

## Prevenca porúch

# tmavých fasád

V poslednej dobe sa s obľubou používajú tmavé fasády, tj. fasády so súčiniteľom pohltivosti vyšším ako 0,75. Odbornou verejnosťou akceptované vyčlenenie skupiny tmavých povrchových úprav sa zaviedlo podľa limitného súčiniteľa svetlosti  $A = 25$ . Použitie nie je limitované na malé plochy alebo s ohľadom na svetové strany. Bohužiaľ, používajú sa bez základných predpokladov o fyzikálnom namáhaní a bez znalostí o mechanickom pôsobení súvrstvia fasády (obvykle ETICS). V článku „Na čo myslieť pri farebnom riešení fasády“ (Spektra 2/2012) sme poukázali na teplotné namáhanie ako dôsledok návrhu farebného odtieňa fasády. Z ďalšieho pokračovania vylúčime montované fasády pozostávajúce z akýchkoľvek segmentov, pretože nepôsobia ako membrána celoplošne spriahnutá s podkladom a teplotné namáhanie je redukované až eliminované v škárach.

Existujú dva dôvody, prečo je potrebné špeciálne sa venovať tmavým fasádam. Prvý dôvod vyplýva z teoretickej roviny. Vplyvom nižšej svetlosti (vyššej absorpcie) dochádza na fasádach exponovaných intenzívnemu slnečnému žiareniu v letných mesiacoch k ich prehrievaniu (napr. nad 60 °C) a nadmernému zaťaženiu vplyvom vyvolaných objemových (dĺžkových) zmien komponentov ETICS. Opakovaná snaha o deformáciu jednotlivých komponentov ETICS (často vzájomne rozdielnu) vedie k porušeniu celistvosti povrchovej úpravy (trhlinami) a/alebo k únavovému zaťaženiu. Druhý dôvod je zrozumiteľnejší aj laickej verejnosti. Ak totiž fasáda vplyvom aplikácie tmavých povrchových úprav podstupuje deje podľa predchádzajúceho dôvodu, potom to môže mať významný vplyv na skrátenie životnosti celého kontaktného tepelnoizolačného systému. V prípadnom reklamačnom konaní je prvoradým argumentom vizuálne znehodnotenie fasády trhlinami, ktoré je tým viditeľnejšie, čím tmavšia povrchová úprava sa použije.

Cieľom správneho návrhu a zhotovenia ETICS (alebo tradičných fasád) by malo byť dosiahnutie dlhej životnosti a splnenie všetkých funkcií fasády počas čo najdlhšej doby. Vychádzajúc zo základného predpokladu zachovania funkčnosti (celistvosť) je jasné, že snahou by malo byť zamedzenie vzniku trhlín a trhliniek. Ak k nim dôjde, tieto oblasti sa stávajú oblasťami rozvoja degradácie fasády, najmä vplyvom zrážkovej vody. Je preto potrebné nájsť kompromis medzi používaním tmavých farebných odtieňov na fasádach (architektonickými stvárnením) a zachovaním životnosti fasád.



Obr. 1:  
Trhlina v rohu nadpražia okna v tmavej fasáde (vzniku trhliny nezabránila ani diagonálna mriežka).

### TEPLOTNÉ NAMÁHANIE TMAVÝCH FASÁD OVEROVANÉ V LABORATÓRIU

V roku 2009 riešil Technický a skúšobný ústav stavebný úlohu aplikovaného výskumu „Predikcia vývoja trhlín a eliminácia porúch kontaktných tepelnoizolačných systémov (ETICS)“. Prvotným ideovým zámerom bolo overiť vplyv farebnosti tzv. tmavých fasád na vznik a rozvoj trhlín v povrchovej úprave ETICS, navrhnúť technické riešenie eliminácie vzniku trhlín a kvantifikovať jeho efektívnosť. Sekundárnym výsledkom malo byť odvodenie praktických odporúčaní pre projektantov a zhotoviteľov ETICS.

