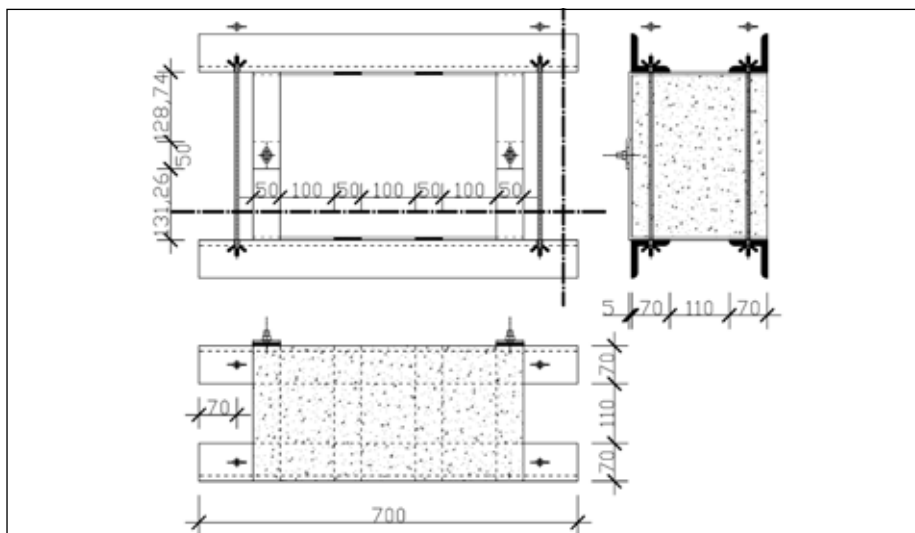
Celkovo sa navrhlo vykonať 216 výťažných skúšok na 54 skúšobných telesách. Kombinácie, okrajové podmienky a množstvo skúšok sú podrobnejšie popísané v tabuľke 1.



Obr. 8: Pohľad zhora na spínací rám



Obr. 9: Sada referenčných vzoriek



Obr. 7: Schéma spínacieho rámu

Okrem výťažných skúšok sa vykonávali aj kontrolné nedeštruktívne skúšky, popisujúce vlastnosti každého skúšobného telesa a ich homogénnosť v rámci sady telies, ale aj celého súboru. Jedným kontrolným parametrom bola pevnosť v tlaku stanovená tzv. Hanečkovou 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 OPP 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. Vysoká variabilita výsledkov (26,2 až 53,3 %) sa vysvetľuje rôznorodosťou hmoty pórobetónu v OPP, rôznym vekom a technológiou výroby OPP, ale aj neidentifikovaným sklonom (pokračovaním) trhliny smerom do vnútra OPP. V obr. 2 sú zachytené priemerné a charakteristické únosnosti. Charakteristické únosnosti sa stanovili, v zmysle ETAG 014, ako 0,6násobok 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 nárast únosnosti so vzdialenosťou výrazne ustával. Takéto oblasti sa však identifikovali jednotlivo pre konkrétne stavebné sústavy v predchádzajúcom riešení.

Vychádzajúc z požiadavky STN 73 2901, charakteristické únosnosti rozperných kotiev nedosahujú požadovanú hodnotu 0,6 kN až do



Obr. 10: Vzorka s trhlinou sklonenou o 15°



Obr. 11: Vznik deltovitého útvaru pri výťažnej skúške



Tabuľka 1: Kombinácie a okrajové podmienky laboratórnych výťažných skúšok

Skúšobná schéma	Množstvo skúšobných telies (T) a skúšobných miest (M)					Spolu	
	Vzdialenosť od trhliny (mm)					Telies	Miest
	0	10	20	30	40		
	4 T					4	16
	16 M						
	2 T	2 T	2 T	2 T	2 T	10	40
	8 T	8 T	8 T	8 T	8 T		
	4 T	4 T	4 T	4 T	4 T	20	80
	16 T	16 T	16 T	16 T	16 T		
	4 T	4 T	4 T	4 T	4 T	20	80
	16 T	16 T	16 T	16 T	16 T		
	$\Sigma =$					<b>54</b>	<b>216</b>

vzdialenosti cca. 40 mm od trhliny. Je preto odôvodnené považovať ich za nedostatočné.

