

Tmavé fasády – Áno, či Nie?!

Peter Briatka, Zuzana Sternová, Technický a skúšobný ústav
stavebný, Bratislava

Úvod

Jednou z úloh ETICS, okrem zvýšenia tepelného odporu obvodového plášťa a vyvolaného zlepšenia energetickej hospodárnosti budovy, je aj ochrana nosného alebo nenosného obvodového plášťa pred klimatickým zaťažením vonkajším prostredím. Súčasne sa najväčší teplotný gradient z pôvodného obvodového plášťa presúva do ETICS.

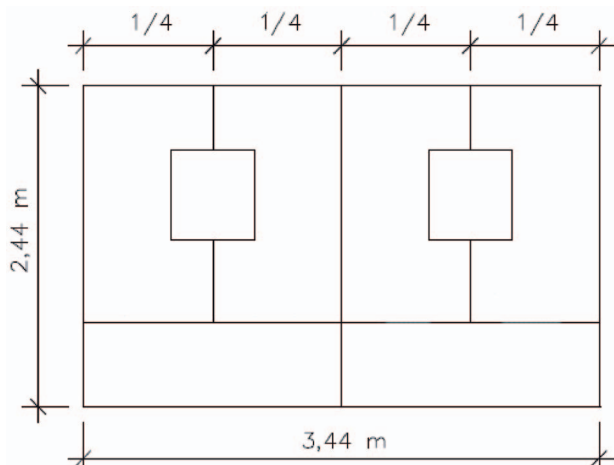
Pri globálnom pohľade na problematiku ETICS nie je dôležitá len absolútna úspora energie za najbližšie vykurovacie obdobia, ale hlavne aj doba, počas ktorej je kontaktný tepelnoizolačný systém (ETICS) schopný prinášať úspory, čiže jeho životnosť.

Výrobcovia ETICS deklarujú zaručenú životnosť 25 rokov. Skúšky umelého starnutia, ktoré sa na ETICS vykonávajú, nezachytávajú skutočné podmienky, ktoré sa na fasádach počas životnosti vyskytujú. Už samotné geometrické členenie vzoriek je výrazným limitujúcim faktorom. Výsledok takejto skúšky na vzorke 3,4 m x 2,4 m (obr. 1) má reprezentovať správanie ETICS na buddove s rozmermi napr. 50 m x 20 m (obr. 2).

Aplikáciu ETICS sa spôsobí, že bod s najväčším teplotným namáhaním bude v povrchovej úprave ETICS. Absolútne teplotné namáhanie je priamo úmerné absolútnemu teplotnému gradientu. Ten sa pre určitý bod dá vyjadriť ako rozdiel najvyššej a najnižšej povrchovej teploty ETICS v danom bode. Vďaka snahe o určité architektonické stvárnenie fasád sa čoraz častej-

šie stretávame s návrhmi architektov využívajúce veľmi sýte, až tmavé odtiene povrchových úprav. Tu si treba uvedomiť, že tmavšie odtiene sa tak vizuálne javia preto, lebo väčšie množstvo dopadajúceho svetla pohlcujú a logicky odrážajú len menšiu časť dopadajúcej energie. Z jednoduchých princípov fyziky vyplýva, že tmavé povrchové úpravy zabezpečujú ich vlastné „prehrievanie“ v letnom období a tým zvyšujú teplotný gradient. Dôsledkom toho je väčšie teplotné namáhanie a časom i únavové zaťaženie, ktoré sa uvoľňuje vo forme trhlín v najkrehkejšej časti kompozitu. V tomto prípade je to tenkovrstvé prekrytie izolačnej vrstvy, ktoré by v ideálnom prípade malo byť dokonale celistvé, pretože vytvára primárnu bariéru (stavby) proti stekajúcej vode a samozrejme hnanému dažďu. Všetci vieme, že voda je hlavný nepriateľ stavby. Na mieste je otázka: Aký vplyv bude mať porušenie celistvosti ETICS na jeho životnosť, na jeho efektívnosť a ako prenikajúca voda ovplyvní jeho degradáciu? Ako je možné zabrániť vzniku a rozvoju trhlín v ETICS?

Technický a skúšobný ústav stavebný, nielen ako osvedčovacie miesto, ale i výskumná a projekčná inštitúcia, riešila v roku 2009 úlohu aplikovaného výskumu „Predikcia vývoja trhlín a eliminácia porúch kontaktných tepelnoizolačných systémov (ETICS)“. Výskum sa uskutočnil vďaka sponzorskému príspevku Prvej stavebnej sporiteľne, a.s. a materiálnej podpore spoločnosti Saint-Gobain Construction Products, s.r.o.



Obr. 1 Schéma vzorky pre skúšku umelého starnutia podľa ETAG 004



Obr. 2 ETICS v reálnych podmienkach na stavbe reálnych rozmerov

Zameranie projektu

Prvotným ideovým zámerom bolo overiť vplyv farebnosti tzv. tmavých fasád na vznik a rozvoj trhlín v povrchovej úprave, navrhnuť technické riešenie eliminácie vzniku trhlín a kvantifikovať jeho efektívnosť. Sekundárnym výsledkom malo byť odvodenie praktických odporúčaní pre projektantov a aplikátorov ETICS.

Príprava projektu

Samotnej experimentálnej časti projektu predchádzala teoretická príprava projektu zameraná na určenie najvyšších, skutočne dosiahnuteľných, povrchových teplôt ETICS v letnom období. Výpočet vychádza z jednoduchého princípu. Povrchová teplota omietky θ_{se} je tým viac ovplyvnená slnečným žiarením, čím je jej súčiniteľ pohltivosti α vyšší (resp. súčiniteľ svetlosti farby A nižší). Toto tvrdenie je podložené rozdelením celkového tepelného výkonu slnečného žiarenia dopadajúceho na ETICS podľa vzťahov 1 a 2 a obr. 3.

$$Q_U = Q_R + Q_A + Q_T \quad (W) \quad (1)$$

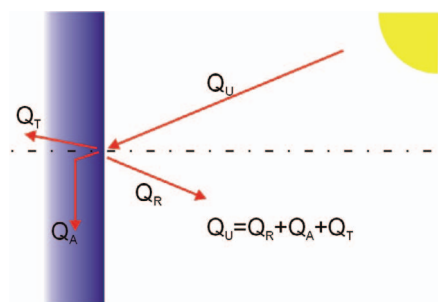
Q_U celkový tepelný výkon slnečného žiarenia (W)

Q_R tepelný výkon odrazený (reflektovaný) späť do prostredia (W)

Q_A pohltitý (absorbovaný) tepelný výkon (W)

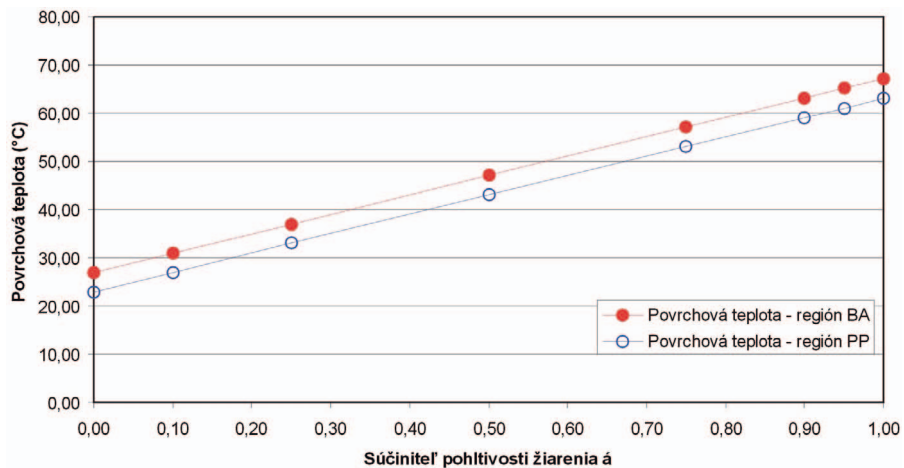
Q_T prevedený (transportovaný) tepelný výkon (W)

$$\theta_{se} = \frac{Q_U}{h_e} = \frac{Q_R + Q_A + Q_T}{h_e} \quad (2)$$



Obr. 3 Rozdelenie tepelného výkonu zo slnka dopadajúceho na konštrukciu

Výpočet návrhovej povrchovej teploty vzorky θ_{se} (vzťah 3) berie do úvahy zložku vonkajšej teploty vzduchu, vplyv rýchlosti prúdenia vzduchu a intenzitu slnečného žiarenia. Vstupné údaje o teplote vonkajšieho vzduchu, slnečnom žiarení a rýchlosti prúdenia vzdu-