Tmavé povrchové úpravy dosahujúce vyššie povrchové teploty majú podľa princípu lineárnej teplotnej dĺžkovej rozťažnosti vyššiu tendenciu zväčšovať svoje rozmery. V súvislosti s vyššou povrchovou teplotou, na povrchovú úpravu pôsobí aj väčší teplotný šok pri prudkom ochladení, napríklad búrkou. Teplotný šok spôsobuje zápornú zmenu teploty a snahu o opačnú zmenu rozmerov. Snaha o zmenu rozmerov jedným alebo druhým smerom podmieňuje existenciu mechanického princípu vzniku trhlín.

Povrchová úprava s určitou teplotou a teplotnou dĺžkovou rozťažnosťou kompenzujúca zmenu teploty (vnútornej energie) zmenou svojich rozmerov v ploche aplikácie je obmedzovaná vo voľnom pohybe prídržnosťou (adhéziou) k podkladu (výstužnej vrstve). Adhézia znemožňuje voľnú deformáciu povrchovej úpravy a generuje v nej ťahové napätia  $t$ . V ideálnom stave by napätia boli rovnomerne rozložené po ploche. V skutočnosti však adhézia nie je konštantná po celej ploche a povrchová úprava nedosahuje konštantnú hrúbku. Nezanedbateľným faktorom je aj skutočnosť, že plocha povrchových úprav je často deformovaná konštrukčnými detailmi stavby podliehajúcimi teplotnej rozťažnosti v inom smere. V dôsledku uvedeného vznikajú v povrchovej úprave lokálne, resp. hlavné ťahové napätia.

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

kde:  $E$  statický modul pružnosti v ťahu, resp. pretvárnosť (MPa),  
 $\sigma_t$  ťahové napätie (MPa),  
 $\varepsilon$  pomerné pretvorenie (-).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (-) \quad (2)$$

kde:  $\Delta l$  zmena dĺžky (m),  
 $l_0$  pôvodná dĺžka (m).

Zohľadnením voľnej dĺžkovej teplotnej rozťažnosti, za predpokladu dokonalej adhézie povrchovej úpravy s podkladnou výstužnou vrstvou, je možné odvodiť napätie  $\sigma_t$  podľa rovnice 3.

$$\sigma_t = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} = E \cdot \frac{l_0 \cdot \alpha_T \cdot \Delta \theta}{l_0} = E \cdot \alpha_T \cdot \Delta \theta \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

kde:  $\alpha_T$  súčiniteľ dĺžkovej teplotnej rozťažnosti (1/K),  
 $\Delta \theta$  zmena teploty (K).

Priebeh napätia pri teplotnom namáhaní je ovplyvnený teplotou v určitej vrstve ETICS, resp. v jej určitej hĺbke. Rozdiel teplôt po hrúbke povrchovej úpravy a základnej vrstvy je minimálny vzhľadom na ich malé hrúbky (cca 2 mm a 3–4,5 mm) a relatívne nevýrazný súčiniteľ tepelnej vodivosti tepla  $\lambda$  (0,7 W/(m.K) a 0,8 W/(m.K)).

Na základe priebehu teploty možno tvrdiť, že zaťaženie iba vplyvom teploty ( $\alpha_T$  a  $E$  sú konštantné) bude v povrchovej úprave a v základnej vrstve rovnaké. Ak však zohľadníme zaručenú rozdielnosť aspoň jednej z materiálových charakteristík  $\alpha_T$  alebo  $E$ , potom napätie  $\sigma_t$

v skladbe rovnaké byť nemôže. Súčiniteľ teplotnej rozťažnosti  $\alpha_T$  kompozitných materiálov súvisí hlavne s množstvom plniva (kameniva) a modul pružnosti (pretvárnosť)  $E$  je daný prevažne charakterom spojiva. Vychádzajúc z tejto úvahy prichádzame k záveru, že pri takmer rovnakej teplote povrchovej úpravy a výstužnej vrstvy bude napätie  $\sigma_t$  v povrchovej vrstve nižšie ako vo výstužnej vrstve. Pretože  $E$  výstužnej vrstvy je vyššie ako povrchovej úpravy, predpokladáme, že trhliny od teplotného zaťaženia vznikajú na rozhraní výstužnej vrstvy a povrchovej úpravy, do ktorej sa prostredníctvom adhézie prenášajú.

