

# Zkoumání trvanlivosti exteriérových polymerních tmelů a možnosti jejich použití v památkové péči

Vítězslav Knotek | Martina Nováková | Irena Kučerová | Kateřina Kočí

Ústav chemické technologie restaurování památek

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

## KLÍČOVÁ SLOVA KEY WORDS

polymerní pružné tmely – urychlené stárnutí – primery – hydrofobizace – pevnost v tahu  
flexible polymer sealants – accelerated aging – primers – hydrofobization – tensile strenght

## ENDURANCE TESTING OF EXTERIOR POLYMER SEALANTS AND THE POSSIBILITIES OF THEIR USE IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION

Modern flexible polymer sealants are widely used for building structures. Their easy application method and convenient properties suggest the possibility of their use in restoration of cultural heritage objects. One of the crucial conditions that have to be fulfilled in restoration is that the substrate, which is in most cases a porous material, shall be affected as little as possible. Polymer sealants on the basis of acryl, silicon acryl, polyurethane and hybrid MS sealants were tested in practice. The sealants were subjected to accelerated aging in various conditions. Their stability, adhesion to the cement substrate and the effect of primers were examined. At the same time, effects on the cement porous substrate after the application of sealants and primers were tested. Acrylic sealants demonstrated the best resistance against accelerated aging while polyurethane sealants showed the lowest ones. After application of all the types of sealants and primers, hydrophobicity of the cement substrate was considerably increased. For that reason none of the sealants can be fully recommended for application in restoration practice.

## 1. ÚVOD

Používání polymerních pružných tmelů pro tmelení spár a prasklin nabývá v současnosti na významu, jelikož dříve používané tmely, jejichž základem jsou cementové nebo vápenné malty, sádry či rostlinné oleje, nevyhovují současným požadavkům hlavně pro nedostatečnou pružnost a přilnavost. Pružné tmely na bázi syntetických polymerů jsou schopny lépe zajistit dlouhotrvající utěsnění prasklin. Právě utěsnění prasklin proti vnikání vlhkosti je klíčové pro zamezení rozšiřování prasklin a z toho vyplývající další poškození stavby.

Pro dlouhodobou těsnost je důležitým parametrem pružnost tmelu. V důsledku působení teploty, vlhkosti, větru nebo pohybu okolních stavebních dílců totiž dochází ke změně šířky trhliny či spáry. Tyto změny musí tmel bezesbytku překonat, aniž by došlo ke ztrátě adheze k podkladu nebo koheze samotného tmelu. Schopnost pružných tmelů překonávat v určitém rozsahu měnit se šířku spár při zachování těsnosti udává hodnota tzv. *maximální povolené deformace* nebo *dilatační schopnosti*, což je přípustná celková změna šířky spáry pro konkrétní tmel udávaná v procentech, při níž ještě nedojde k poškození tmelu. Postup při zjišťování této hodnoty je dán normou ASTM C719-14 a pro jednotlivé produkty ji lze najít v technickém listu.

Podle hodnoty maximální povolené deformace se v praxi tmely dělí do tří skupin<sup>[1]</sup>:

1. **0–5 %** – tmely s nízkou hodnotou maximální povolené deformace
2. **5–12 %** – tmely se střední hodnotou maximální povolené deformace
3. **>12 %** – tmely s vysokou hodnotou maximální povolené deformace

Největší hodnoty maximální povolené deformace dosahují v současnosti některé silikonové, polysulfidové a hybridní tmely – shodně kolem 25 %. Avšak v důsledku stárnutí dochází u všech tmelů ke ztrátě elastických vlastností a zvyšování rizika poškození tmelu. Naopak tvrdé tmely s dobrou přilnavostí mohou mechanicky působit na své okolí a způsobovat v materiálu lokální trhliny<sup>[2]</sup>.

V současnosti se mezi nejpoužívanější polymerní tmely řadí výrobky na bázi akrylu, polyuretanu a hybridního MS-polymeru.