Obr. 4 Farebnosť povrchových úprav

chu boli vybrané pre mesto Bratislava z hodnôt pre celé územie Slovenska tabuľkovo spracovaných v [3]. Ako návrhová povrchová úprava bola vybratá omietka zelenej farby s $\alpha \approx 81,7$ ($A \approx 18,3$) a fialovej farby s $\alpha \approx 88,6$ ($A \approx 11,4$) podľa obrázka 6. Uskutočnený výber vstupných hodnôt berie do úvahy najnepriaznivejšie podmienky vyskytujúce sa na Slovensku.

$$\theta_{se} = \frac{\alpha \cdot I_{sj}}{h_e} - \frac{\theta}{h_e} \quad (3)$$

θ_{se} povrchová teplota ETICS (°C)

θ teplota vonkajšieho vzduchu (°C)¹⁾

α súčiniteľ pohltivosti žiarenia (-)²⁾

I_{sj} intenzita globálneho žiarenia (W/m²)³⁾

h_e koeficient prestupu tepla na vonkajšom povrchu (W/(m²K))⁴⁾

u teplo vydávané povrchom konštrukcie vplyvom sálania do atmosféry (W/m²)

$$\theta_{se} = 28,3 + \frac{0,817 \cdot 663}{16,5} - \frac{22,3}{16,5} = 59,77 \approx 59,8 \quad (3)$$

$$\theta_{se} = 28,3 + \frac{0,886 \cdot 663}{16,5} - \frac{22,3}{16,5} = 62,55 \approx 62,6 \quad (3)$$

$$h_e = 5,3 + 3,6 \cdot v + 4 \quad (W/(m^2 \cdot K)) \quad (4)$$

v rýchlosť vetra (m/s)⁵⁾

Poznámka: Do výpočtu povrchovej teploty (vzťah 3) sa dosadili hodnoty tabuľkovo spracované v [3] a pre možnosť jednoduchého overenia ich uvádzame v starých jednotkách, i keď v legende sú popísané v súčasnosti používanými jednotkami sústavy SI.

1) uvažovaná 28,3 °C pre Bratislavu o 16:00 hod.

2) uvažovaný 0,817 a 0,886

3) uvažovaná 663 pre 48° s.z.š. o 16:00 hod. na západnej stene a zohľadňuje Lambertov zákon

4) vypočítaný 16,5 zo vzťahu (4)

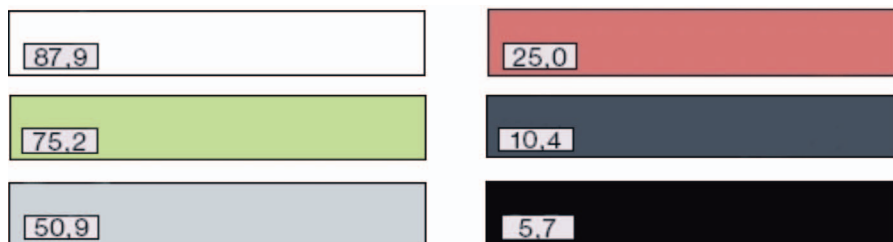
5) určená 2 pre oblasť Bratislavy vo výške 10m a v mesiaci Júl (prepočet podľa [5])

Zjednodušenú a ilustratívnu závislosť povrchovej teploty ETICS v letnom období od súčiniteľa svetlosti omietky a lokality, v ktorej je skúmaný tepelnizolačný systém aplikovaný poskytujú obr. 4 a 5.

Analýza dát

Súčasťou prípravy bola aj rozsiahla analýza výsledkov skúšok ETICS vykonaných v TSÚS [2]. Z tejto analýzy vyplynuli požiadavky na materiálovú skladbu skúšobných vzoriek. Zhrnutím analýzy je nasledovný výber materiálov a ich parametrov:

- povrchová úprava
 - omietka: akrylátová
 - zrnitosť: 1,5mm
 - štruktúra: roztieraná
 - farebnosť, resp. súčiniteľ svetlosti: 18,3 a 11,4 (obr. 6)
- penetračný náter – príslušný k povrchovej úprave a základnej vrstve
- základná vrstva
 - malta Weber.Therm KPS
 - malta Weber.Therm Exclusive
 - výstužná mriežka Vertex R117 s E v pozdĺžnom smere o 31,47% vyšším ako v priečnom smere [4]
- tepelná izolácia - EPS ISO-VER FACADE 70F hr. 80 mm
 - MW ORSIL TF, dosky hr. 80 mm



Obr. 5 Závislosť letných povrchových teplôt od súčiniteľa pohltivosti žiarenia pre dva rôzne regióny pri určitých okrajových podmienkach (charakteristických pre dané regióny)



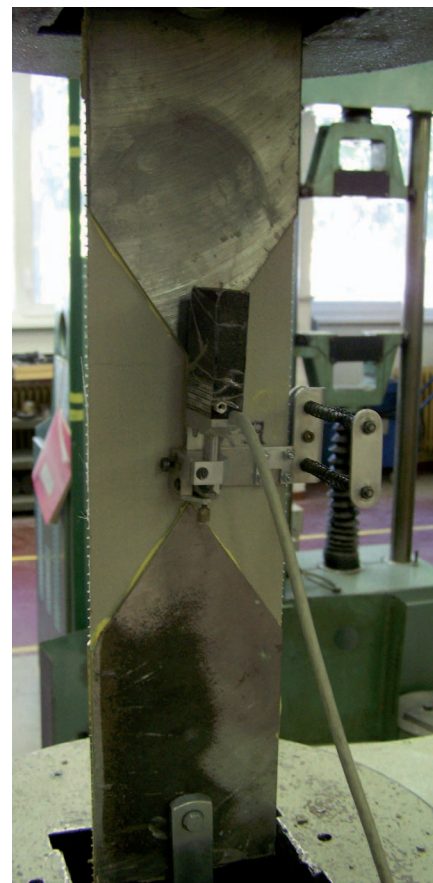
Obr. 6 Reprezentatívne približné farebné odtiene súčiniteľov svetlosti použitých v obr. 5

Predbežné overenie účinnosti navrhovaného riešenia

Ďalším prípravným krokom bolo predbežné overenie účinnosti navrhovaného konštrukčného riešenia ako obmedziť vznik trhlín v tmavých fasádach. Ideou, ako obmedziť vznik trhlín v inak krehkom materiály základnej vrstvy bolo jej dvojitú vystuženie sklotextilnou mriežkou. Vychádzalo sa z predpokladu, že vyšší stupeň vystuženia spôsobí zlepšenie mechanických vlastností kompozitu, a to ešte pred prekročením pevnosti v ťahu a zdvojená výstuž bude zdvojnásobeným špecifickým povrchom v styku s maltovinovou zložkou zabezpečovať vyššiu lokálnu súdržnosť dvoch elementárnych pričných rezov základnou vrstvou. Pre overenie tohto predpokladu sa vybrala skúška modulu pretvárnosti – v bežnej praxi stotožňovaného s modulom pružnosti (ďalej len modul pružnosti).