### SKÚŠKY URÝCHLENÉHO STARNUTIA

Metodika skúšky (Hygrothermal behavior) je založená na zrýchlenom striedaní cyklov podľa bodu 5.1.3.2.1 ETAG 004 na tzv. urýchlené starnutie. Skúšobné vzorky (steny s tmavými povrchovými úpravami, avšak s rozdielnym súčiniteľom svetlosti – obr. 2 a 3) sa počas skúšky vystavili súborom cyklov vlhkostných a teplotných zmien v klimatizačnej komore. Prvý súbor cyklov pozostával z 80 opakovaní zohriatia na návrhovú teplotu  $\theta_{se}$  (59,8 °C, resp. 62,6 °C) počas 3 hodín, následného prudkého ochladenia na 20 °C kropením vodou v priebehu 1 hodiny a z dvojhodinovej prestávky na odtekanie vody. Priebeh cyklov zohrievania a kropenia zachytáva obr. 4. Po ukončení 80 cyklov (80 x 6 hodín = 20 dní) skúška ďalej pokračovala dvojdňovou prestávkou a následným druhým súborom cyklov tentoraz ohrievania a zmrazovania. V tomto súbore sa päťkrát

vystriedalo zohrievanie vzorky na teplotu 50 °C (16 hodín) a zmrazovanie na teplotu -20 °C (8 hodín).

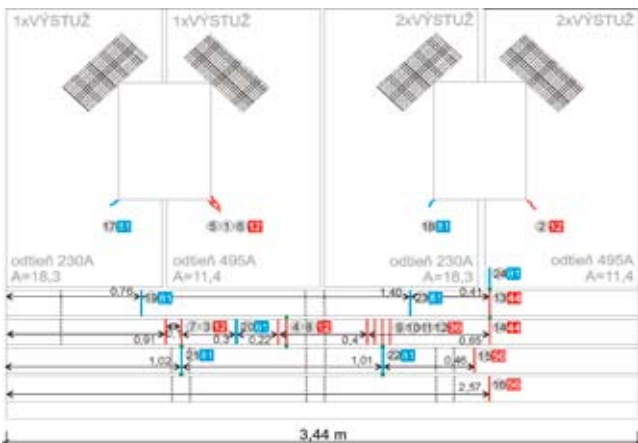


Obr. 2: Skúšobná vzorka – stena rozmerov 3,44 x 2,44 m.



Obr. 3: Vybrané povrchové úpravy a ich súčinitele svetlosti.

Zvolené okrajové podmienky (teplota  $\theta_{se}$  – 59,8 °C, resp. 62,6 °C) by mali simulovať skutočné, no zároveň kritické teplotné a vlhkosťné pomery, ktorým je tmavá povrchová úprava ETICS vystavená a ktorým by mala bez problémov odolať. Ak predpokladáme, že povrchové úpravy ETICS tmavých farieb sú náchylné na vznik trhlín v dôsledku vysokých povrchových teplôt alebo teplotných šokov a zároveň zväzíme, že povrchovú teplotu nemožno znížiť inak ako nákladnými tieniacimi konštrukciami, ktoré navyše menia pôvodne očakávaný vizuálny vnem fasády, potom musela byť skúšobná povrchová teplota najnepriaznivejšou možnou (s primeranou mierou neistoty). Po expozícii vzoriek urýchlenému starnutiu sa hodnotil vznik, rozvoj a charakter trhlín v rôznych častiach (plošných i líniových) skúšobnej vzorky.



Obr. 4: Príklad záznamu polohy, doby vzniku a charakteru trhlín na skúšobnej vzorke.

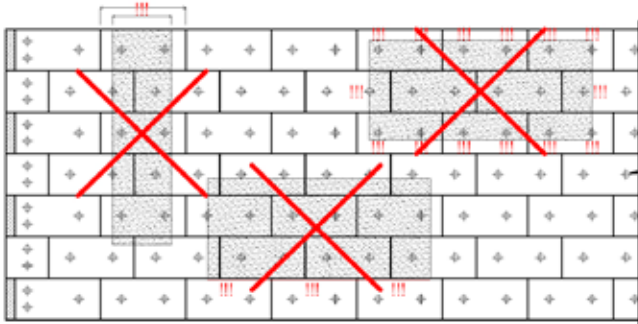


Obr. 5: Skúšobná vzorka po urýchlenom starnutí.