Tmely na bázi akrylátové disperze jsou tvořeny vodnou disperzí kopolymerů esterů kyseliny akrylové, metakrylové a dalších monomerů ve vodě. Vytvrzování probíhá odpařováním a vsakováním vody do podkladu. Tyto tmely neobsahují organická rozpouštědla, jsou nehořlavé, barvitelné, výborně se zpracovávají a vyznačují se dobrou adhezí.<sup>[3]</sup> Obsah sušiny se obvykle pohybuje kolem 80 % hmotnosti.<sup>[4]</sup> Akrylové tmely mohou být modifikovány např. silikonovým polymerem, který zlepšuje některé vlastnosti.<sup>[5]</sup>

1 | Alhonsus V. Pocius, Adhesives and Sealants, in: *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, Amsterdam 2012, s. 305–324.

2 | Jürgen Blaich, *Poruchy staveb*, Bratislava 2001.

3 | Miloš Osten, *Práce s lepidly a tmely*, Praha 1996. Kashmiri L. Mittal – Antonio Pizzi, *Handbook of Sealant Technology*, Boca Raton 2009.

4 | Bodo Müller – Walter Rath, *Formulating Adhesives and Sealants: Chemistry, Physics and Applications*, Hanover 2010.

5 | Viz Mittal – Pizzi (pozn. 3).

Polyuretanové tmely jsou směsí polymerů, síťujících činidel, latentních tvrdidel, sušidel, rozpouštědel, změkčovadel, plniv, stabilizátorů a dalších aditiv, jako katalyzátorů, pigmentů, biocidů, promotorů adheze a dalších.<sup>6</sup> Po vytvrzení mají tmely dobrou odolnost abrazi a jsou známé schopností přilnout k řadě různých materiálů.<sup>7</sup> Některé hmoty si zachovávají pružnost i za nízkých teplot, mají zanedbatelné smrštění a bývají barvitelné většinou typů barev.<sup>8</sup> Nevýhodou je pomalé tvrdnutí jednosložkových tmelů a citlivost dvousložkových na správný poměr přísad. Polyuretanové tmely jsou náchylné k zadržování nečistot na povrchu.<sup>9</sup> Za další negativní aspekt, projevující se především u silnějších vrstev, lze považovat tvorbu bublin.<sup>10</sup> Tmely degradují vlivem vlhkosti a zvýšené teploty.

MS-polymerní tmely se začaly komerčně vyrábět v 80. letech 20. století v Japonsku. Většina prodávaných produktů je jednosložková. Řadí se mezi hybridní tmely, jelikož kombinují polymerní řetězec jednoho druhu tmelu s reaktivními skupinami jiného druhu<sup>4</sup>. Polymerní řetězec se sestává z polyeteru a dvou aktivních koncových skupin dimetoxysilanu. K síťování dochází reakcí s vodou za uvolnění malého množství alkoholu.<sup>11</sup> Tmely obsahují polymery, plastifikátory, plniva, UV stabilizátory, tixotropní a dehydratační činidla, antioxidanty, promotory adheze, katalyzátory a kokatalyzátory. Za přednost lze považovat, že tmely neobsahují těžké kovy ani izokyanáty a nemají sklony k tvorbě bublin; některé dobře odolávají povětrnostním vlivům.<sup>12</sup>

Přesto, že jsou známy rámcové vlastnosti jednotlivých skupin tmelů včetně jejich výhod a nevýhod, je nezbytné vhodnost použití polymerních tmelů na stavebních památkách ověřit metodami umělého stárnutí. Tím může být minimalizováno riziko případných nežádoucích a nevratných změn ošetřeného materiálu. Zároveň by měla být zajištěna efektivita konzervačního zásahu volbou poměrně stálého a trvanlivého tmelu.

V této práci byly různé převážně stavební tmely podrobeny vlastní sekvenci zkoušek umělého stárnutí při různých podmínkách. Takto mohl být vybrán nejodolnější testovaný tmel. Ovšem pro restaurátorskou praxi nemusí nejodolnější tmel nutně znamenat nejlepší. Důležitou roli zde hraje také vliv tmelu na podklad, což se v této práci stalo jedním z hlavních kritérií pro určení vhodnosti použití jednotlivých tmelů pro vysprávkou prasklin na památkových objektech.