Skúška modulu pružnosti základnej

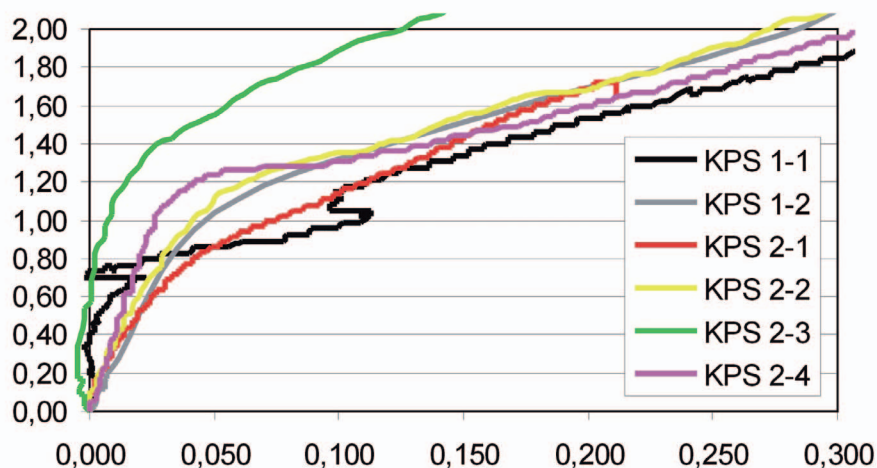
vrstvy nie je štandardizovaná a v zásade sa vykonala len ako experimentálna. Návrhom skúšobného postupu, aparatury a metodiky vyhodnocovania predstavuje akýsi kompromis medzi skúškou omietkového pásika [1] a skúškou statického modulu pružnosti betónu [6 a 7]. Skúšobné vzorky omietkových pásikov (obr. 7 a 8) sa zaťažovali ťahom a zo získaných pracovných diagramov (obr. 9 a 10) ako aj z výsledkov ťahových skúšok omietkových pásikov (obr. 11 a 12) [4] sa pomocou princípu sečnicového modelu [6] stanovil modul pružnosti. Počas skúšok sa zohľadnila odlišnosť maltových zmesí na polystyrén (EPS) a minerálnu vlnu (MW) ako aj rôzny vek skúšobných vzoriek, ktorý v skutočných podmienkach nemožno zanedbať. Výsledky zo skúšok modulu pružnosti (tab. 1) indikujú vhodnosť zamýšľaného konštrukčného riešenia eliminácie vzniku trhlín v základnej vrstve a následne v povrchovej úprave a to



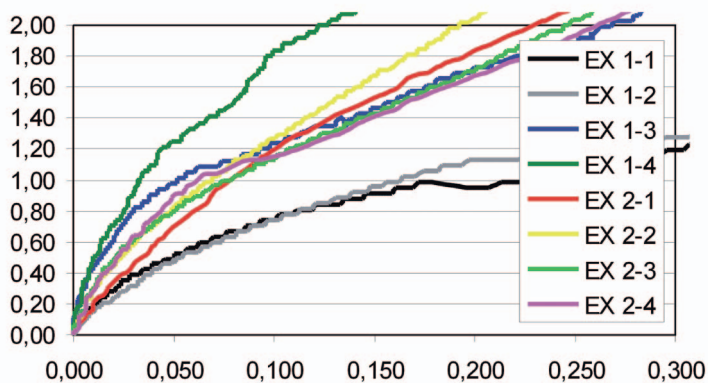
Obr. 7 Omietkový pásik pred začiatkom zaťažovania



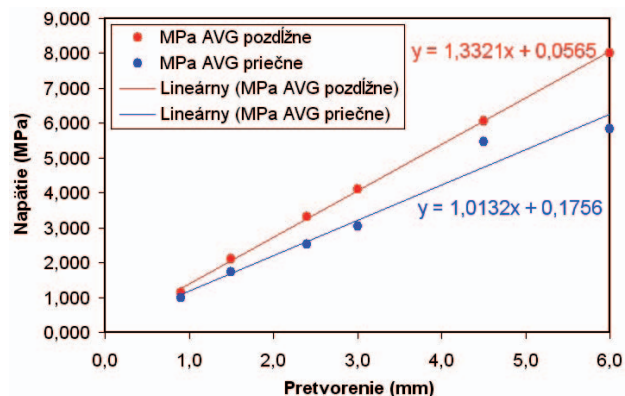
Obr. 8 Omietkový pásik s osadeným extenzometrom počas zaťažovania ťahom



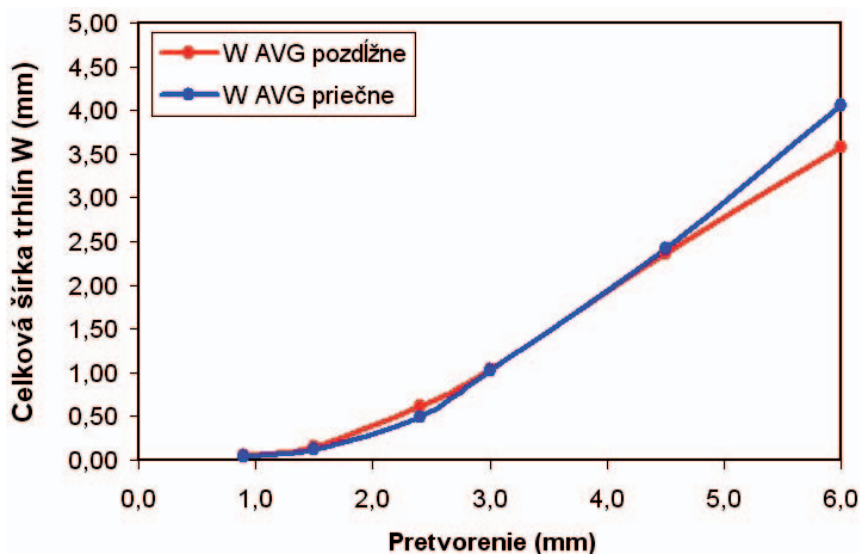
Obr. 9 Pracovný diagram vzorky KPS (pre EPS) vo veku 10 dní



Obr. 10 Pracovní diagram vzorky EXCLUSIVE (pre MW) vo veku 10 dní



Obr. 11 Pracovní diagram ťahovej skúšky omietkového pásika KPS+Vertex R117 [4]



Obr. 12 Rozvoj trhlin počas ťahovej skúšky omietkového pásika KPS+Vertex R117 [4]

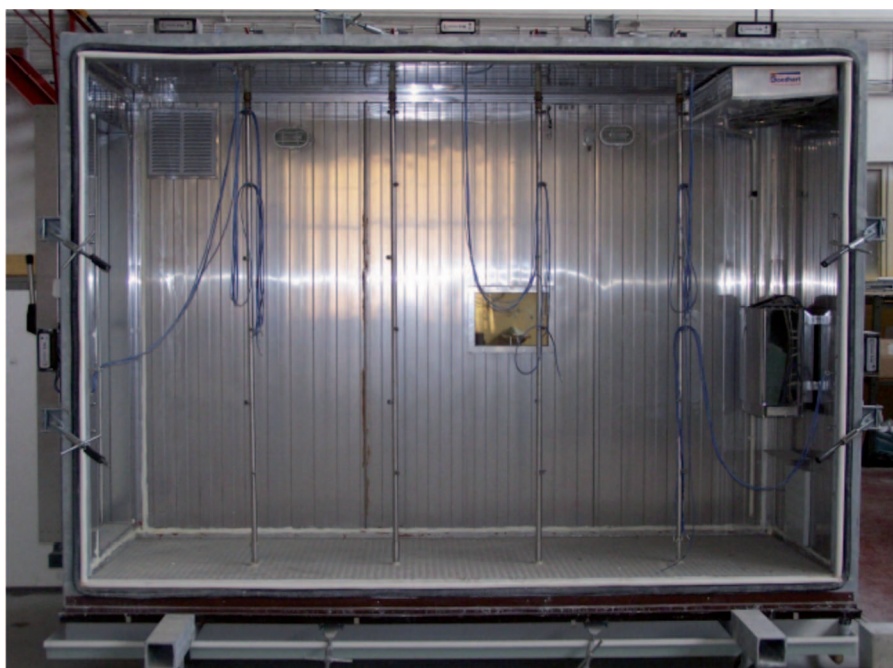
sa modifikovala maximálna teplota, ktorá mala reprezentovať vypočítanú návrhovú povrchovú teplotu ETICS. Návrh maximálnej teploty vykurovania klimatizačnej komory (obr. 13) bol značne limitovaný technologickými možnosťami jej riadenia. Maximálna teplota sa navrhla 61°C s hysteréznou slučkou 2°C.

