



TECHNICKÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV STAVEBNÝ
BUILDING TESTING AND RESEARCH INSTITUTE

PREDIKCIA VÝVOJA TRHLÍN A ELIMINÁCIA PORÚCH ETICS

ZUZANA STERNOVÁ, PETER BRIATKA



SPRACOVATEĽSKÝ KOLEKTÍV

vedúci riešiteľského tímu:

Prof. Ing. Zuzana Sternová, PhD.

riešiteľ:

Ing. Peter Briatka

spolupracujúci riešiteľ:

Ing. Patrik Ševčík

spolupracujúci riešiteľ:

Ing. Peter Kukučka

spolupracujúci riešiteľ:

Ing. Marián Hatala

spolupracujúci riešiteľ:

Ing. Roman Horečný

CIEĽ

Návrh podmienok na presnejšie určenie požiadaviek zhotovovania ETICS umožňujúcich uplatnenie tmavších farieb povrchovej úpravy, t.j. farebných odtieňov charakterizovaných $\alpha \geq 0,75$ čo je ekvivalentné $A \leq 25$ resp. $HBW \leq 25\%$.





OBJEDNÁVATEL'

PRVÁ STAVEBNÁ SPORITELŇA, a.s.

SPONZOR

SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS, s.r.o.

OPONENTI

Ing. Peter Matiašovský, PhD. – ÚSTARCH, SAV

Ing. Milan Machatka, CSc. – STOMIX, Česká Republika



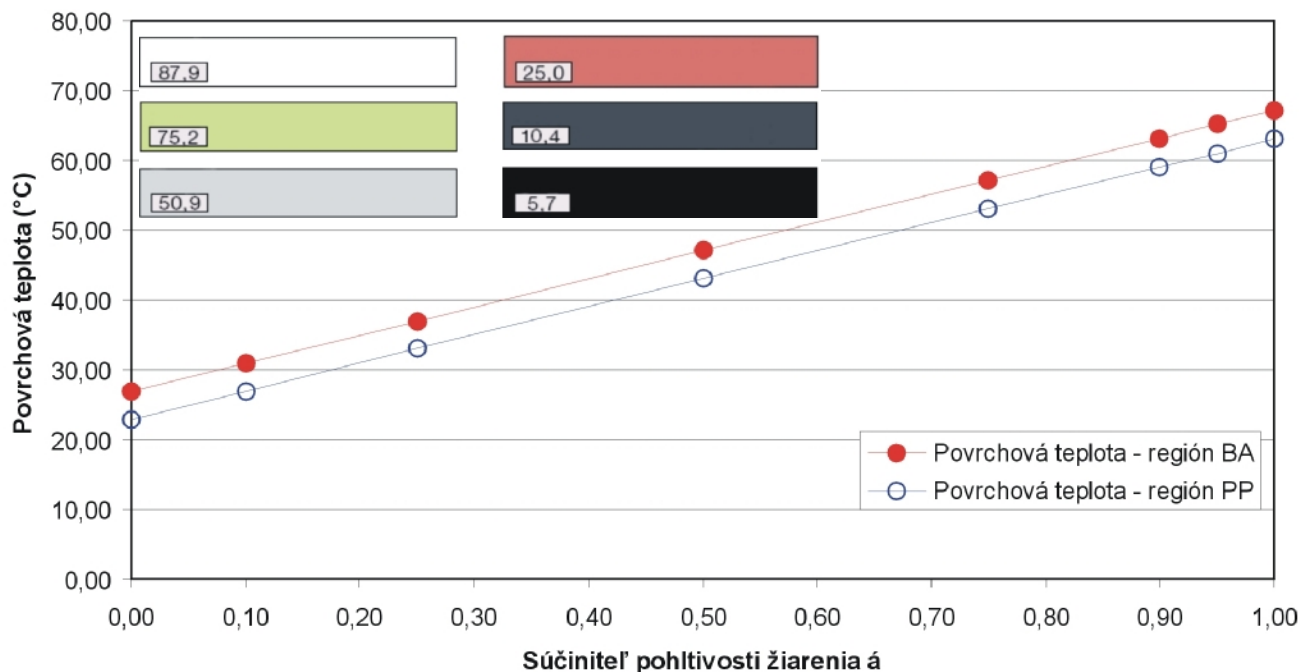
OBSAH

- 1 » TEORETICKÉ PRINCÍPY
- 2 » NÁVRH PROGRAMU EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA
- 3 » EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE
- 4 » INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA
- 5 » ZÁVERY A APLIKÁCIA VÝSLEDKOV



1 TEORETICKÉ PRINCÍPY

... mechanizmus vzniku trhĺín v povrchových úpravách ETICS súvisí s povrchovou teplotou, súčiniteľom pohltivosti žiarenia (α) resp. súčiniteľom svetlosti (A) a teplotnou rozťažnosťou komponentov ETICS.



1 TEORETICKÉ PRINCÍPY

» Fyzikálny princíp

$E = E_P + E_K$; $E_P = \text{konštantna}$; ak $\Delta E \neq 0$; potom $E_K \neq 0$

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha_T \cdot \Delta q$$

Δl - zmena dĺžky (m)

l_0 - pôvodná dĺžka (m)

α_T - súčiniteľ dĺžkovej teplotnej rozťažnosti (1/K)

$\Delta \theta$ - zmena teploty (K)

...materiály s vyššou pohltivosťou žiarenia nadobudnú vyššiu vnútornú energiu v dôsledku čoho zväčšia svoj objem viac ako materiály s nižšou pohltivosťou



1 TEORETICKÉ PRINCÍPY

» Mechanický princíp

$\Delta\theta \rightarrow \Delta E \rightarrow E_K \neq 0 \rightarrow$ snaha o Δl

...voľný pohyb je obmedzený súdržnosťou s ostatnými vrstvami, čo vyvoláva ťahové napätia σ_T .

$$E = \frac{S_t}{e} \quad e = \frac{\Delta l}{l_0} \quad S_t = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} = E \cdot \frac{l_0 \cdot a_T \cdot \Delta q}{l_0} = E \cdot a_T \cdot \Delta q$$

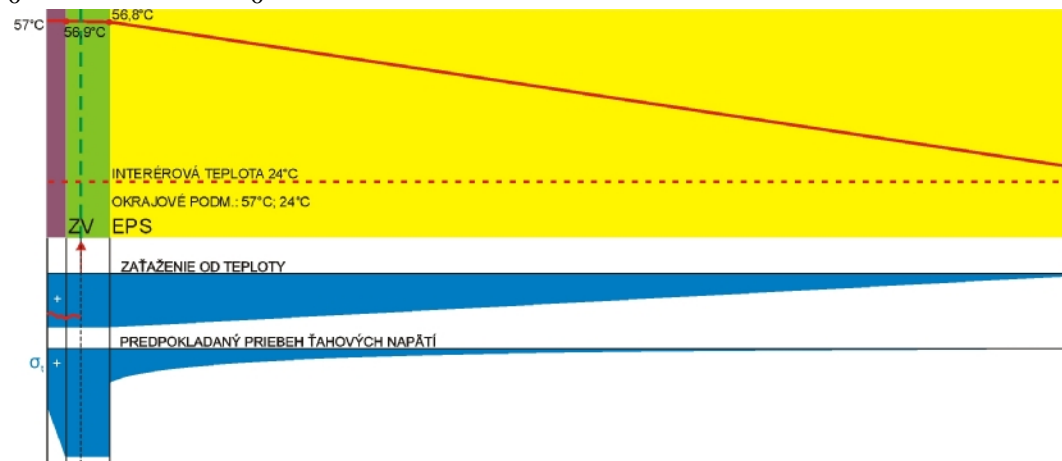
E - modul pružnosti (MPa)

σ_t - ťahové napätie (MPa)

ε - pomerné pretvorenie (-)