## 2. EXPERIMENT

### 2.1 ZKOUMANÉ TMELY

Testovány byly čtyři bílé komerčně dostupné jednosložkové tmely určené do exteriéru a vyráběné firmou Den Braven Czech and Slovak a.s. Současně byl testován vliv primerů doporučených výrobcem tmelů na ovlivnění adheze k cementovému substrátu během stárnutí a na míru hydrofobizace podkladu. Označení testovaných tmelů včetně chemického základu polymerního řetězce a příslušného primeru je uvedeno v tab. 1. Byly použity dva druhy primerů podle doporučení výrobce:

6 | Viz Mittal – Pizzi (pozn. 3).

Thomas C. Jester, *Twentieth-century Building Materials: History and Conservation*, Los Angeles 2014.

7 | Viz Jester (pozn. 6).

Eugene A. Avallone – Theodore Baumeister et al., *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, New York 2006.

8 | Viz Mittal – Pizzi (pozn. 3).

9 | Viz Avallone – Baumeister et al. (pozn. 7).

10 | Viz Mittal – Pizzi (pozn. 3).

Phillipe Cognard, *Handbook of Adhesives and Sealants: General Knowledge, Application of Adhesives, New Curing Techniques*, Boston 2006.

11 | Viz Mittal – Pizzi (pozn. 3).

Viz Cognard (pozn. 10).

12 | Viz Mittal – Pizzi (pozn. 3).

Penetrace stavebních podkladů S2802A (P1) na bázi vodné disperze styrenakrylátového kopolymeru SOKRAT a PRIMER 250 na savé podklady (P2) na bázi aromatických izokyanátů v lehké ropné frakci. Všechny testované tmely patří do skupiny s vysokou hodnotou maximální povolené deformace. Lze u nich tedy předpokládat dostatečnou odolnost v případě cyklického zatížení tah-tlak.

Tmel/ Označení	Komerční název produktu	Chemický základ polymerního řetězce	Použitý primer
A	Akryl Exteriér	Akrylový	Penetrace stavebních podkladů S2802A (P1)
SA	Silikon-akrylový tmel	Silikon-akrylový	Penetrace stavebních podkladů S2802A (P1)
PU	BOND FLEX PU 40 FC	Polyuretanový	PRIMER 250 na savé podklady (P2)
MS	MS UNIFIX	MS-polymerní	Penetrace stavebních podkladů S2802A (P1)

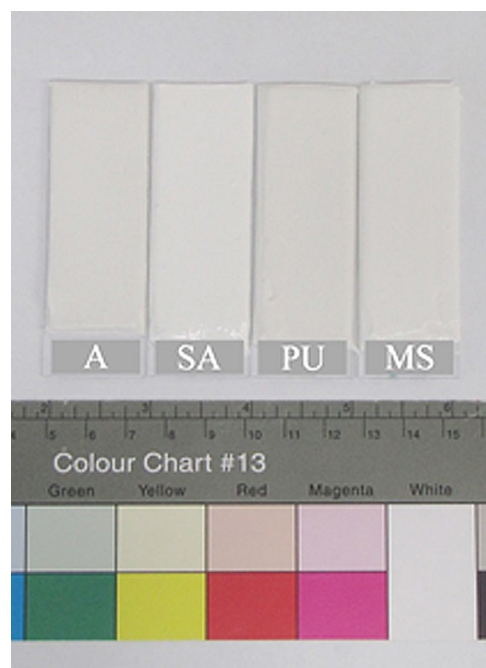
Tab. 1 Seznam testovaných tmelů a použitých primerů