Vzorky oboch materiálových báz (EPS aj MW) boli vyhotovené podľa technologického pravidla dodávateľa materiálov a zároveň podľa našich požiadaviek na členenie vzoriek ako aj riadenie hrúbky vrstvy prostredníctvom riadenia spotreby materiálu. Obr. 14 až 17 ilustrujú priebeh výroby vzorky EPS, ktorá bola následne 28 dní kondicionovaná pri štandardných laboratórnych podmienkach (Teplota 23±2°C a Relatívna vlhkosť 50±5%).

tým, že sa jednoznačne potvrdilo zvýšenie modulu pružnosti s rastúcim stupňom vystuženia.

Návrh a príprava skúšobných vzoriek a skúšobného programu

Po analýze výsledkov skúšok modulu pružnosti sa pristúpilo k návrhu skúšobných vzoriek pre hygrotermálnu skúšku. Pri rozhodovaní sa vzala do úvahy odhadovaná teplotná rozťažnosť základnej vrstvy (na základe receptúry a [8]) ako aj súdržnosť s podkladom (tepelným izolantom). Rozčlenenie plochy vzorky na určité segmenty malo za cieľ dosiahnutie čo najväčšieho množstva kombinácií stupňa vystuženia, farebného odtieňa povrchovej úpravy a detailov vystužovania sklotextilnou mriežkou. Segmenty vzoriek boli navzájom odseparované „škárami“ v základnej vrstve. Oproti štandardnej hygrotermálnej skúške [1 a 2]



Obr. 13 Otvorená skúšobná klimatizačná komora

Tab. 1 Prehľad meraní a výsledkov modulov pružnosti omietkových pásov

Materiál	Mriežka	Vzorka	Výsledky po 10 dňoch					Výsledky po 30 dňoch					Zmena E						
			σ DOLNÉ	σ HORNÉ	$\Delta\sigma$	E	E avg	σ DOLNÉ	σ HORNÉ	$\Delta\sigma$	E	E avg	MPa	%					
			ε DOLNÉ	ε HORNÉ	$\Delta\varepsilon$	(MPa)	(MPa)	ε DOLNÉ	ε HORNÉ	$\Delta\varepsilon$	(MPa)	(MPa)							
A-MW	1	A-MW 1-1	0,49	1,20	0,70	279,26	504,86	0,50	1,19	0,69	305,69	274,31	-230,55	-45,67					
			0,05	0,30	0,25				0,079	0,306	0,227								
	1	A-MW 1-2	0,50	1,27	0,78	312,59			0,51	1,07	0,57				242,93				
			0,05	0,30	0,25				0,069	0,302	0,233								
	1	A-MW 1-3	0,49	2,18	1,69	590,83													
			0,01	0,30	0,29														
	1	A-MW 1-4	0,51	2,94	2,43	836,76													
			0,01	0,30	0,29														
	2	A-MW 2-1	0,50	2,40	1,90	711,61			0,50	1,89	1,39				549,84				
			0,04	0,30	0,27				0,052	0,305	0,253				539,60				
	2	A-MW 2-2	0,51	2,80	2,29	829,01		706,75	0,51	1,93	1,42				539,60	544,72	-162,03	-22,93	
			0,02	0,30	0,28					0,037	0,301				0,264				
2	A-MW 2-3	0,50	2,33	1,83	654,50														
		0,02	0,30	0,28															
2	A-MW 2-4	0,49	2,27	1,78	631,88														
		0,02	0,30	0,28															
Relatívna zmena (%):						39,989						98,576							
B-EPS	1	B-EPS 1-1	0,51	1,85	1,34	450,61	543,41		0,51	1,11	0,60	235,86	300,43	-242,97	-44,71				
			0,00	0,30	0,30					0,049	0,303	0,254							
	1	B-EPS 1-2	0,25	2,10	1,85	636,21				0,50	1,43	0,93							365,01
			0,01	0,30	0,29					0,04	0,294	0,254							
	1	B-EPS 1-3																	
	1	B-EPS 1-4																	
	2	B-EPS 2-1	0,50	1,72	1,22	634,84		624,64	0,50	2,04	1,53	553,50				486,05	-138,59	-22,19	
			0,02	0,21	0,19					0,026	0,303	0,277							
	2	B-EPS 2-2	0,49	2,11	1,61	563,54				0,49	1,66	1,17							418,60
			0,01	0,30	0,29					0,02	0,3	0,28							
	2	B-EPS 2-3	0,49	2,91	2,43	792,78													
			0,00	0,30	0,31														
2	B-EPS 2-4	0,49	1,96	1,47	507,40														
		0,01	0,30	0,29															
Relatívna zmena (%):						14,949						61,782							

Samotná skúška prebiehala v 85 cykloch. Prvých 80 cyklov (1 cyklus v trvaní 6 hodín) predstavovalo vykurovanie komory na 61°C (zotrvanie 3 hodiny), následne kropenie vzorky vodou po dobu 1 hodiny čím sa prudko znížila jej povrchová teplota. Potom nasledovala dvojhodinová prestávka na odtok vody a vysušenie. Po 80 opakovaníach bola vzorka vystavená piatim cyklom zohriatia na teplotu 50°C (16 hodín) a zmrazenia na -20°C po dobu 8 hodín. Namerané povrchové teploty vzorky EPS v prvej časti skúšky zachytáva obr. 18 a v druhej časti skúšky obr. 19. Súhrnné informácie o nameraných povrchových teplotách na oboch vzorkách, a to v kritických cykloch (keď vznikla prevažná väčšina trhlin) poskytuje tab. 2 a tab. 3. Tieto tabuľky tiež poskytujú informácie o lokálnych zmenách teploty zaujímavých z hľadiska teplotnej rozťažnosti vrstiev ETICS.