$E_{ZV} > E_{PU}; \alpha_{T,ZV} > \alpha_{T,PU} \rightarrow$

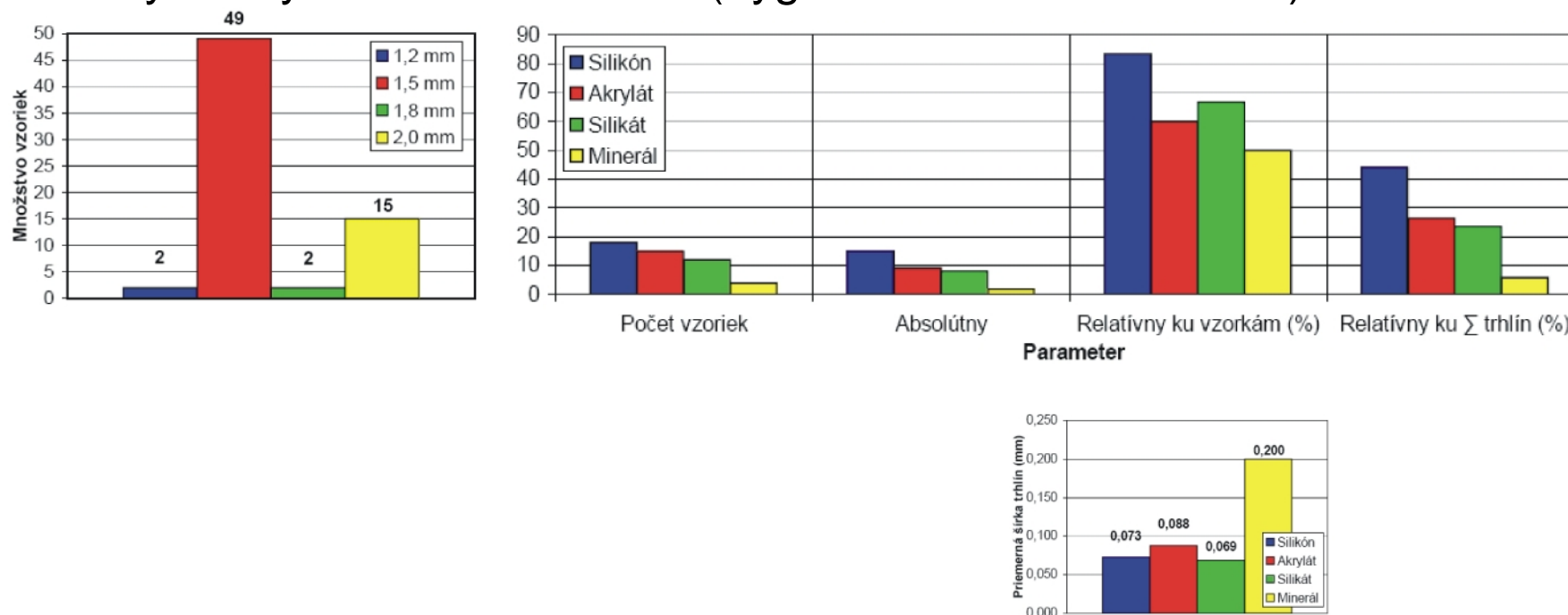
$\rightarrow \sigma_{t,ZV} > \sigma_{t,PU}$



2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.1 Výber materiálovej skladby

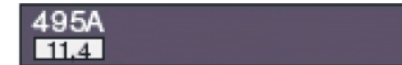
- » Analýza dát skúšok ETICS vykonaných v TSÚS (od roku 2005)
...výsledky umelého starnutia (hygrothermal behavior test) 68 vzoriek



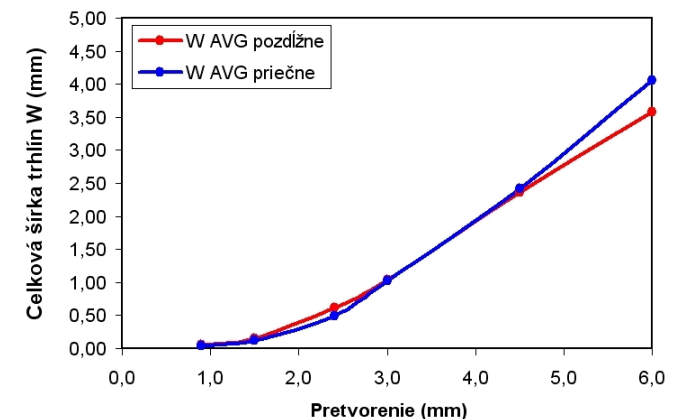
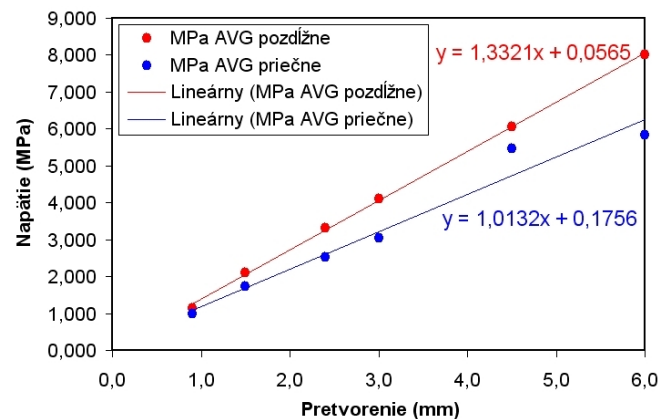
2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.1 Výber materiálovej skladby - SUMARIZÁCIA

- » Akrylátová omietka – zrnitosť 1,5 mm; štruktúra rozotieraná; farebnosť (súč. svetlosti)

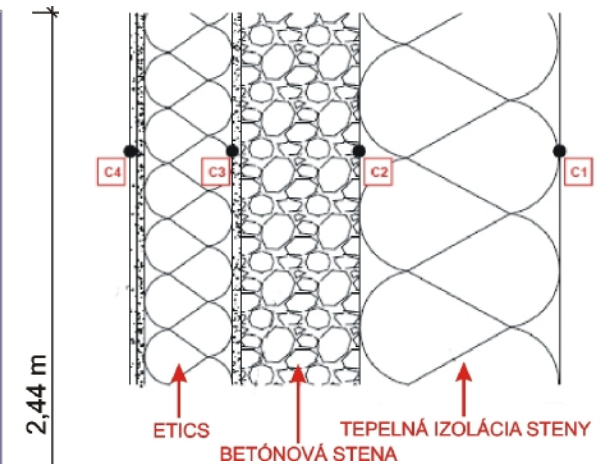
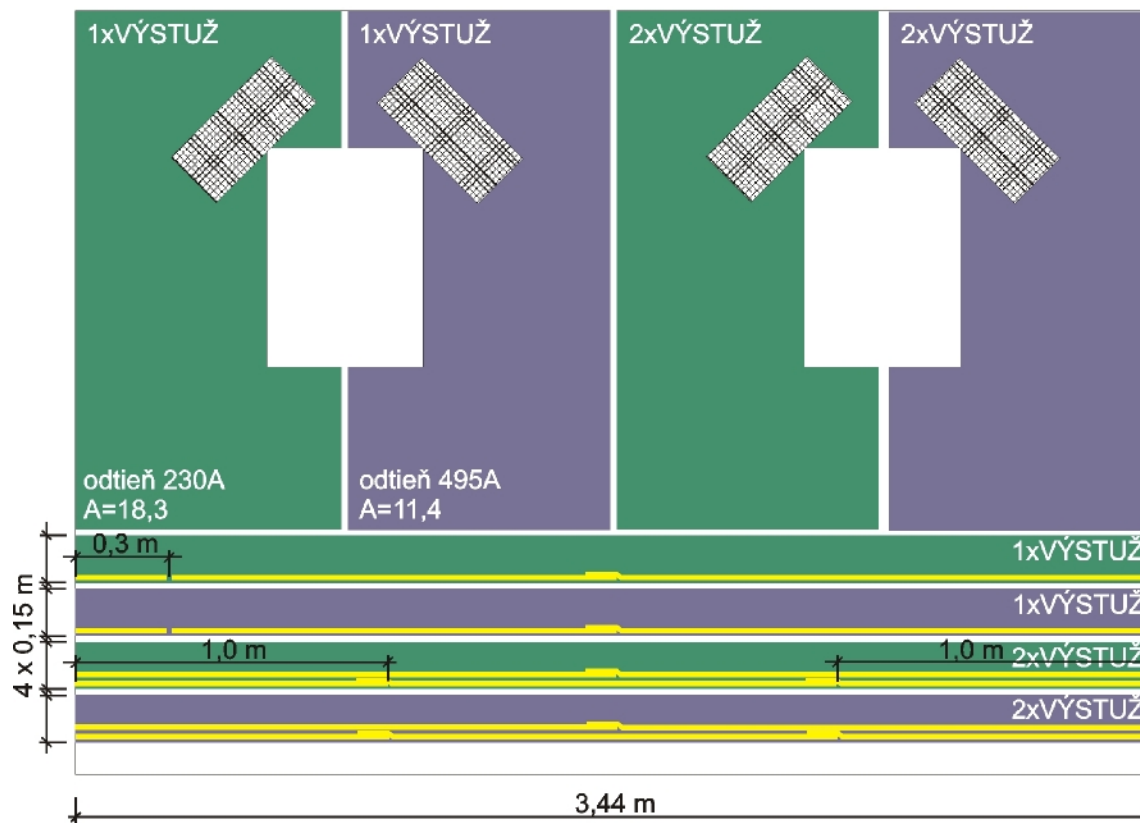


- » Penetračný náter – príslušný k povrchovej úprave a základnej vrstve
- » Základná vrstva – malta Weber.Therm KPS a Weber. Therm Exclusive; výstužná mriežka Vertex R117 s E v pozdĺžnom smere o 31,5% vyšším ako v priečnom smere.
- » Tepelná izolácia – EPS ISOVER FACADE 70F hr. 80 mm a MW ORSIL TF hr. 80 mm



2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky



$$e = a_{T,ZV} \cdot \Delta q$$

Súčiniteľ teplotnej rozťažnosti $\alpha_{T,ZV}$ bol určený $9,685 \cdot 10^{-6}$ (1/K). Pri $l_0=3,4\text{m}$ a $\Delta\theta=42,5^\circ\text{C}$ možno očakávať $\Delta l=1,40\text{mm}$.