## 2.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO TESTOVÁNÍ

Pro zkoumání přilnavosti tmelů k substrátu na bázi cementu byla připravena zkušební tělíska z bílého cementu (portlandský cement CEM I 52,5 R – SR5) a písku (3 frakce: 1 díl STJ 25, 1 díl ST 06/12, 2 díly ST 03/08), smíšených v poměru 2 : 1. Přidáním záměšové vody byla pomocí automatické míchačky připravena malta dle normy ČSN EN 196-1. Z malty byly pomocí forem vytvořeny trámký (20 x 20 x 100 mm), které byly po 28 dnech zrání rozřezány na poloviny. U poloviny zkušebních tělísek se plochy spojů před tmelením ošetřily primery dle návodu k použití. Poloviny trámků byly znovu spojeny vrstvou tmelu o tloušťce 6 mm, kterou vymezoval polyetylenový vyplňovací provazec umístěný ve středu. Před zátěžovými zkouškami byly takto připravené vzorky ponechány při laboratorních podmínkách (průměrná teplota 20 °C a relativní vlhkost 38 %) po dobu 7 dnů.

Pro pozorování změn povrchu tmelů po umělém stárnutí byly připraveny tenké vrstvy (3 mm) tmelů na odmaštěná sklíčka. Takto připravené vzorky byly ponechány 7 dní v laboratorních podmínkách pro dokončení síťovacích reakcí před samotnými testy umělého stárnutí. Porovnání výchozích vzorků ilustruje obr. 1.

Pro zjištění smrštění zkoumaných tmelů při síťování a také nasákavosti tmelů ve vodě byla vyrobena testová tmelová tělíska, která byla připravena natlačením a uhlažením tmelů do odmaštěných hliníkových U-profilů o vnitřních rozměrech 8,5 x 9,9 x 20 mm. Hliníkový profil simuloval spáru o daných rozměrech.



Obr. 1 Sesítované vzorky tmelů nanesené na podložních sklíčkách. Foto: Martina Nováková

## 2.2 UMĚLÉ STÁRNUTÍ

13 | Michael Vik, *Základy měření barevnosti*, Liberec 1995.

Tmelené cementové trámký byly podrobeny stárnutí v sušárně a 20 mrazovým cyklům. Vzorky tmelů nanesené na sklíčkách byly stárnutý všemi následujícími zkouškami umělého stárnutí:

stárnutí v sušárně (**T**) – vzorky byly umístěny do sušárny s teplotou 50 °C po dobu 30 dnů

stárnutí vlhkým teplem (**T/RV**) – vzorky byly umístěny do klimatické komory s teplotou 50 °C a relativní vlhkostí 95 % po dobu 30 dnů.

umělé povětrnostní stárnutí v QUV panelu (**QUV**) – vzorky byly umístěny do QUV panelu po dobu 30 dnů. Program zahrnoval opakování cyklu působení UV záření (0,68 W/m<sup>2</sup>, 50 °C, 5 hod) následovaný teplotním šokem (skrácení demineralizovanou vodou, 20 °C, 2 min) s následnou kondenzací vlhkosti při 40 °C (2 hod).

umělé stárnutí UV-A zářením (**UV-A**) – vzorky byly vystaveny UV-A záření (12,8 W/m<sup>2</sup>, teplota 34 °C, relativní vlhkost 22 %) po dobu 30 dnů

Výsledky umělého stárnutí tmelů nanesených na sklíčkách byly určeny měření změn barevnosti pomocí spektrofotometru Datacolor Mercury 2000 a programu Datacolor TOOLS, který automaticky vyhodnotil průměr ze 4 měření. Vzorky byly měřeny vždy přibližně na stejném místě, aby se eliminoval vliv různé tloušťky a nehomogenity povrchu. Změna barevnosti v barevném prostoru CIE L\*a\*b\* byla určena pomocí celkové barevné diference  $\Delta E^*$ , která byla vypočítána podle rovnice (1), kde  $\Delta L^*$  je změna měrné světlosti (černá – bílá),  $\Delta a^*$  je změna na ose obsahující barevné odstíny od červené po zelenou,  $\Delta b^*$  je změna na ose s barevnými odstíny od modré po žlutou.<sup>131</sup>

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

Pro porovnání byly změřeny vzorky ponechané v laboratoři při teplotě 23 °C a relativní vlhkosti 30 % po dobu 30 dnů, dále v textu jsou označeny zkratkou (**LAB**).