Obr. 14 Lepenie tepelného izolantu EPS



Obr. 15 Prikotvenie tepelného izolantu EPS



Obr. 16 Čistenie a penetrácia základnej vrstvy

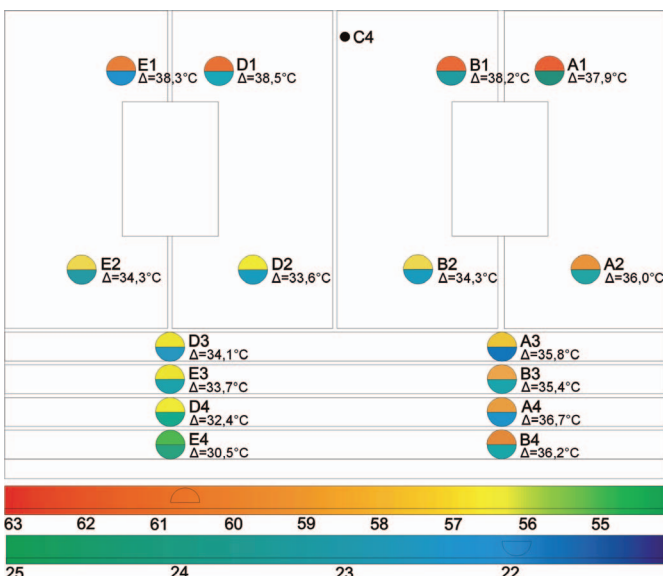


Obr. 17 Hotová vzorka s izolantom EPS

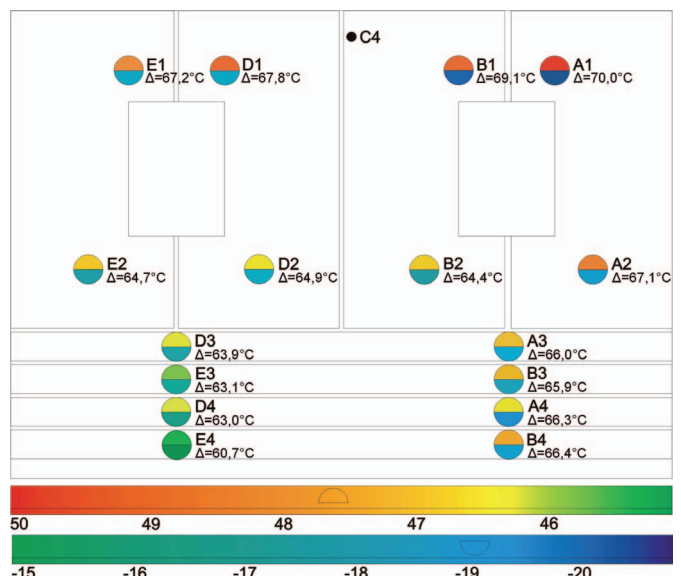
Interpretácia výsledkov

Vo vzorke z EPS vznikli v plošných segmentoch diagonálne trhliny (obr. 20), a to v styku ostení a parapetov. Vznik trhlín bol predurčený zámerným vyneschaním diagonálneho pásika výstužnej mriežky. Navrhnutým riešením bol detail oslabený pretože v smere hlavných napätí nebol dostatočne vystužený, čo viedlo ku vzniku trhlín. Ukázalo sa, že vystuženie diagonálnym pásikom v oblasti výplňových konštrukcií je nevyhnutné vždy, a to aj v tom prípade ak je základná vrstva celoplošne vystužená dvomi vrstvami mriežky.

Obr. 20 poskytuje prehľad o mieste, čase i príčine vzniku trhlín vo vzorke EPS. V zásade možno rozlíšiť dve primárne obdobia vzniku trhlín. Prvým je prvých 80 cyklov (zohrievanie a krope-



Obr. 18 Priemerné povrchové teploty v 12. cykle (počas zohrievania aj počas kropenia)



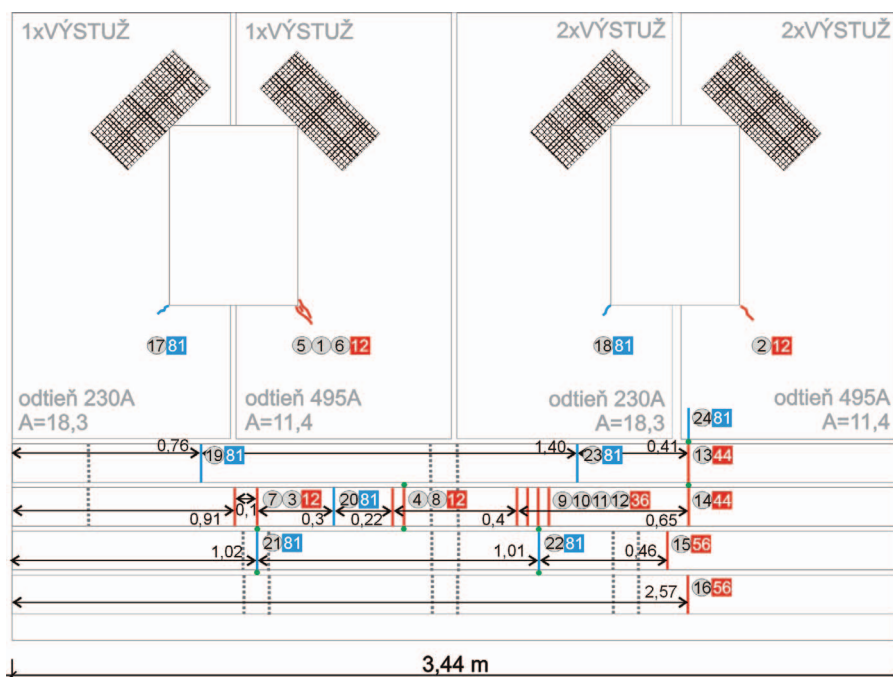
Obr. 19 Priemerné povrchové teploty v 81. cykle (počas zohrievania aj počas zmrzovania)

Tab. 2 Priemerné teploty na vzorke EPS počas 12. a 81. skúšobného cyklu

CYKLUS	Priem. teplota v konštr. steny (°C)					Priemerná teplota v meraných bodoch (°C)																		
	AMB	C1	C2	C3	C4	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	AVG	St.Dev.	Var.
12 - zohrievanie	61.0	28.8	31.6	36.1	63.4	62.1	59.4	57.6	58.8	61.6	56.9	58.5	59.5	61.3	56.3	56.8	56.3	60.8	57.3	56.8	54.8	58,4	2,11	4,44
12 - krovenie	25.9	27.7	31.8	29.9	24.0	24.2	23.4	21.8	22.1	23.4	22.6	23.1	23.3	22.8	22.6	22.7	23.9	22.5	23.0	23.1	24.3	23,0	0,66	0,44
81 - zohrievanie	39.3	26.9	27.6	29.6	49.8	49.7	48.5	47.0	46.7	49.0	46.9	47.3	47.6	49.1	46.6	46.1	48.6	47.1	45.8	45.3	47,3	1,24	1,54	
81 - zmrazovanie	-20.5	26.6	25.6	19.8	-20.6	-20.3	-18.7	-19.0	-19.6	-20.1	-17.5	-18.7	-18.8	-18.7	-18.3	-17.7	-16.9	-18.6	-17.7	-17.3	-15.4	-18,3	1,20	1,45
Δ12	35,1	1,1	0,2	6,2	39,4	37,9	36,0	35,8	36,7	38,2	34,3	35,4	36,2	38,5	33,6	34,1	32,4	38,3	34,3	33,7	30,5	35,4	2,21	4,87
Δ81	59,7	0,4	2,0	9,8	70,3	70,0	67,1	66,0	66,3	69,1	64,4	65,9	66,4	67,8	64,9	63,9	63,0	67,2	64,7	63,1	60,7	65,7	2,31	5,35

Tab. 3 Priemerné teploty na vzorke MW počas 36. a 68. skúšobného cyklu

CYKLUS	Priem. teplota v konštr. steny (°C)					Priemerná teplota v meraných bodoch (°C)																		
	AMB	C1	C2	C3	C4	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	AVG	St.Dev.	Var.
36 - zohrievanie	59.9	22.4	29.9	32.6	62.4	61.9	60.8	56.9	54.5	61.4	55.5	57.3	55.2	61.3	54.2	54.3	53.4	63.5	62.7	53.0	53.0	57,4	3,72	13,85
36 - krovenie	22.0	22.6	30.2	29.8	20.5	20.8	21.6	19.8	20.1	21.1	19.6	20.7	20.2	20.5	20.7	20.1	20.6	20.4	20.3	20.1	20.8	20,5	0,48	0,23
68 - zohrievanie	60.1	22.1	29.1	32.1	61.1	60.8	59.6	55.7	52.6	60.2	54.3	56.1	53.9	59.6	54.0	52.6	51.2	62.2	61.6	51.6	52.1	56,1	3,79	14,33
68 - zmrazovanie	20.4	22.8	29.3	29.3	20.3	20.8	21.1	19.9	20.4	20.2	20.3	20.8	20.7	20.5	20.9	20.1	21.0	20.2	20.2	20.5	20.1	20,5	0,35	0,12
Δ36	37,8	0,2	0,2	2,9	41,9	41,1	39,2	37,0	34,4	40,4	35,9	36,6	35,0	40,8	33,5	34,2	32,8	43,1	42,4	32,8	32,3	37,0	3,56	12,71
Δ68	39,7	0,6	0,2	2,7	40,7	40,0	38,4	35,7	32,2	40,0	34,0	35,4	33,2	39,1	33,2	32,5	30,1	42,0	41,4	31,1	32,0	35,6	3,81	14,55