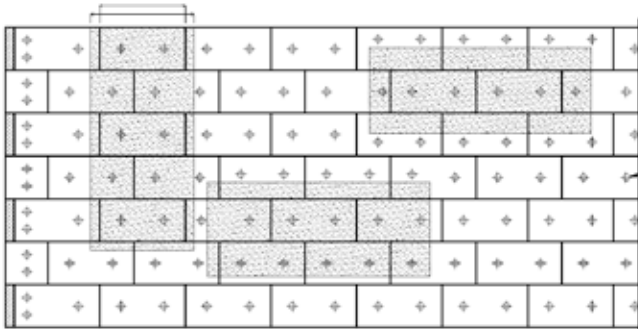
### VÝSLEDKY VÝSKUMU A ODPORÚČANÉ KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIA

Z výsledkov skúšok vyplynulo, že vzniknuté trhliny v ETICS s tmavými povrchovými úpravami spôsobujú nielen štandardné problémy celistvosti a súvisiacej degradácie obvodového plášťa, ale aj estetické nedostatky vo forme bledo sfarbených výluhov na hranách trhlín, ktoré sú tmavým odtieňom podkladu ešte zvýraznené. Predpoklad vzniku porúch ETICS vo forme trhlín pri tzv. tmavých fasádach je nesporne vyšší ako pri fasádach vo farebnom vyhotovení s vyšším súčiniteľom svetlosti A. Pravdepodobnosť vzniku trhlín v ucelenej ploche je relatívne nízka vzhľadom na idealizovane 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 nedôjde. Z výsledkov skúšky vzorky s tepelnou izoláciou na báze polystyrénu (EPS) 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. 6). 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 líniových segmentov s tmavými povrchovými úpravami je potrebné upraviť počet a/alebo polohu ukotvení tepelnej izolácie (obr. 7) tak, aby nespôsobovali plošne nehomogénne rozloženie hmoty základnej vrstvy, a tým neprispievali k 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 (obr. 8) zostávajú nezmenené [10]. Pri aplikácii tmavých povrchových úprav ETICS na báze penového polystyrénu sa odporúča vo fasáde vytvárať dilatačné 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 dilatačné celky je eliminovanie ostrých uhlov zovretých susednými dilatačnými líniami. Z výsledkov skúšky vzorky s tepelnou izoláciou na báze minerálnej vlny (MW) vyplýva, že dochádza vplyvom nižšej súdržnosti medzi tepelnou izoláciou a základnou vrstvou k menším vynúteným napätiam v základnej vrstve zapríčinených teplotnou rozťažnosťou tepelnej izolácie. Tento fakt vysvetľuje aj redukciu množstva vzniknutých trhlín v štandardne jedenkrát vystužených segmentoch skúšobnej vzorky s tepelnoizolačnou vrstvou na báze MW v porovnaní so vzorkou s EPS. Technologické obmedzovanie vzniku trhlín v základnej vrstve ETICS na báze minerálnej vlny dvojitým vystužením je preto v tejto materiálovej skladbe neefektívne. Z pohľadu efektívnosti obmedzovania porúch povrchových úprav ETICS s nízkym súčiniteľom svetlosti sa v tomto momente ako najvhodnejšie riešenie javí aplikácia ETICS na báze minerálnej vlny. Treba však poznamenať, že styk základnej vrstvy a tepelnej izolácie, 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 materiálovú základňu nielen samotných kontaktných tepelnoizolačných systémov, ale hlavne ich rôznych komponentov, vyžaduje pokračovanie aplikovaného výskumu najmä v oblasti objemovej stálosti tepelnoizolačných materiálov.



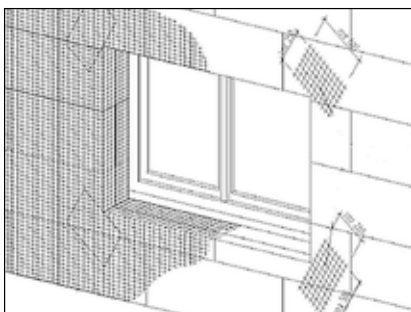
Obr. 6: Schéma s chybným návrhom ETICS (EPS) z hľadiska aplikácie tmavých povrchových úprav.