2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky

» Modul pružnosti E (pretvárnosť)



Overenie účinnosti navrhovaného riešenia:

- pásiky 100 mm x 500 mm
- KPS a Exclusive
- 1x a 2x vystužené (zodpovedajúca hrúbka základnej vrstvy 3 mm resp. 4,5 mm.
- vek 10 dní a 30 dní
- kondicionovanie $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a $50 \pm 5\%$
- meracia základňa 50 mm
- zaťažovanie 0,4 kN/min
- frekvencia zápisu 50 Hz
- hranice: 0,5 MPa a $\varepsilon=0,3\%$

2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky

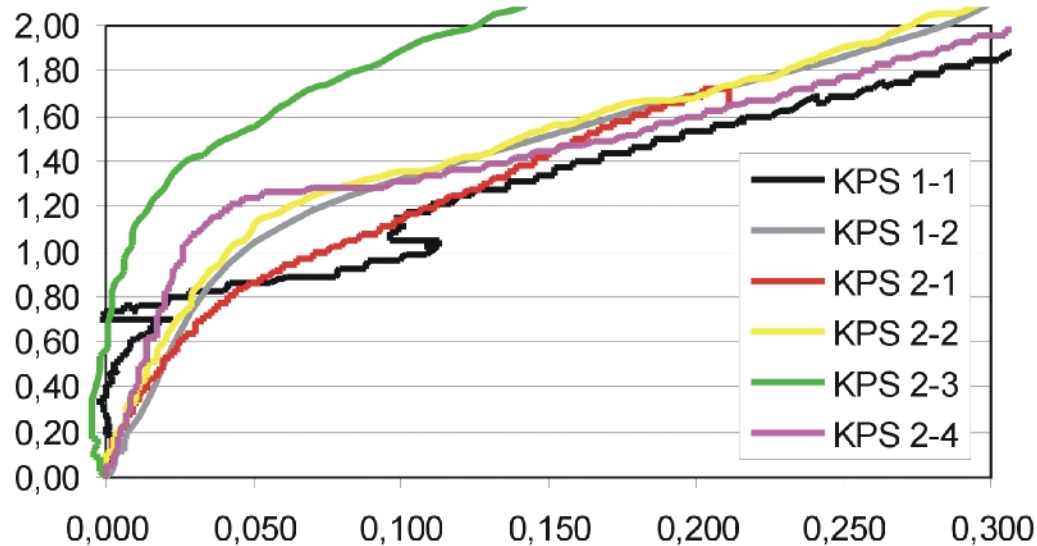
» Modul pružnosti E (pretvárnosť)



2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky

» Modul pružnosti E (pretvárnosť)



Overenie účinnosti navrhovaného riešenia:

- pásiky 100 mm x 500 mm

- KPS

- 1x a 2x vystužené v priečnom smere

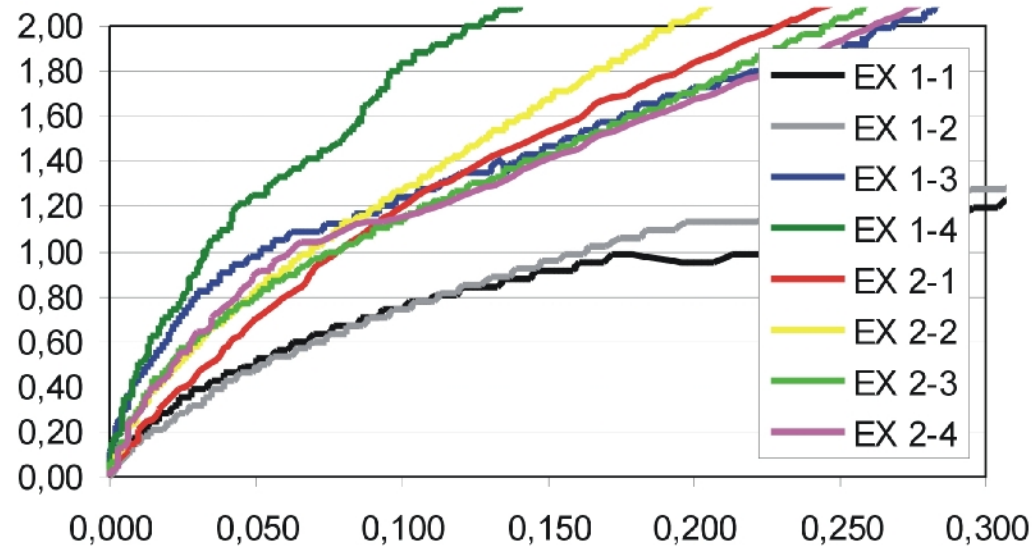
- vek 10 dní

Potvrdený nárast E cca +15%

2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky

» Modul pružnosti E (pretvárnosť)



Overenie účinnosti navrhovaného riešenia:

- pásiky 100 mm x 500 mm

- **Exclusive**

- 1x a 2x vystužené v priečnom smere.

- **vek 10 dní**

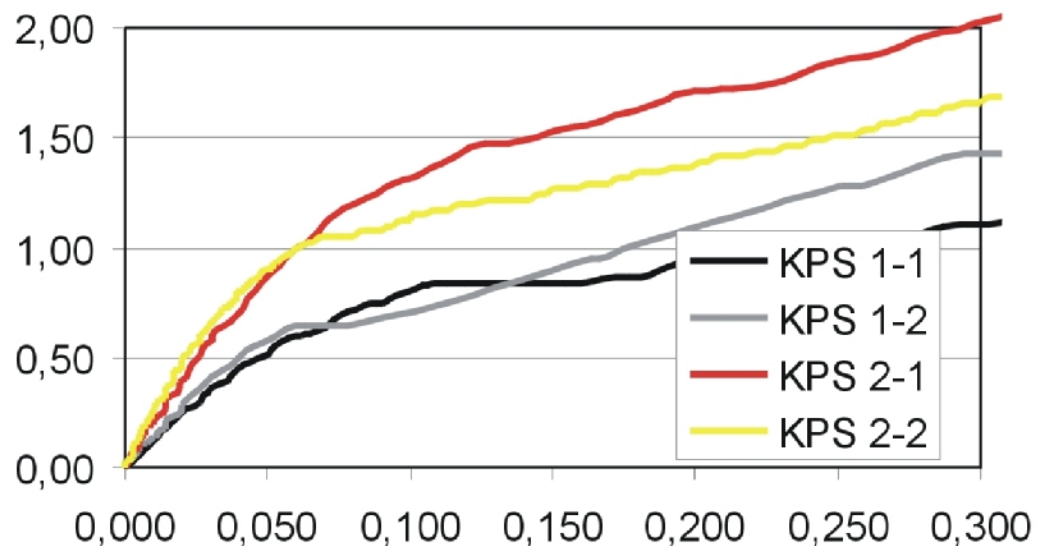
Potvrdený nárast E cca +40%



2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky

» Modul pružnosti E (pretvárnosť)



Overenie účinnosti navrhovaného riešenia:

- pásiky 100 mm x 500 mm
- KPS
- 1x a 2x vystužené v priečnom smere.
- vek 30 dní

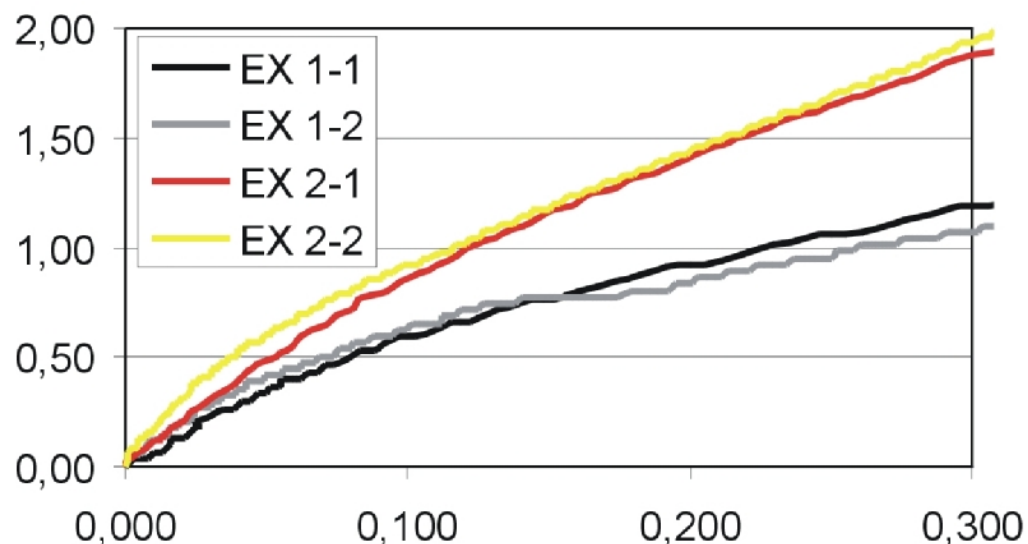
Potvrdený nárast E cca +62%



2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky

» Modul pružnosti E (pretvárnosť)



Overenie účinnosti navrhovaného riešenia:

- pásiky 100 mm x 500 mm
- **Exclusive**
- 1x a 2x vystužené v priečnom smere.
- **vek 30 dní**

Potvrdený nárast E cca +99%



2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.2 Skúšobné vzorky

» Modul pružnosti E (pretvárnosť) – vedľajšie zistenia

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		0,50	1,19	0,69	305,69				
			0,05	0,30	0,25			0,079	0,306	0,227					
			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					
			0,49	2,18	1,69	590,83	504,86					274,31			
			0,01	0,30	0,29										
			0,51	2,94	2,43	836,76									
			0,01	0,30	0,29										
			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					
		0,51	2,80	2,29	829,01	706,75		0,51	1,93	1,42	539,60				
		0,02	0,30	0,28			0,037	0,301	0,264						
		0,50	2,33	1,83	654,50										
		0,02	0,30	0,28											
		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		0,51	1,11	0,60	235,86				
			0,00	0,30	0,30			0,049	0,303	0,254					
			0,25	2,10	1,85	636,21	543,41		0,50	1,43	0,93	365,01			
			0,01	0,30	0,29			0,04	0,294	0,254					
			0,50	1,72	1,22	634,84		0,50	2,04	1,53	553,50				
			0,02	0,21	0,19			0,026	0,303	0,277					
			0,49	2,11	1,61	563,54	624,64		0,49	1,66	1,17	418,60			
			0,01	0,30	0,29			0,02	0,3	0,28					
			0,49	2,91	2,43	792,78									
			0,00	0,30	0,31										
		0,49	1,96	1,47	507,40										
		0,01	0,30	0,29											
Relatívna zmena (%):						14,949					61,782				

Pokles modulu pružnosti v čase

... medzi 10. a 30 dňom poklesy o 45% (1x vystužené) a 23% (2x vystužené).