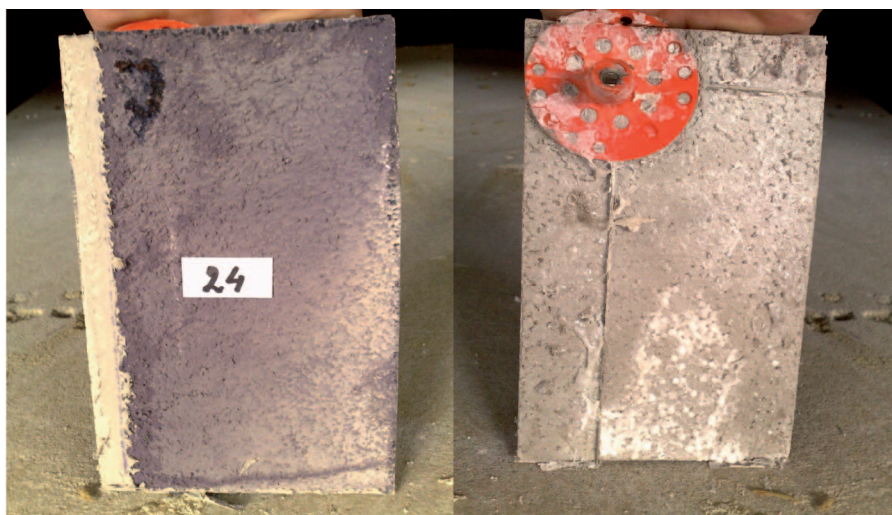


Obr. 20 Mapa vzniku a rozvoja trhlín počas hygrotermálnej skúšky vzorky EPS

EPS dosiek. Vplyvom malej šírky omietkových pásov došlo k ich porušeniu zatiaľ čo v plošných segmentoch vzorky sa obdobné správanie nezaznamenalo (resp. opäť len v okrajovej a teda oslabenej oblasti trhlina č. 24).

Ak sa zaoberáme len trhlinami vznikajúcimi v tzv. tmavých fasádach ako dôsledok ich prehrievania a prípadného prudkého ochladenia budeme sa ďalej venovať len trhlinám znázorneným na obr. 20 červenou farbou. Ako je vidno, v prvom jedenkrát vystuženom páse sa vytvorila len jedna trhlina (č. 13) a aj to na styku dvoch EPS dosiek. Dôvody, prečo sa nesformovalo viacero trhlín sa nám nepodarilo odhaliť. V druhom jedenkrát vystuženom páse pozorujeme osamotené alebo zoskupené trhliny v pravidelných vzdialenostiach – zľava (62; 45 a 60) cm. Berúc tento pás za referenčný môžeme tvrdiť, že trhliny vznikajú

nie). Druhé obdobie reprezentujú cykly 81 – 85 (zohrievanie a zmrazovanie). Počas zmrazovania, kedy zmena povrchovej teploty (voči teplote pri aplikácii ETICS) mohla dosahovať až -40°C vznikli hlavne trhliny v blízkosti styku dosiek tepelného izolantu (obr. 21). Spôsobené boli teplotným zmrštením polystyrénu, ktoré (v závislosti od súčiniteľa teplotnej rozťažnosti $5 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ resp. $7 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$) mohlo dosiahnuť hodnoty 1,01 mm resp. 1,41 mm. Tu si treba uvedomiť, že prenos deformácií tepelnoizolačnej vrstvy do základnej vrstvy a povrchovej úpravy bol umožnený voľbou tvaru omietkového pásu. V smere kolmom na smer pásu boli styčné plochy



Obr. 21 Trhlina č. 14 v styku dvoch EPS dosiek počas zmrazovania

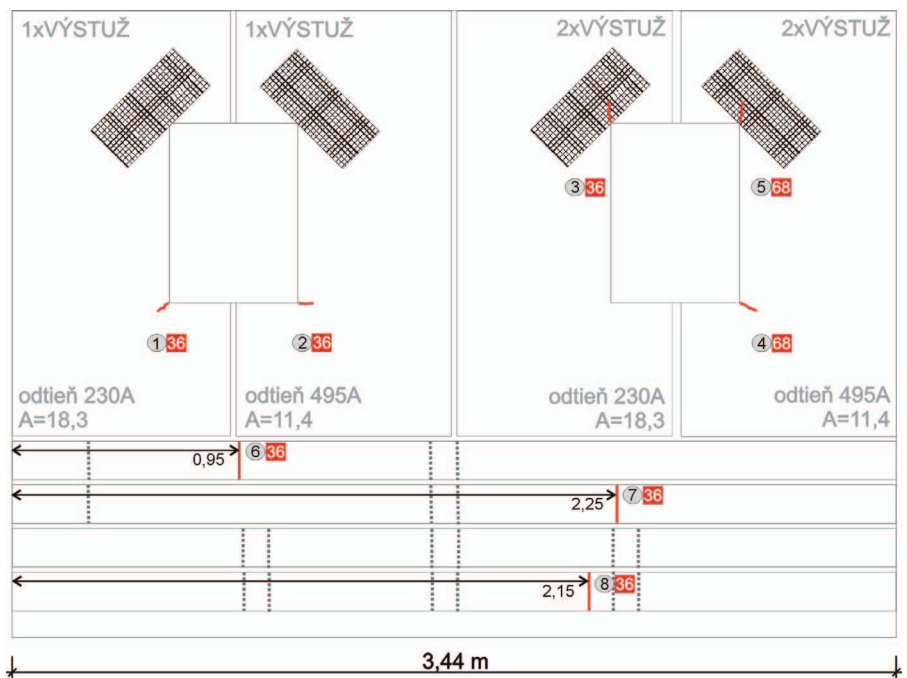
kajú ako reakcia na teplotnú dilatáciu a vytvárajú štvoruholníky s pomerom strán približne 1:4 až 1:3. V dvakrát vystužených pásoch sa vytvorila len jedna trhlina (na efektívnej dĺžke pásu cca 3,24 m). Ak vychádzame z predpokladu, že napätie na efektívnej dĺžke sa uvoľnilo v jedinej trhline, potom je možné že dodržanie štvorholného pomeru 1:11 až 1:10 pri vytváraní dilatačných celkov tmavých fasád s dvakrát vystuženou základnou vrstvou eliminuje tvorbu trhlín.

Vo vzorke z MW vznikli prevažne tzv. diagonálne trhliny v plošných segmentoch (obr. 22), a to v styku ostení a parapetov resp. nadpraží. Vznik trhlín č. 1; 2 a 4 bol predurčený zámerným vynechaním diagonálneho pásika výstužnej mriežky. Ak porovnáme čas vzniku trhlín č. 1 a 2 (36. cyklus) a trhliny č. 4 (68. cyklus) potom je zřejmé, že dvojitě vystuženie základnej vrstvy, ktoré sa aplikovalo aj v mieste vzniku trhliny č. 4 spôsobilo oddialenie vzniku trhliny o skoro dvojnásobný čas. V plošných segmentoch vzorky vznikli diagonálne trhliny (č. 3 a 5) aj v styku ostenia a nadpražia, ktoré boli vždy vystužené diagonálnym pásikom výstužnej mriežky. Zaujímavé je, že tieto trhliny, i keď sú situované v ploche dvakrát vystuženej sklotextilnou mriežkou, nevznikli v približne rovnakom čase a navyše, že vôbec nevznikli v ploche s jedinou vrstvou sklotextilnej mriežky.