Obr. 7: Schéma s opraveným návrhom ETICS (EPS) z hľadiska aplikácie tmavých povrchových úprav.

### ŠTANDARDNÉ KONŠTRUKČNÉ PRINCÍPY ELIMINÁCIE VZNIKU TRHLÍN V ETICS

Ako prevencia vzniku trhlín v ETICS sa používa výstužná vrstva obsahujúca zvyčajne sklotextilnú mriežku. Táto sa umiestňuje do jednej tretiny hrúbky výstužnej vrstvy, t.j. krytie výstužnej mriežky z vonkajšej strany musí byť minimálne 1mm (v oblasti presahov mriežok 0,5 mm). V ploche ETICS sa sklotextilná mriežka vkladá so vzájomným vertikálnym aj horizontálnym presahom v zateplenej ploche min. 100 mm. V oblastiach otvorov sa ako prídavná výstuž vopred vkladajú diagonálne pásiky (podľa STN 73 2901: 2008 aspoň rozmerov 300 x 200 mm) sklotextilnej mriežky. Konštrukčné rohy alebo hrany sa zosilujú pridaním druhej vrstvy výstužnej mriežky zasahujúcej do plochy min. 150 mm od rohu (hrany).



Obr. 8: Spôsob vystuženia základnej vrstvy sklotextilnou mriežkou.

### ZÁVER

Ukázalo sa, že štandardné konštrukčné princípy eliminácie vzniku trhlín v ETICS sú nedostatočné pre použitie fasád s tmavými povrchovými úpravami, prinajmenšom na tých plochách, ktoré sú exponované priamemu slnečnému žiareniu. Z pozorovaní skúšobných vzoriek (a ich segmentov) po skúškach urýchleného starnutia simulujúceho povrchové teploty dosahované fasádami s tmavými povrchovými úpravami sa odvodili doplnujúce odporúčania pre návrh a realizáciu ETICS, obzvlášť pri použití tepelnej izolácie na báze polystyrénu. Zistilo sa, že ETICS s tepelnou izoláciou MW nie sú tak náchylné na vznik trhlín aj pri použití tmavých povrchových úprav.



Obr. 9: Príklad vhodného zakomponovania tmavých farieb do fasády – väčšie plochy sú v miestach nevystavených priamemu slnečnému žiareniu (východná fasáda).



Obr. 10: Príklad menej vhodného zakomponovania tmavých farieb do fasády – väčšie ucelené plochy, navyše líniového tvaru.

Ing. Peter Briatka, PhD., briatka@tsus.sk, briatka.p@gmail.com  
Ing. Marek Bilančík, prof. Ing. Zuzana Sternová, PhD.

**Podakovanie:** Tento článok využíva poznatky z riešenia úlohy evidovanej pod číslom 10090001 – VaV. Ďakujeme za podporu Prvej stavebnej sporiteľni, a. s., a spoločnosti Saint-Gobain Construction Products, s. r. o.

### Citované a súvisiace dokumenty

- [1] TSÚS Bratislava: Predikcia vývoja trhlín a eliminácia porúch kontaktných tepelnoizolačných systémov (ETICS), správa č.: 0031 RÚ/2009/10090001 – VaV, Bratislava, 2009.
- [2] Halahyja, M. a kol.: Stavebná tepelná technika, osvetlenie a akustika, 1. vydanie, Alfa, Bratislava, 1970.
- [3] STN EN ISO 13790 Energetická hospodárnosť budov. Výpočet potreby energie na vykurovanie a chladenie. Národná príloha.
- [4] Briatka, P., Sternová, Z.: Výber povrchovej úpravy ETICS, Stavba, 6/2009, MF media, Bratislava, 2009, str. 28–31.
- [5] Puškár, A., a kol.: Obvodové plášte budov, Jaga group, Bratislava, 2002.
- [6] ETAG 004 External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering, EOTA, Brussels, 2000.
- [7] Unčík, S., Ševčík, P.: Modul pružnosti betónu, Edícia Betón Racio, Trnava, 2008.
- [8] STN ISO 6784: 1993 Betón. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku.
- [9] <http://www.patentstorm.us/patents/5952254/claims.html>
- [10] STN 73 2901 Zhotovovanie vonkajších kontaktných tepelnoizolačných systémov (ETICS), 2008.