... súvislosť so stratou vody z kapilárnych pórov

... menšia vlhkosť – menšie sily pôsobiace proti zaťažovaniu a tým vyššie deformácie resp. rovnaké deformácie pri nižších zaťaženiach

2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.3 Skúšobný postup (hygrotermálna skúška)

» Metóda namáhania konštrukcie ETICS

...80 cyklov zohrievanie / kropenie

- 3 hodiny zohrievanie na 61°C

- 1 hodina kropenie a povrchová teplota cca 20 °C

- 2 hodiny odtok vody a vysychanie pri teplote cca 20°C

... 2 dni prestávka

... 5 cyklov zohrievanie / zmrazovanie

- 16 hodín zohrievanie na 50°C

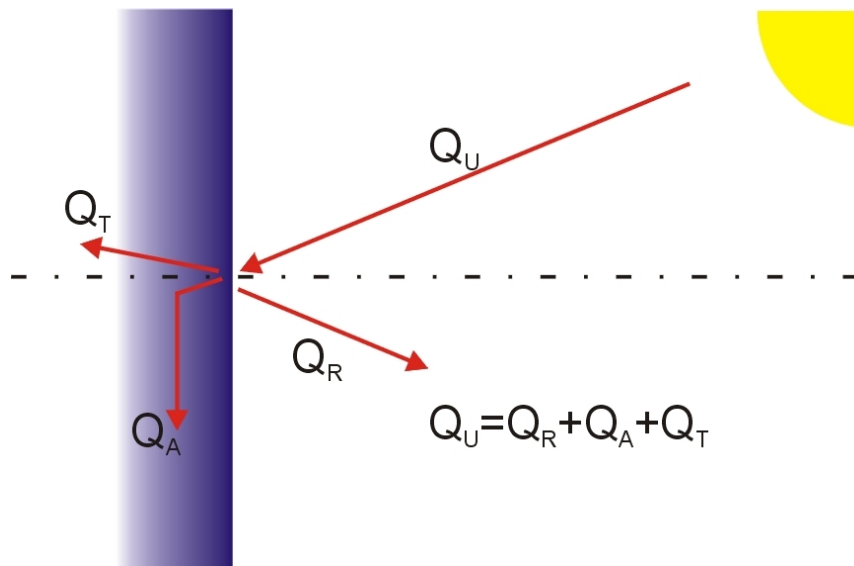
- 8 hodín zmrazovanie na -20°C



2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA

2.3 Skúšobný postup

» Okrajové podmienky



θ_{se} - povrchová teplota ETICS ($^{\circ}\text{C}$)

θ_e - teplota vonkajšieho vzduchu ($28,3^{\circ}\text{C}$ Bratislava o 16:00 hod.)

α - súčiniteľ pohltivosti žiarenia (0,817 a 0,886)

I_{sj} - intenzita globálneho žiarenia ($663 \text{ kcal}/(\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C})$ pre 48° s.z.š. o 16:00 hod na západnej stene so zohľadnením Lambertovho zákona)

h_e - koeficient prestupu tepla na vonkajšom povrchu ($16,5 \text{ kcal}/(\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C})$)

u - teplo vydávané povrchom konštrukcie vplyvom sálania do atmosféry ($22,3 \text{ kcal}/(\text{m}^2\text{h})$)

$$T_{se} = q_e + \frac{a \cdot I_{sj}}{h_e} - \frac{u}{h_e}$$

$q_{se} = 59,8^{\circ}\text{C}$
 $q_{se} = 62,6^{\circ}\text{C}$

3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNEHO OVEROVANIA



... Príprava vzorky EPS

- lepenie tepelnej izolácie –
dosiek penového polystyrénu



3 EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE



... Príprava vzorky EPS

-kotvenie tepelnej izolácie
nosnej železobetónovej stene



3 EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE



... Príprava vzorky EPS

- zhotovená, zbrúsená a
vyčistená základná vrstva a
začiatok penetrácie



3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ



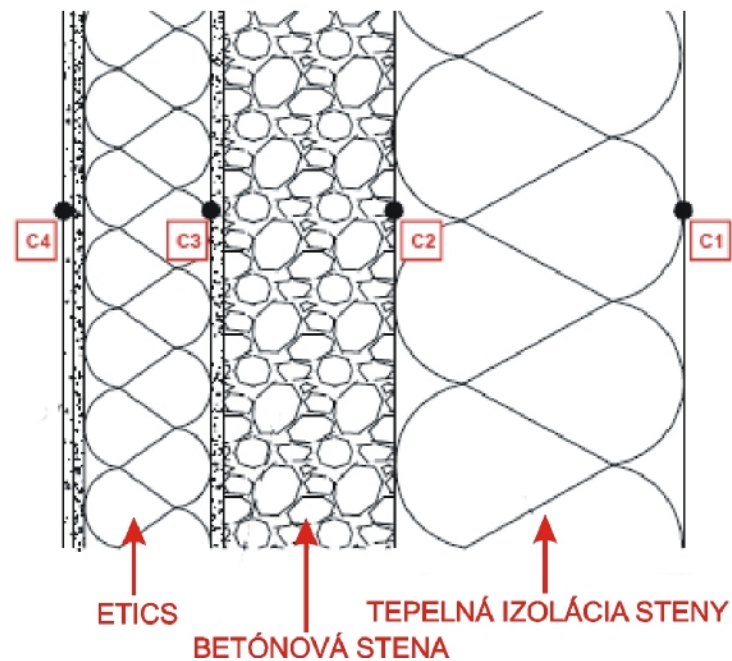
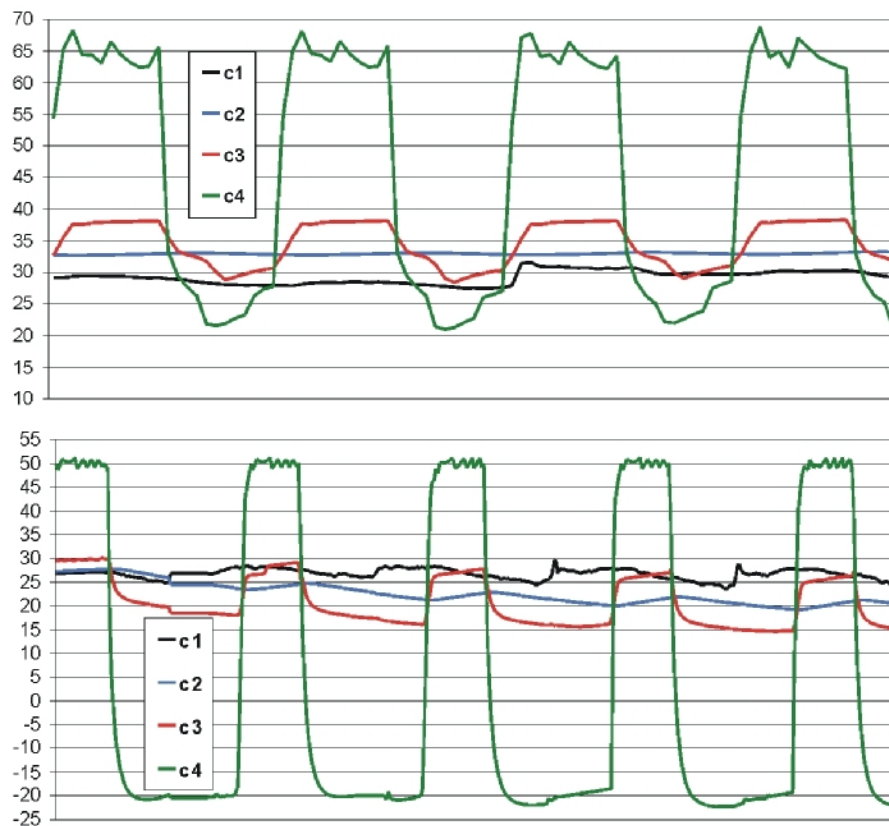
... Príprava vzorky EPS