Výsledky skúšok únosnosti rozperných kotiev v laboratóriu prezentujú obrázky 12–15. Výsledky podporných skúšok vlhkosti a pevnosti pórobetónu v tlaku zachytáva tabuľka 2. Je zrejme, že vlhkosť vzoriek sa pohybovala na úrovni cca  $8 \pm 1,4$  % a pevnosť v tlaku sa zistila cca  $2,0 \pm 0,4$  MPa. Výsledky indikujú bežné vlastnosti pórobetónu blízke tým, ktoré sa reálne zistili skúškami OPP in situ.

V obr. 12 je tiež zahrnutá oblasť meraní na referenčných (neporušených) vzorkách, teda tzv. mimo trhliny. Charakteristická únosnosť je aj v tejto sade výsledkov nižšia ako charakteristické únosnosti v určitej nenulovej vzdialenosti od trhliny. Vysvetľuje sa to teóriou pravdepodobnosti výskytu slabších miest a čiastočne aj vplyvom mierne nižšej pevnosti v tlaku referenčných vzoriek. Z obr. 12 vyplýva, že existuje tzv. oslabená oblasť zasahujúca cca 30–40 mm na obe strany od kolmej trhliny (sklonenej  $0^\circ$  od normály roviny povrchu vzorky). V tejto oblasti sa pozoruje nižší nárast až zdanlivé zníženie únosnosti rozperných kotiev. Zvyšné skúšky, na vzorkách so simulovanou sklonenou trhlinou, sa vykonali s rozlíšením polohy rozpernej kotvy vzhľadom na smer priemetu rezu, resp. trhliny (obr. 13). Výsledky získané na kotvách (v intervale 0–40 mm od päty trhliny), ktoré aspoň čiastočne pretínali rezovú plochu, sa označujú a interpretujú ako „NAD trhlinou“. Výsledky získané na kotvách (v intervale 0–40 mm od päty trhliny), ktoré boli situované na opačnej strane priemetu rezu (trhliny), sa označujú a interpretujú ako „MIMO trhliny“.

Výsledky únosnosti kotiev na vzorkách s trhlinou sklonenou  $15^\circ$  zachytáva obr. 14. 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, 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  $15^\circ$  má šírku 30 mm od päty trhliny. Výsledky „MIMO trhliny“ vykazujú zníženie, resp. zachovanie, rovnakej únosnosti v oblasti do 10 mm. Spôsobené to je malou vzdialenosťou od trhliny vzhľadom na priemer použitého vrtáku (8 mm) a následnou deštrukciou šmykovej oblasti (v blízkosti päty trhliny) zaťaženej trením pláštá kotvy. Medzi 10 a 20 mm sa pozoruje extrémny nárast únosnosti. Prisudzuje sa to jednak 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  $30^\circ$  zachytáva obr. 15. Súčasne zobrazuje výsledky získané pri skúškach na oboch stranách trhliny. Z výsledkov na trhlinou jasne vidieť, že charakteristická 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  $30^\circ$  má šírku 40 mm od päty trhliny. Výsledky „NAD trhlinou“ tiež vykazujú zníženie, resp. zachovanie, rovnakej únosnosti v oblasti do cca. 25 mm. Spôsobené to je vysokým sklonom trhliny, čo spôsobuje neštandardnú distribúciu napätí v hmote a dochádza k vytvoreniu novej lomovej plochy (vznik deltovitého úlomku – obr. 11). V oblasti „MIMO trhliny“ únosnosť narastá prakticky lineárne po celej meracej základni 0–40 mm. Predpokladalo sa zachovanie,

pripadne skrátenie, oslabenej oblasti „MIMO trhliny“ v porovnaní s trhlinou sklonenou o  $15^\circ$ . Predpoklad vychádzal z väčšieho sklonu trhliny, a teda intenzívnejšieho vzdalovania od skúšobného miesta. Šírka oslabenej oblasti „MIMO trhliny“ sa na základe meraných výsledkov stanovila na 40 mm.

### Záver

Potvrdilo sa, že únosnosť rozperných kotiev je závislá od dvoch hlavných parametrov. Všeobecne platné sú priama úmernosť medzi únosnosťou rozperných kotiev a pevnosťou v tlaku OPP, ale aj vzdialenosťou od trhliny. Výťažnými skúškami pri simulovaní rôznych trhlín pri premenlivej vzdialenosti rozpernej kotvy od trhliny sa stanovili tzv. oslabené oblasti v okolí trhlín. Usporiadanie a šírka oslabených oblastí je daná sklonom trhliny. Vychádzajúc z pravidla „bezpečnosti“, sa stanovuje šírka oslabenej oblasti jednotne na 55 (40 + 15) mm pre každú trhlinu. Vykonaný sa prepočet na konkrétny panel OPP a zistila sa pomerná plocha oslabenej oblasti (nedosahujúcej únosnosť 0,6 kN) cca 10,63 % plochy panela. V ďalšom pokračovaní úlohy sa navrhnu a overia technické a technologické možnosti zlepšenia únosnosti rozperných kotiev, resp. zvýšenia bezpečnosti ETICS kotvených do OPP.