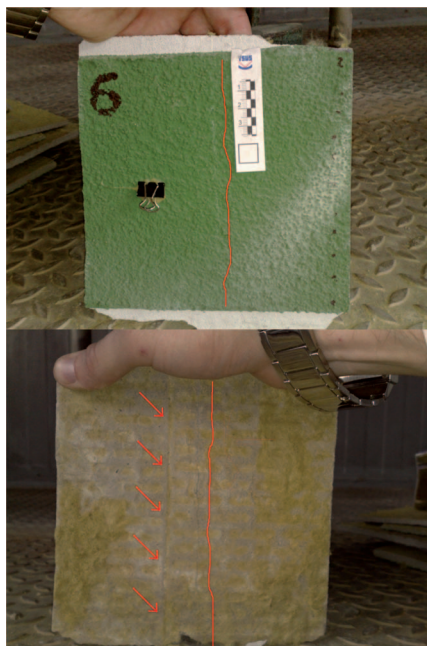
Z hľadiska vzniku trhlín boli zaujímavé skúšobné cykly č. 36 a 68 (tab. 3). V týchto cykloch bola vzorky vystavená teplotným šokom – zohriatiu a prudkému poklesu teploty o cca 37,0°C so smerodajnou odchýlkou 3,6°C (37°C/3,6°C).

V dilatačných pásoch (len vyrovnávací vrstva na tepelnej izolácii) medzi plošnými segmentmi sa už počas prípravy vzorky sformovali jemné trhlinky, ktoré počas hygrotermálnej skúšky reagovali na aktuálne teploty zmenou šírky.

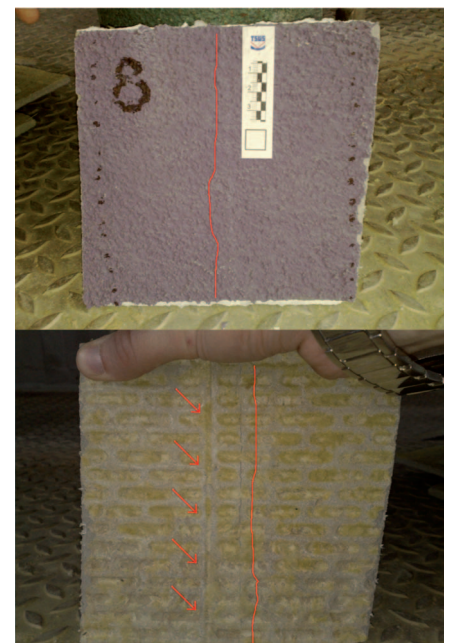
V horizontálnych omietkových pásoch vznikli len tri trhliny (č. 6; 7 a 8), a to v 36. cykle (pri teplotných šokoch cca 35°C). Trhliny č. 6 a 8 (obr. 23 a 24) vznikli v blízkosti styku dosiek tepelnej izolácie. Je preto pravdepodobné, že ich sformovanie je dôsledkom objemových zmien v tepelnej izolácii. Ak uvažujeme zmenu teploty 35°C v hornej vrstve tepelnej izolácie a uvažujeme súčiniteľ teplotnej rozťažnosti $\alpha_{T,MW}$ s hodnotami



Obr. 22 Mapa vzniku a rozvoja trhlín počas hygrotermálnej skúšky vzorky MW



Obr. 23 Trhlina č. 6 v styku dvoch MW dosiek počas zohrievania resp. kropenia



Obr. 24 Trhlina č. 8 v styku dvoch MW dosiek počas zohrievania resp. kropenia

7,6.10⁻⁶ 1/K a 9,9.10⁻⁶ 1/K [9], potom individuálne dosky (1000mm x 500mm) tepelnej izolácie môžu v základnej vrstve generovať napätie zodpovedajúce predĺženiu dosky o cca 0,27mm resp. 0,35mm.

Vo všeobecnosti však môžeme tvrdiť, že nižším stupňom spriahnutia vrstvy tepelnej izolácie a základnej vrstvy, dochádza ku generovaniu menšieho vynúteného napätia v základnej vrst-

ve, a preto základná vrstva i povrchové úpravy vykazujú podstatne menšie množstvo trhlín. Ukazovateľom spriahnutia týchto dvoch vrstiev je parameter prírďžnosti základnej vrstvy k tepelnej izolácii podľa ETAG 004 [1]. Prehľad o prírďžnosti použitých základných vrstiev k tepelnej izolácii podávajú tab. 4 a 5, z ktorých je zřejmé, že prírďžnosť vo vzorke MW predstavuje len cca 8-9% prírďžnosti vo vzorke EPS.

Tab. 4 Prídržnosť základnej vrstvy KPS k tepelnej izolácii EPS

Skušobné miesto	Odrthová plocha (mm ²)	Sila pri porušení (N)	Prídržnosť (MPa)	Porušenie
1	2500	283	0,113	80% v EPS
2		284	0,114	80% v EPS
3		246	0,098	70% v EPS
4		237	0,095	80% v EPS
5		287	0,115	80% v EPS
Priemer:		267,4	0,107	

Tab. 5 Prídržnosť základnej vrstvy Exclusive k tepelnej izolácii MW

Skušobné miesto	Odrthová plocha (mm ²)	Sila pri porušení (N)	Prídržnosť (MPa)	Porušenie
1	40000	352	0,009	štandardné
2		308	0,008	štandardné
3		400	0,010	štandardné
4		323	0,008	štandardné
5		340	0,009	štandardné
Priemer:		344,6	0,009	

Z hľadiska účinnosti technického riešenia obmedzovania trhlín dvojitým vystužením základnej vrstvy na tepelnej izolácii z minerálnej vlny sa ukazuje tento koncept ako účinný, ale neefektívny vzhľadom na nižšie vynútené napätia v základnej vrstve.

Z hľadiska požiadavky na celistvosť povrchovej úpravy je teda vhodnejšia skladba ETICS s použitím minerálnej vlny pretože nižšou súdržnosťou so základnou vrstvou je tepelná izolácia voľnejšia v dilatácii vplyvom teploty a týmto pohybom nevyvoláva vynútené napätia v základnej vrstve. Nevýhodou tohto stavu môže byť cyklické zaťažovanie ETICS v spoji tepelnej izolácie a základnej vrstvy, ktoré môže časom viesť ku zníženiu prídržnosti základnej vrstvy a tepelnej izolácie (pod 0,08 MPa [1]) – lokálnej delaminácii a prípadne až ku strate bezpečnosti celého ETICS.

Záver

Zo skúšok je jasne vidieť, že vzniknuté trhliny v ETICS s tmavými povrchovými úpravami spôsobujú nielen štandardné problémy celistvosti a súvisiacej degradácie obvodového plášťa, ale aj estetické vady vo forme bledo sfarbených výluhov na hranách trhlín, ktorý je tmavým odtieňom podkladu ešte zvyraznený.

Predpoklad vzniku porúch ETICS vo forme trhlín u tzv. tmavých fasád je nesporne vyšší ako pri fasádach vo fa-

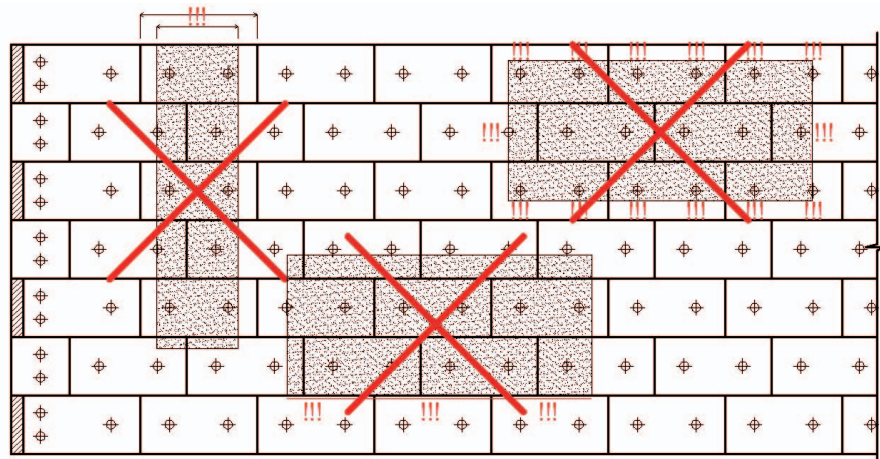
rebnom prevedení s nižším súčiniteľom pohltivosti žiarenia. Pravdepodobnosť vzniku trhlín v ucelenej ploche je relatívne nízka vzhľadom na idealizované dokonalé spriahnutie základnej vrstvy s podkladom (tepelnou izoláciou). Styk dvoch susedných izolačných elementov, ale predstavuje pre základnú vrstvu určitú diskontinuitu, ktorá umožňuje lokálne odseparovanie základnej vrstvy a vznik trhliny v maltovinovej zložke, i keď k deštrukcii výstužnej vrstvy (mriežky) nedôjde.