-zhotovená vzorka EPS s
vybranými povrchovými
úpravami



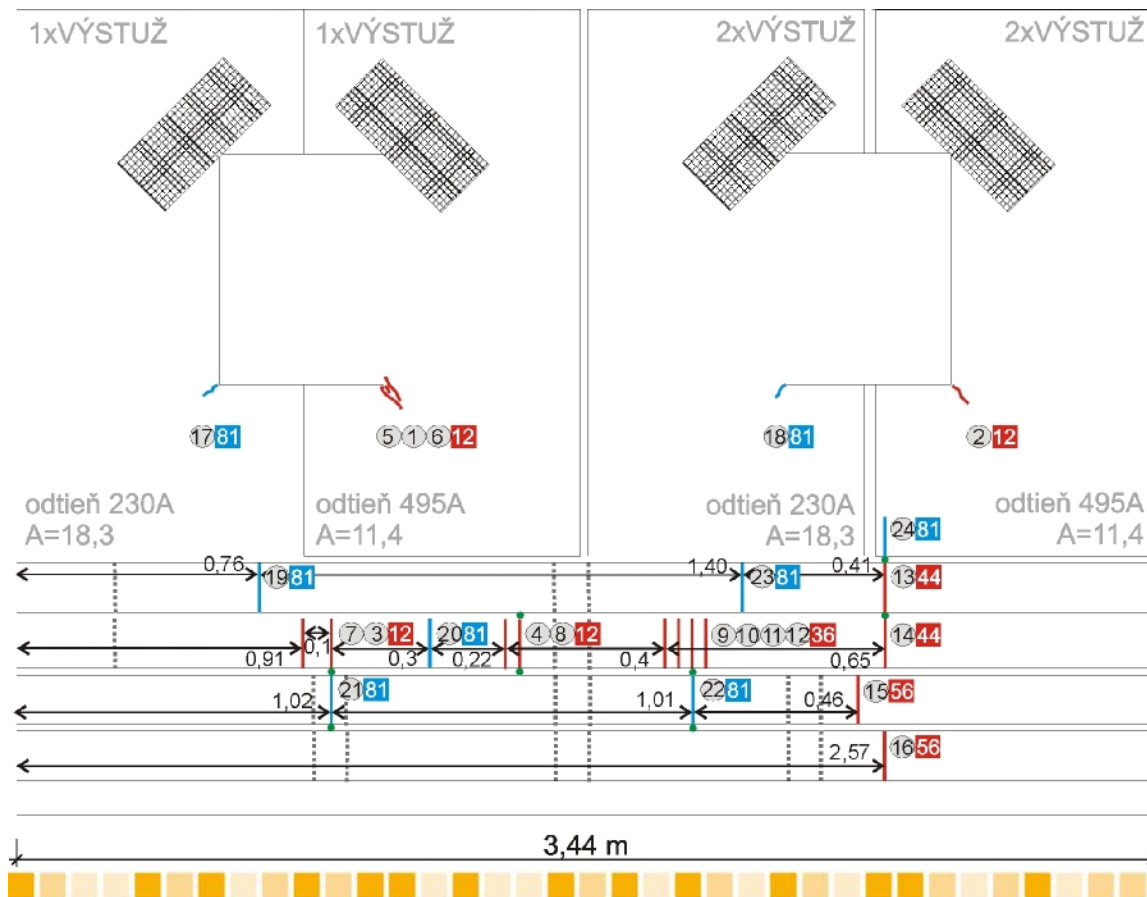
3 EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE

3.2 Priebeh skúšky



4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

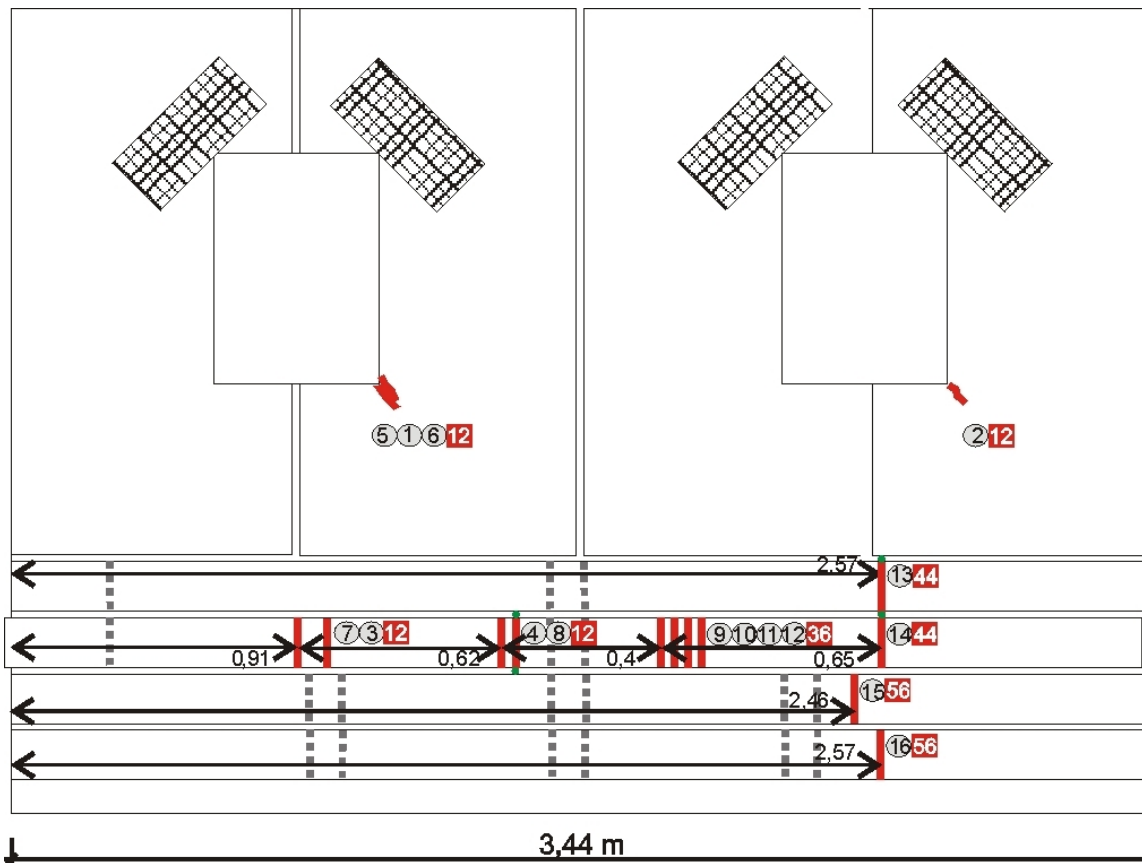
4.1 Vzorka EPS



- diagonálne trhliny v oslabených miestach vznikli prudkým ochladením konštrukcie
- trhliny v omietkových pásoch (č. 21) aj napriek trojitému vystuženiu vplyvom zmraženia dosky
- s objemovými zmenami dosiek súvisia aj napr. č. 8; 13 a 24
- problematická je orientácia omietkových pásov kolmo na styky dosiek a malá šírka pásov
- pozdĺžna teplotná dĺžková zmena EPS dosiek je 1,01 až 1,41 pri $\Delta\theta=40\text{ K}$

4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.1 Vzorka EPS



-trhlina 13 v styku 2 EPS dosiek

-trhliny v spodnom 1x
vystuženom páse sú v
pravidelných rozstupoch 62; 45
a 60 cm

-vytvorili obdĺžniky s pomerom
strán 1:4 – 1:3

-v 2x vystužených pásoch sa
napätie uvoľnilo len v 1 trhline, a
teda štíhlostný pomer takéhoto
obdĺžnika je 1:11 – 1:10