U stárnutých tmelených trámek byla měřena pevnost v tahu ( $R_m$ ) systému substrát–tmel–substrát pomocí univerzálního zkušebního stroje LaborTech LabTest 5.250SP1-VM. Po tahové zkoušce byl hodnocen typ poškození a to buď kohezní, nebo adhezní. Naměřená pevnost systému substrát–tmel–substrát tedy může představovat pevnost tmelu při vyšší přidrženosti k podkladu, nebo míru adheze tmelu k substrátu, pokud je pevnost tmelu vyšší. Tímto způsobem byl zkoumán i vliv prumerů na přidrženost tmelu k substrátu. Měření probíhalo při laboratorní teplotě a bylo použito vždy 10 vzorků pro každé prostředí. Z měření pevnosti byl vyhodnocen průměr a směrodatná odchylka.

### 2.3 SMRŠTĚNÍ TMELŮ PŘI TVRDNUTÍ A JEJICH NASÁKAVOST VODOU

Smrštění tmelů při tvrdnutí bylo zjištěno měřením výšky tělísek v hliníkové liště pomocí posuvného měřítka. Nasákavost byla testována u vyzrálých tmelových tělísek vyjmutých z hliníkového profilu. K testování byla použita normovaná zkouška ČSN 64 0242 – Stanovení odolnosti plastických hmot proti působení chemikálií – modifikovaná pro zkoušení pružných tmelů. Pro každou zkoušku bylo připraveno pět vzorků od každého tmelu a vypočítány aritmetické průměry pro smrštění a nasákavost tmelů.

### 2.4 SMÁČENÍ POVRCHU VODOU

Pro testování vlivu tmelů na podkladový materiál byl měřen úhel smáčení cementových vzorků vždy před nanesením tmelu a po 30denním působení tmelu za podmínek vlhkého stárnutí a jeho následném odstranění. Rovněž byl testován vliv primerů nanesených na cementových trámčích na úhel smáčení vodou. Pro tento účel byly připraveny cementové trámky stejným způsobem jako v kap. 2.1. Vyzrálé trámky byly následně rozřezány na dílky o výšce cca 1 cm a poté byly sušeny v sušárně při teplotě 60 °C. Na takto připravené trámky byly aplikovány primery a tmely. Tmely byly po umělém stárnutí odstraněny. Pro zjištění úhlu smáčení byla na povrch vzorku nanesena kapka vody pomocí mikropipety. Tvar kapky byl zaznamenán kamerou a úhel vyhodnocen v počítačovém programu See System 6.3.

Vhledem k možné přítomnosti nízkomolekulárních organických látek ve tmelech může docházet k penetraci těchto látek do porézního podkladu. Tím dojde k impregnaci povrchu, což se projeví zvýšenou hydrofobicitou povrchu, tedy i zvětšením úhlu smáčení. Hloubka průniku případných nízkomolekulárních látek byla zjišťována odbrušováním povrchové vrstvy cementového trámku diamantovým brusným papírem a změřením úhlu smáčení.

V případě primerů byla zkoumána i hloubka průniku do cementového substrátu. K tomuto účelu byl použit podélný řez ošetřeného trámku, na který byl aplikován roztok fenolftaleinu. K pozorování byl použit stereomikroskop Olympus SZX9.

## 3. VÝSLEDKY A DISKUZE

### 3.1 UMĚLÉ STÁRNUTÍ

Výsledky optického pozorování uměle stárnutých vzorků jsou znázorněny na obr. 2.