PETER BRIATKA, ZUZANA STERNOVÁ

### Podakovanie

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

### Citované a súvisiace dokumenty:

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

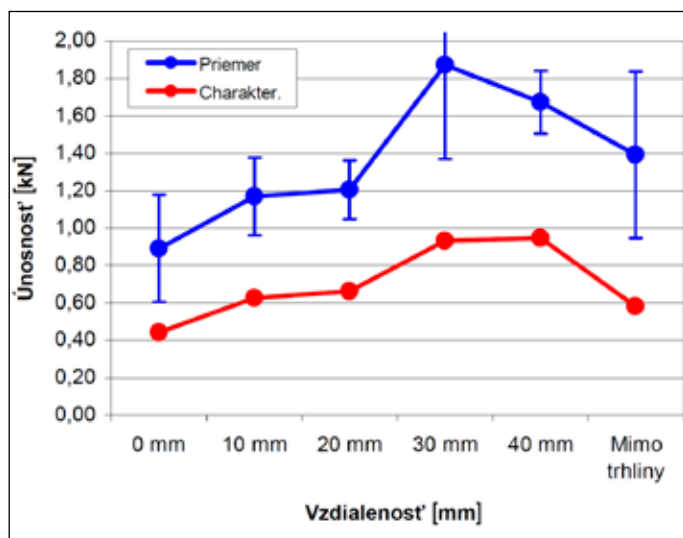
Tabuľka 2: Rozbor výsledkov merania vlhkosti a pevnosti pórobetónu v tlaku

Parameter	Vlhkosť	Pevnosť
Priemer	7,99	2,02
Minimum	5,60	1,27
Maximum	15,10	2,93
Sm. odchýlka	1,39	0,39
Variabilita [%]	17,41	19,44
Rozsah súboru	216	216

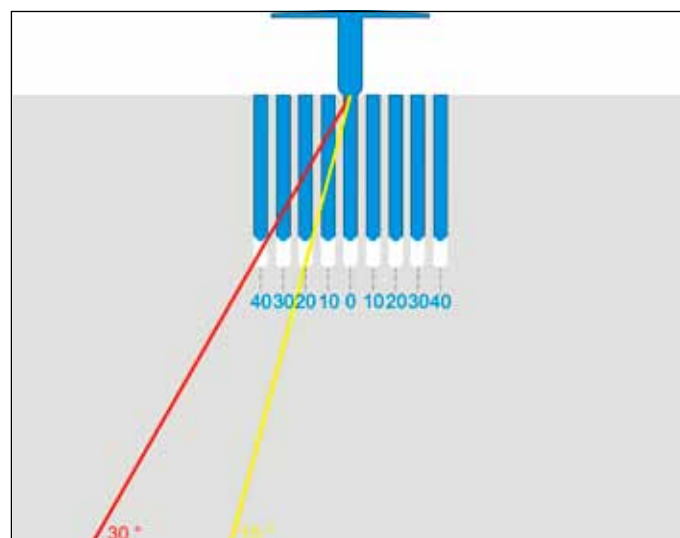
- obvodových plášťov na báze pórobetonu – ETAPA 1 (Úvodná štúdia), Správa číslo: 008/RÚ/2010/10100088-Z/VaV-E01, Bratislava, TSÚS 2010, s. 38.
- 3) Sternová, Z. – Briatka, P. – Horečný, R.: Technické a technologické podmienky obnovy obvodových plášťov na báze pórobetonu – ETAPA 2 a 3 – (1. podetapa), 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, SAV – ÚSTAR, Bratislava, 1983, s. 76.
  - 5) <http://www.understanding-cement.com/autoclaved-aerated-concrete.html>.
  - 6) McElroy, D. L. – Kimpflen, 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, L. – Schnábl, M.: Prešetrovanie vlastností pórobetonu vo výrobniciach a na stavbách, 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. – Ódeen, K.: Durability of Autoclaved Aerated Concrete – A field study of industrial buildings, Proceedings of 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Institute for Research in Construction, Ottawa, 1999, pp: 107–117.
  - 11) ETAG 014:2004 – Kotvy z plastu na pripevňovanie vonkajších kontaktných tepelnoizolačných systémov s ometkou.
  - 12) STN 73 2901:2008 – Zhotovovanie vonkajších kontaktných tepelnoizolačných systémov (ETICS).