4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.1 Vzorka EPS

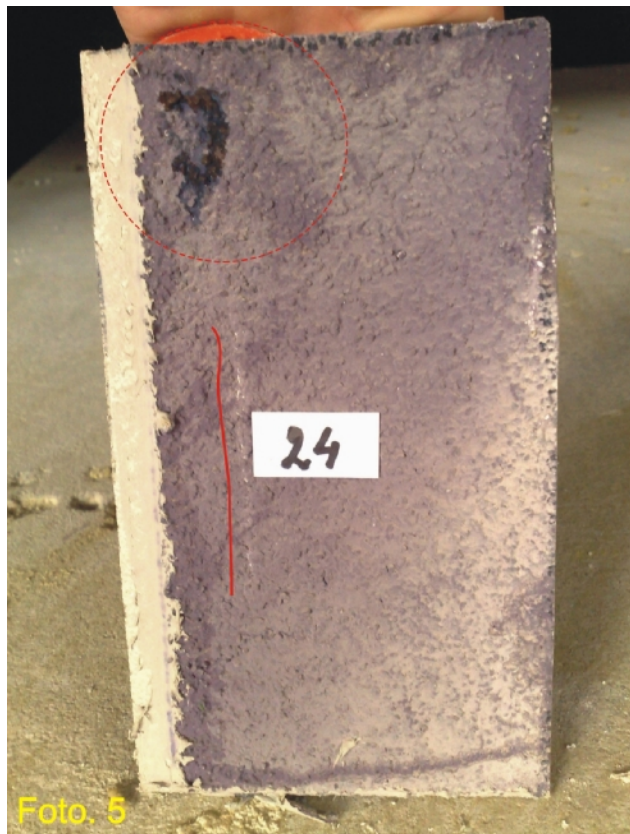


Foto. 5

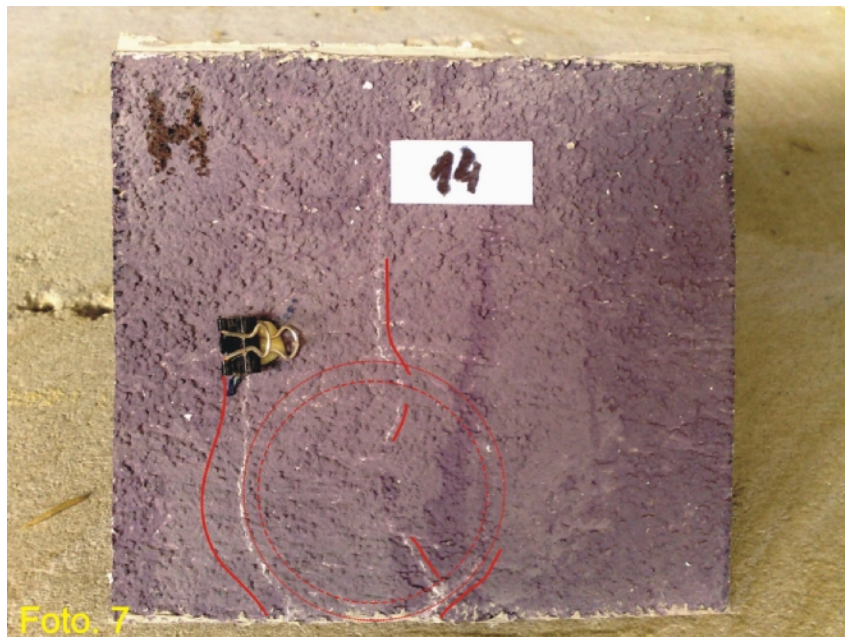


Foto. 6



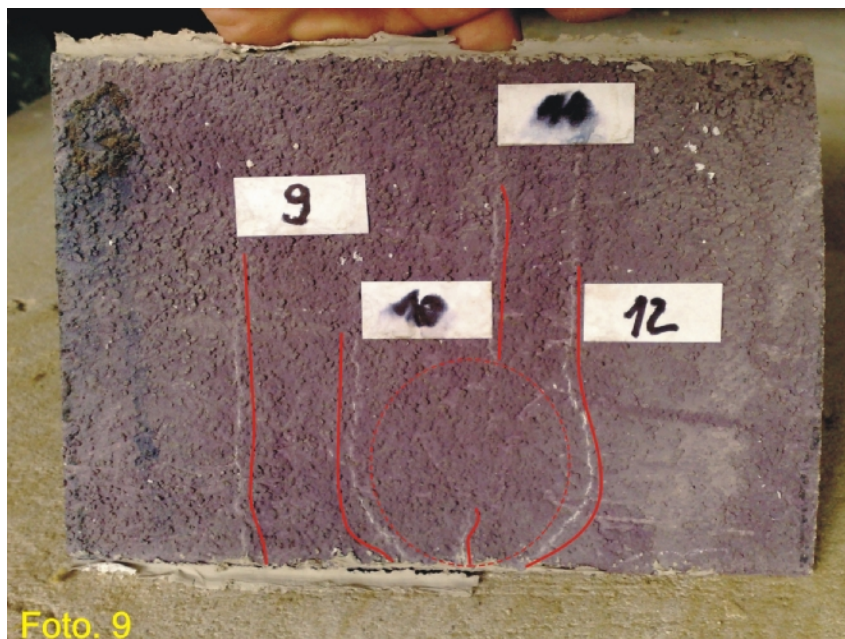
4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.1 Vzorka EPS



4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.1 Vzorka EPS



4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.1 Vzorka EPS - ZHRNUTIE

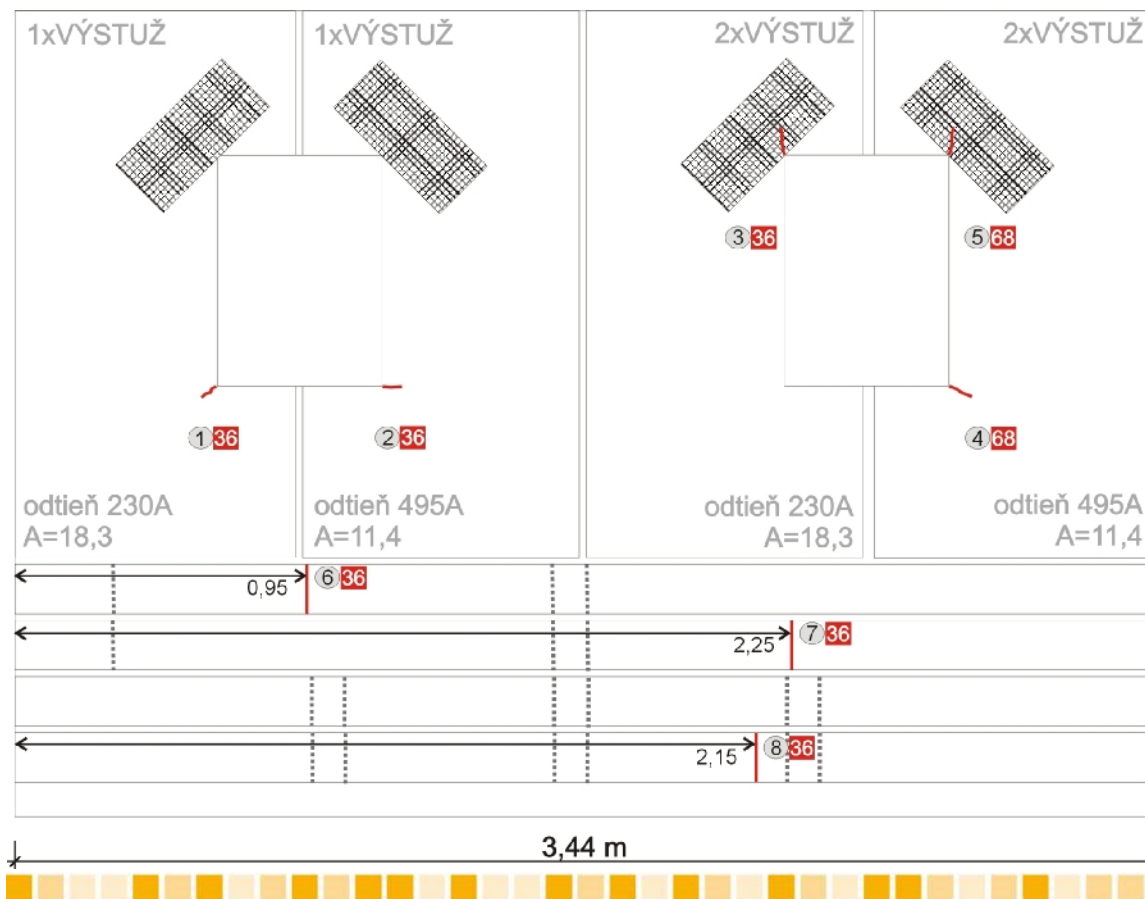
... problematické sú objemové zmeny dosiek penového polystyrénu, ktoré vplyvom relatívne dobrej súdržnosti EPS a základnej vrstvy vyvolávajú vysoké lokálne napätia v základnej vrstve navyše, ak je oslabená geometrickým riešením

- » **1x vystužené pásy – prvky s pomerom strán 1:3 – 1:4**
- » **2x vystužené pásy – prvky s pomerom strán 1:10 – 1:11**
- » **v prípade pásov – upraviť (ak treba) polohu pásov vzhľadom na kotvy alebo naopak.**



4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.2 Vzorka MW



-diagonálne trhliny č. 1;2 a 4 v oslabených miestach

-trhliny č. 1 a 2 vznikli v 36. cykle, zatiaľ čo trhlina č.4 v 68. cykle

-trhliny č. 6 a 8 vznikli v blízkosti styku MW dosiek

-nižšie objemové zmeny MW v porovnaní s EPS spolu s nižšou prídžnosťou ZV k tepelnej izolácii vyvolávajú nižšie napätia

-pozdĺžna teplotná dĺžková zmena MW dosiek je 0,30 mm až 0,40 mm pri $\Delta\theta=40$ K.