Na povrchu vzorků akrylového a silikon-akrylového tmelu stárnutých v QUV panelu byl pozorován vznik bublin. U polyuretanového tmelu byl pozorován nepatrný vznik bublin během síťování vrstvy, což je dáno



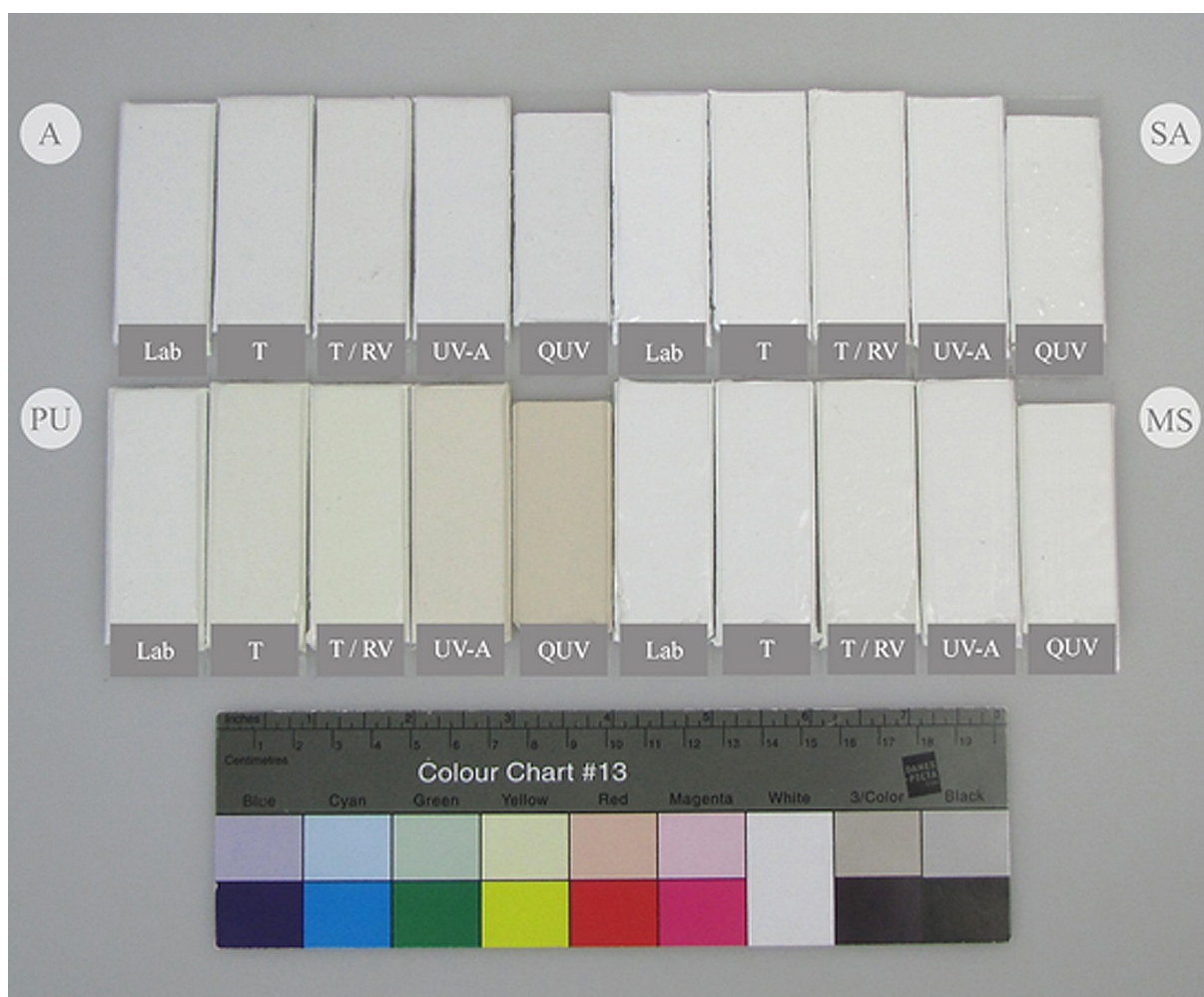
chemickou podstatou síťování, kdy vzniká plynný oxid uhličitý. Žádný tmel nevykazoval po stárnutí praskliny na povrchu, výkvěty, viditelné smrštění ani odlupování vrstvy od podkladu.