Z výsledkov skúšky EPS vzorky vyplýva, že konštrukčne alebo vizuálne odlišné pásy v ETICS na báze EPS by nemali byť užšie ako je najväčší rozmer tepelnoizolačného prvku a zároveň by

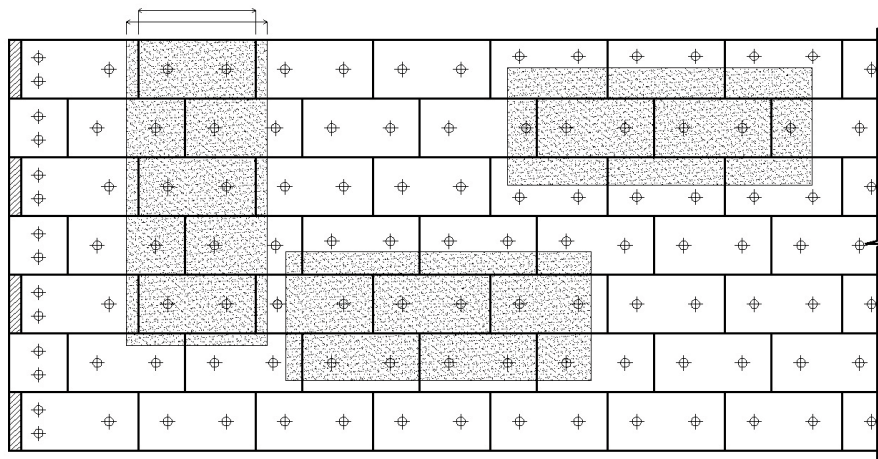
nemala žiadna z hrán pásu prechádzať nad líniou stykov prvkov tepelnej izolácie (obr. 25). Architektonické stvárnenie fasády by malo plne rešpektovať snahu o minimalizovanie líniového členenia fasády, ktorého prevládajúci smer by bol paralelný so smerom priebežných styčných plôch dosiek tepelnej izolácie (horizontálny smer). V prípade vytvorenia pásových segmentov s tmavými povrchovými úpravami je potrebné upraviť počet a/alebo polohu ukotvenia tepelnej izolácie (obr. 26) tak, aby nespôsobili plošne nehomogénne rozloženie hmoty základnej vrstvy a tým neprispievali ku vzniku a rozvoju trhlín. Pri uvedenej zmene kotvenia je samozrejme potrebné overiť vhodnosť riešenia kotvenia v oblasti segmentu ETICS statickým výpočtom.

Takzvané tmavé fasády v ETICS na báze penového polystyrénu sa, na základe zistení, odporúča vystužovať zdvojením sklotextilnej mriežky v základnej vrstve pričom všetky ostatné zásady vystužovania zostávajú zachované. Pri aplikácii tmavých povrchových úprav ETICS na báze polystyrénu sa odporúča vo fasáde vytvárať dilatčné polia štíhlostných pomerov max. 1:3 až 1:4 pričom v prípade aplikácie dvojitého vystuženia sa ukazuje, že štíhlostný pomer by mohol vzrásť na hodnotu 1:10 až 1:11. Všeobecnou zásadou členenia plochy na dilatčné celky je eliminovanie ostrých uhlov zovretých susednými dilatčnými líniami.

Z výsledkov skúšky MW vzorky vyplýva, že pri použití ETICS s tepelným izolantom na báze minerálnej vlny dochádza, v dôsledku nižšej súdržnosti



Obr. 25 Schéma s chybným návrhom ETICS (EPS) z hľadiska aplikácie tmavých povrchových úprav



Obr. 26 Schéma so opraveným návrhom ETICS (EPS) z hľadiska aplikácie tmavých povrchových úprav

medzi tepelnou izoláciou a základnou vrstvou, k menším vynúteným napätiam v základnej vrstve vplyvom teplotnej rozťažnosti izolantu. Tento fakt vysvetľuje aj redukcii množstva vzniknutých trhlin v štandardne jedenkrát vystužených segmentoch skúšobnej vzorky MW v porovnaní so vzorkou EPS.

Technologické obmedzovanie vzniku trhlin v základnej vrstve ETICS na báze minerálnej vlny dvojitým vystužením je v tejto materiálovej skladbe neefektívne. Pridaním jednej vrstvy výstužnej mriežky (dvojité vystuženie základnej vrstvy) sa zvýši tzv. modul pružnosti základnej vrstvy. Tab. 1 uvádza zistené moduly pružnosti v závislosti od času a od materiálu maltovinovej zložky základnej vrstvy. Dvojitým vystužením základnej vrstvy vzrástol jej modul pružnosti o 62% (malta KPS) resp. o 99% (malta EXCLUSIVE). Týmto relatívnym nárastom modulu pružnosti zodpovedajú, relatívne obmedzenia vzniku trhlin 69% vo vzorke EPS a 50% vo vzorke MW.

Z pohľadu efektívnosti obmedzovania porúch povrchových úprav ETICS s nízkym súčiniteľom svetlosti resp. vysokým súčiniteľom pohltivosti žiarenia sa v tomto momente ako najvhodnejšie riešenie javí aplikácia ETICS na báze minerálnej vlny. Treba však poznamenať, že styk základnej vrstvy a tepelného izolantu, v ktorom opakovane dochádza k pokľzu medzi týmito dvomi vrstvami môže časom viesť k jeho únavovému (lokálnemu alebo plošnému) porušeniu a zníženiu súdržnosti vrstiev pod bezpečnú hranicu 0,08 MPa [6].

Aktuálnosť, rozsah a komplexnosť témy si vzhľadom na širokú materiálóvu základňu nielen samotných zateplovacích systémov, ale hlavne ich rôznych komponentov vyžaduje pokračovanie aplikovaného výskumu najmä v oblasti objemovej stálosti tepelnoizolačných materiálov.

Podakovanie

Táto práca, evidovaná pod číslom

10090001 – VaV, vznikla vďaka daru Prvej stavebnej sporiteľne, a.s. a vďaka výraznej podpore spoločnosťou Saint-Gobain Construction Products, s.r.o.

Literatúra a súvisiace dokumenty

- [1] ETAG 004 External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering, EOTA, Brussels, 2000
- [2] BRIATKA, P., STERNOVÁ, Z.: Výber povrchovej úpravy ETICS, *Stavba*, 6/2009, MF media, Bratislava, 2009, str. 28-31.
- [3] HALAHYJA, M. a kol.: *Stavebná tepelná technika, osvetlenie a akustika*, 1. vydanie, Alfa, Bratislava, 1970
- [4] TSÚS – Tatranská Štrba: *Protokol o skúške č. 178/2005, Ťahová skúška omietkového pásika*
- [5] STN EN ISO 13790 *Tepelno-technické vlastnosti budov. Výpočet potreby energie na vykurovanie a chladenie*. Národná príloha.
- [6] UNČÍK, S., ŠEVČÍK, P.: *Modul pružnosti betónu*, Edícia Betón Racio, Trnava, 2008
- [7] STN ISO 6784:1993 *Betón. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku*
- [8] ONDIK, S., GILINGER, J.: *Vplyv kameniva na teplotnú rozťažnosť betónu cementobetónových vozoviek*, TSÚS, Košice, 2008
- [9] <http://www.patentstorm.us/patents/5952254/claims.html>
- [10] TSÚS Bratislava: *Predikcia vývoja trhlin a eliminácia porúch kontaktných tepelnoizolačných systémov (ETICS)*, správa č.: 003/RÚ/2009/10090001-VaV, Bratislava, 2009