4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.2 Vzorka MW

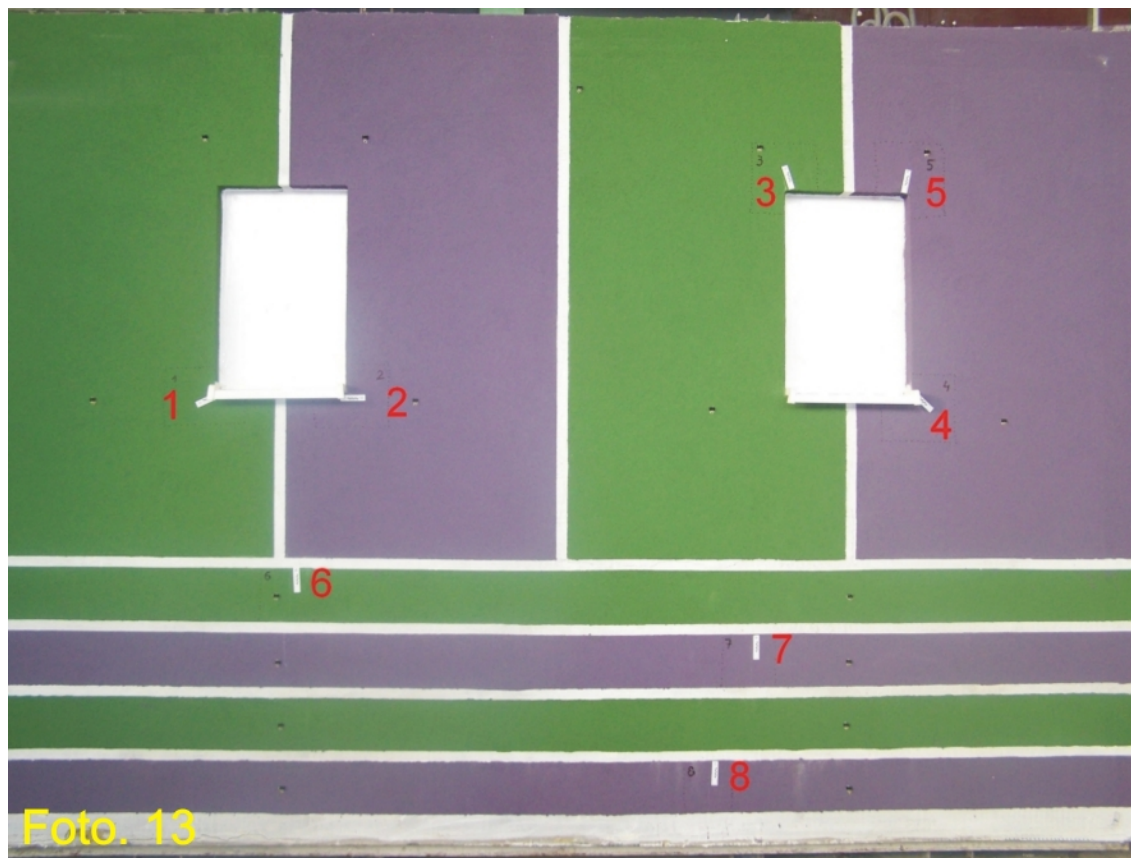
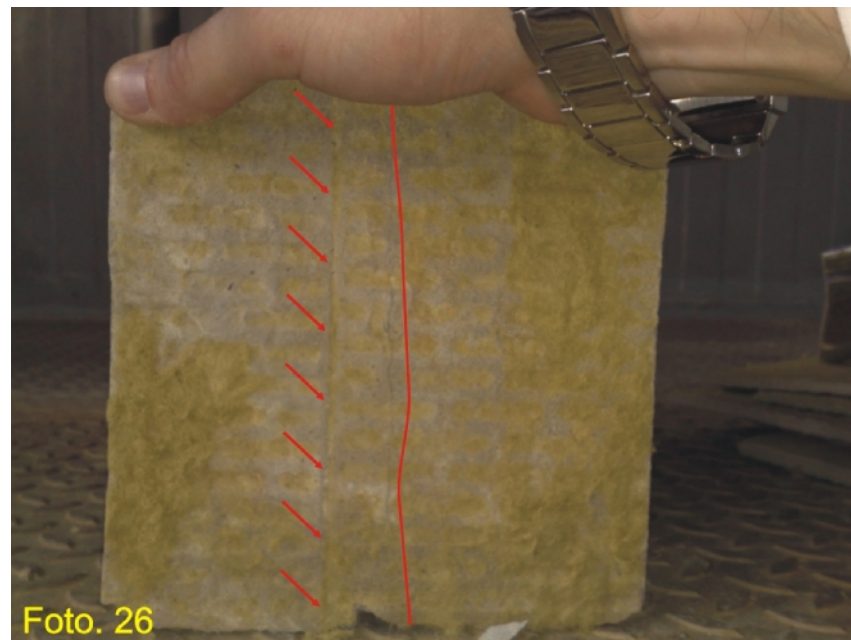


Foto. 13



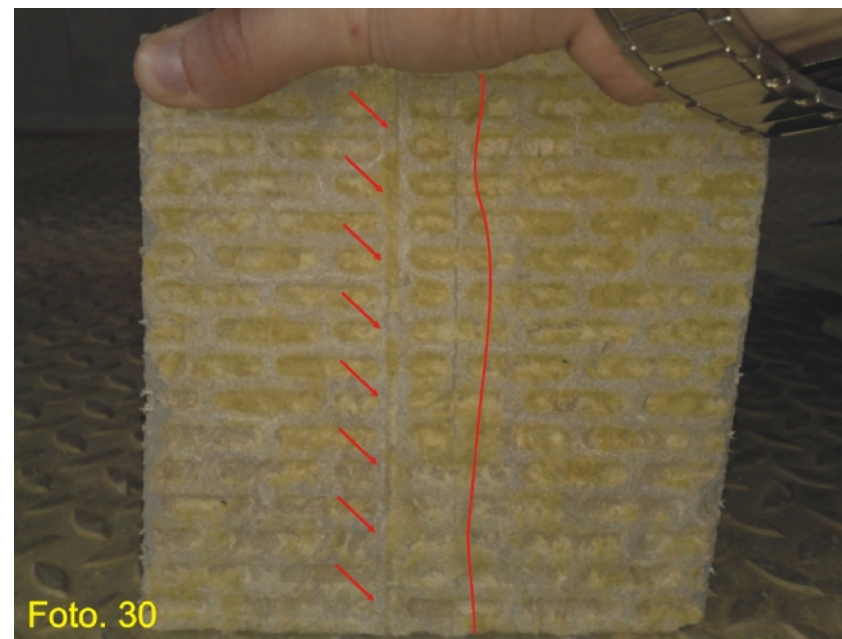
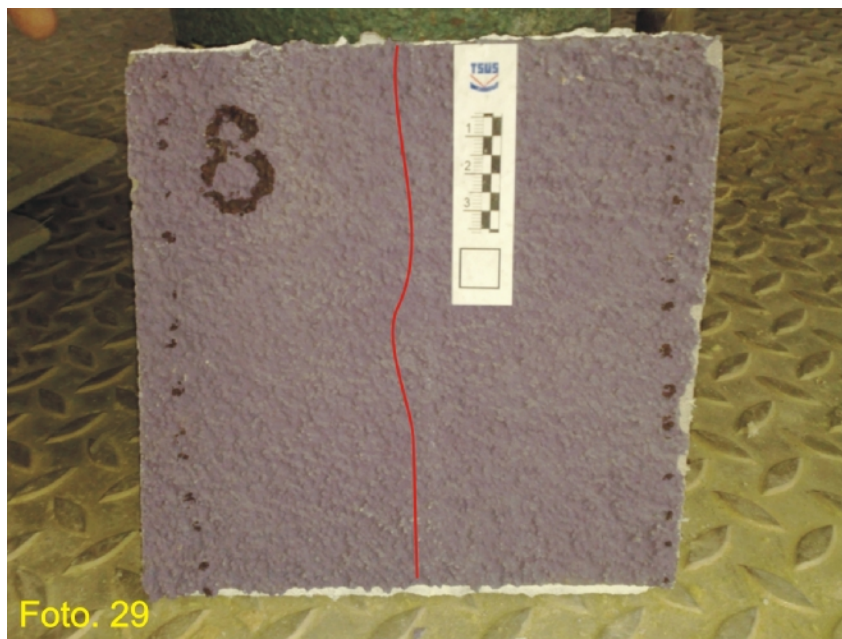
4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.2 Vzorka MW



4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.2 Vzorka MW



4 INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

4.2 Vzorka MW - ZHRNUTIE

... z hľadiska vzniku trhlín a porušenia celistvosti povrchovej úpravy je použitie MW vhodné vďaka lepšej objemovej stálosti tepelnoizolačného materiálu a aj vďaka nižšej súdržnosti medzi základnou vrstvou a tepelnou izoláciou

... v prípade MW nie je dvojité vystuženie základnej vrstvy efektívnym technickým riešením

... nižšia súdržnosť na rozhraní tepelnej izolácie a základnej vrstvy (v spojitosti s veľkými teplotnými šokmi a vyvolanými objemovými zmenami) môže časom viesť ku strate prídržnosti ZV k tepelnej izolácii



5 ZÁVERY A APLIKÁCIA VÝSLEDKOV

... v prípade aplikácie povrchových úprav s $\alpha > 0,75$ na exponovanej fasáde alebo jej časti, potom...