*Ing. Peter Briatka, Ph.D., (\*1982) je absolventom Stavebnej fakulty STU. V súčasnosti pôsobí ako výskumný a expertizní pracovník TSÚS v Bratislave. Specializuje sa na technológiu betonu, objemové zmeny betonu, jeho trvanlivosť a nedestruktívne zkušebné metódy. Je členom technických komisií TK 5 a ACI 201, 209 a 308.*

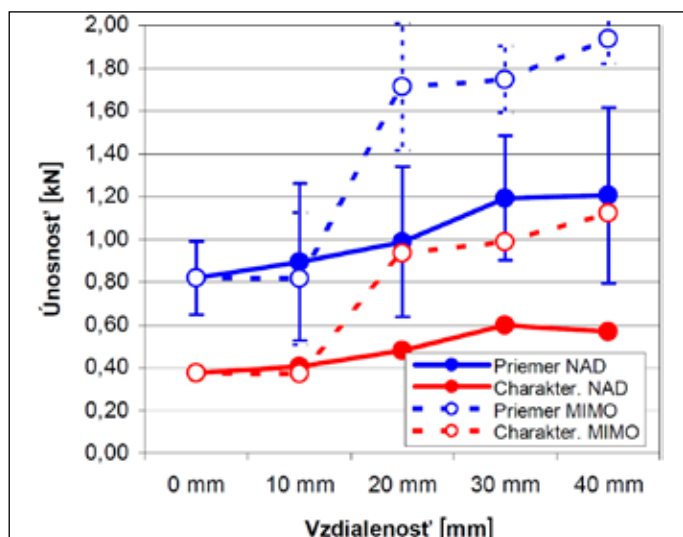
*Prof. Ing. Zuzana Sternová, Ph.D., (\*1947) pôsobí ako riaditeľka TSÚS v Bratislave. Zamereňuje sa na energetickú hospodárnosť budov s dôrazom na tepelnú ochranu budov a problematiku obnovy bytového fondu. Je autorkou mnohých knižných publikácií.*



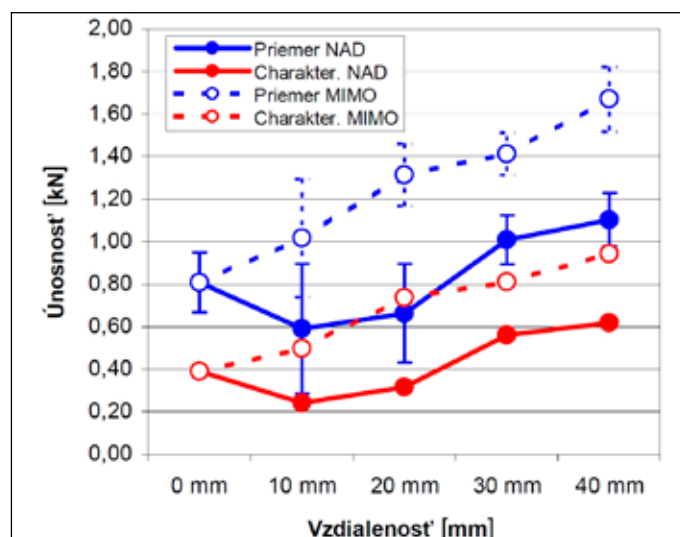
Obr. 12: Priemerné a charakteristické únosnosti rozperných kotiev v OPP s trhlinou sklonenou o 0° od normály vonkajšej plochy obvodového plášťa



Obr. 13: Schéma umiestnenia rozperných kotiev vzhľadom na simulovanú trhlinu



Obr. 14: Priemerné a charakteristické únosnosti rozperných kotiev v OPP s trhlinou sklonenou o 15° od normály vonkajšej plochy obvodového plášťa



Obr. 15: Priemerné a charakteristické únosnosti rozperných kotiev v OPP s trhlinou sklonenou o 30° od normály vonkajšej plochy obvodového plášťa