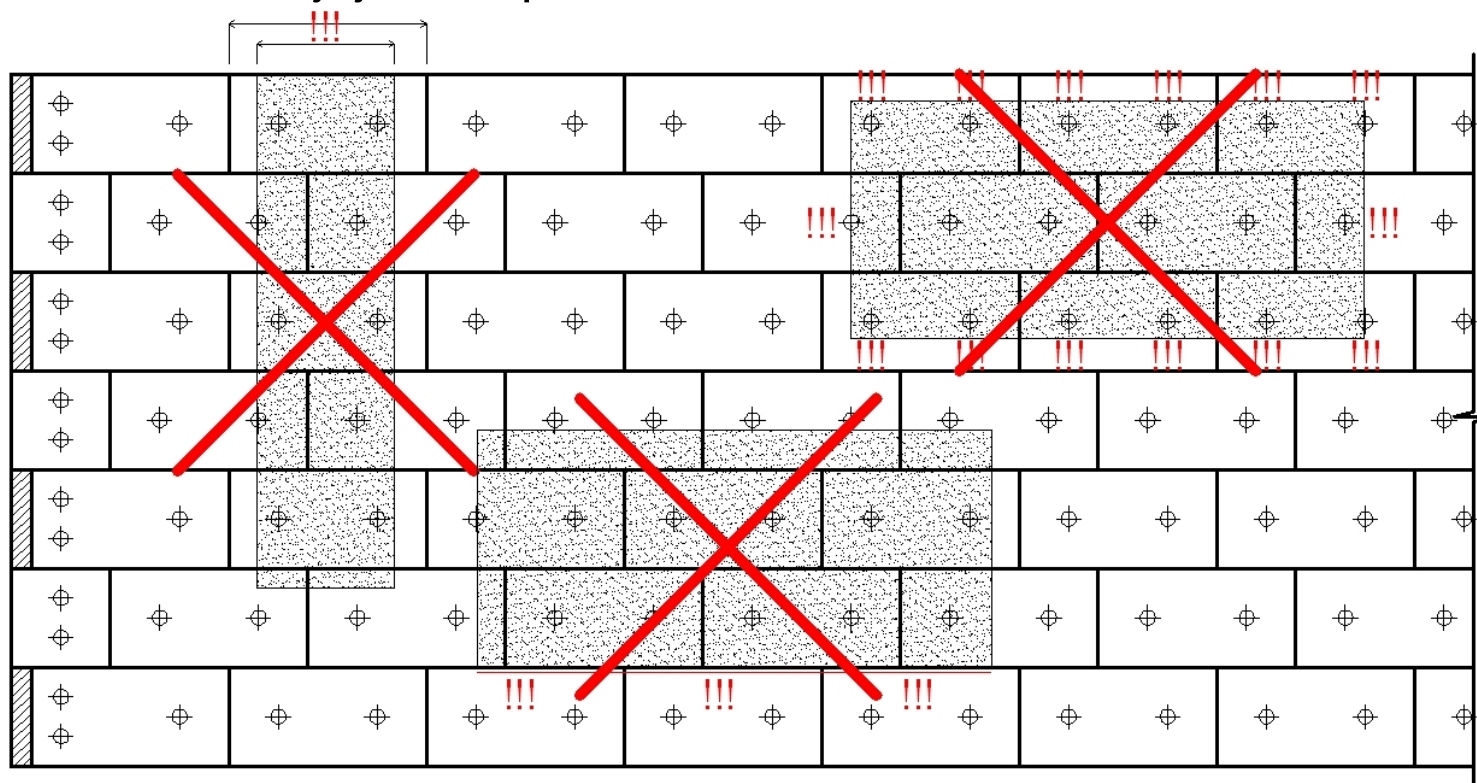
» tepelná izolácia EPS

- » snaha o minimalizovanie členenia fasády na pásy (obzvlášť horizontálne)
- » 1x vystužená ZV (max. štihlosť 1:3 – 1:4)
- » 2x vystužená ZV (max. štihlosť 1:10 – 1:11)
- » dvojité vystuženie ZV je efektívnym riešením
- » pásy by mali byť širšie ako 1,0 m (dĺžka dosky EPS)
- » hrany pásov situovať mimo priebežných stykov EPS dosiek
- » prispôbiť polohu tmavých plôch (alebo kotiev) tak, aby okraje tmavých plôch neboli lokálne oslabené...



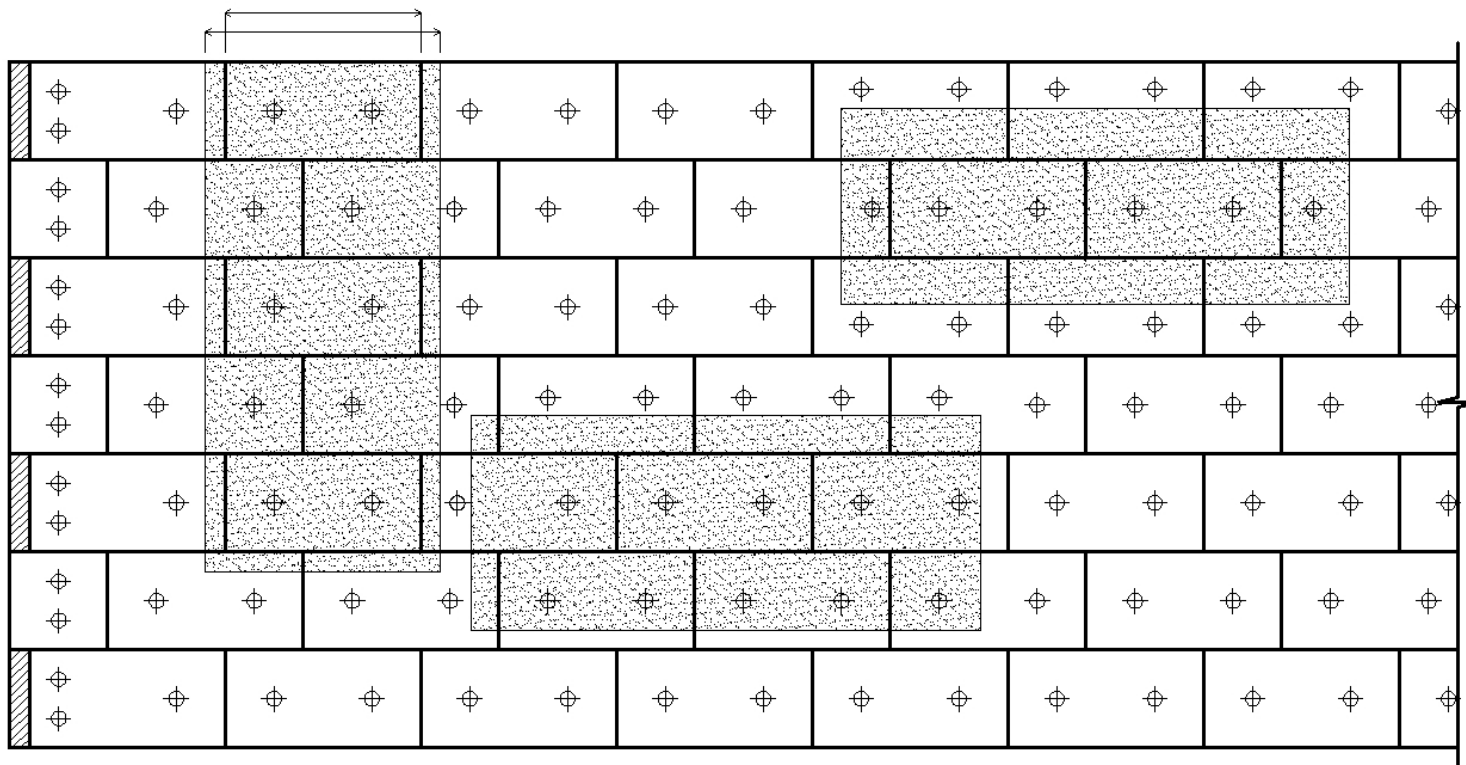
5 ZÁVERY A APLIKÁCIA VÝSLEDKOV

... v prípade aplikácie povrchových úprav s $\alpha > 0,75$ na exponovanej EPS fasáde alebo jej časti, potom...



5 ZÁVERY A APLIKÁCIA VÝSLEDKOV

... v prípade aplikácie povrchových úprav s $\alpha > 0,75$ na exponovanej EPS fasáde alebo jej časti, potom...



5 ZÁVERY A APLIKÁCIA VÝSLEDKOV

... v prípade aplikácie povrchových úprav s $\alpha > 0,75$ na exponovanej fasáde alebo jej časti, potom...

» tepelná izolácia MW

- » snaha o minimalizovanie členenia fasády na pásy (obzvlášť horizontálne)
- » dvojité vystuženie ZV nie je efektívnym riešením
- » pásy by mali byť širšie ako 1,0 m (dĺžka dosky MW)
- » hrany pásov situovať mimo priebežných stykov MW dosiek
- » prispôbiť polohu tmavých plôch (alebo kotiev) tak, aby okraje tmavých plôch neboli lokálne oslabené...
- » je možné, že časom dôjde k lokálnej alebo i plošnej delaminácii základnej vrstvy od tepelnej izolácie...

» potrebné pokračovanie aplikovaného výskumu objemovej stálosti tepelných izolácií ako jednej z primárnych príčin porúch ETICS

ĎAKUJEME ZA POZORNOSŤ

TECHNICKÝ A SKÚŠOBNÝ ÚSTAV STAVEBNÝ, n. o.

Studená 3, 821 04 Bratislava

Tel: +421(2) 49228 111

Fax: +421(2) 44453 617

E-mail: info@tsus.sk

Web: www.tsus.sk

CERTICOM

Tel: +421(2) 49228 150

Fax: +421(2) 44453 117

E-mail: certicom@tsus.sk

VVÚPS-NOVA

Tel: +421(2) 49228 557

Fax: +421(2) 49228 223

E-mail: vvups@tsus.sk

Pobočka Bratislava

Studená 3

821 04 Bratislava

Tel: +421 (2) 49228 200

Fax: +421 (2) 49228 203

E-mail: pob.ba@tsus.sk

Pobočka Nitra

Braneckého 2

949 01 Nitra

Tel: +421 (37) 69249 11

Fax: +421 (37) 69249 30

E-mail: pob.nr@tsus.sk

Pobočka Žilina

A. Rudnaya 90

010 01 Žilina

Tel: +421 (41) 5683 405

Fax: +421 (41) 5683 458

E-mail: pob.za@tsus.sk

Pobočka Prešov

Budovateľská 53

080 01 Prešov

Tel: +421 (51) 7732 631

Fax: +421 (51) 7723 089

E-mail: pob.po@tsus.sk

Pobočka Nové Mesto nad/Váhom

Trenčianska 1872/12

915 05 Nové Mesto nad Váhom

Tel: +421 (32) 7712 416

Fax: +421 (32) 7716 551

E-mail: pob.nm@tsus.sk

Pobočka Zvolen

Jesenského 15

960 01 Zvolen

Tel: +421 (45) 5335 872

Fax: +421 (45) 5326 041

E-mail: pob.zv@tsus.sk

Pobočka Košice

Krmanova 5

040 00 Košice

Tel: +421 (55) 6226 171

Fax: +421 (55) 6255 189

E-mail: pob.ke@tsus.sk

Pobočka Tatranská Štrba

P.O.Box 10

Tatranská Štrba

Tel: +421 (52) 4484 520

Fax: +421 (52) 4484 472

E-mail: pob.ts@tsus.sk