14 | Ján Panák – Michal Čeppan et al., *Polygrafické minimum*, Bratislava 2000.

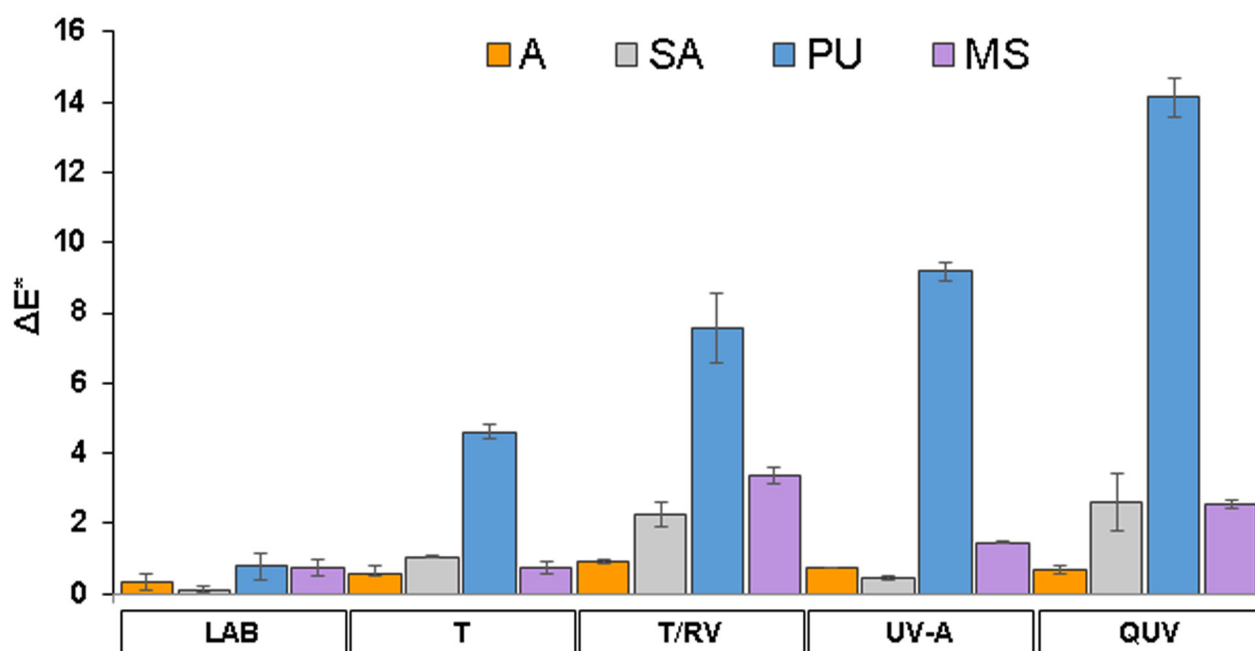
Kvantitativní vyhodnocení barevných změn tmelů podává vypočtená hodnota celkové barevné difference  $\Delta E^*$  z dat získaných měřením barevnosti (rovnice 1). Celková barevná difference pro testované tmely po umělém stárnutí je znázorněna na obr. 3 a víceméně potvrzuje barevné změny pozorovatelné okem (obr. 2). Určitá rozmezí celkové barevné difference jsou často popisována slovně podle tab. 2.

$\Delta E^* = 0,5 - 2,0$	kritická, právě vnímatelná barevná shoda
$\Delta E^* = 2,0 - 4,0$	barevný rozdíl akceptovatelný i při přímém porovnání
$\Delta E^* = 4,0 - 8,0$	barevný rozdíl akceptovatelný, jen když není možné přímé porovnání
$\Delta E^* > 8,0$	výrazný barevný rozdíl

Tab. 2 Slovní vyhodnocení vypočtené barevné difference<sup>141</sup>



Obr. 2 Porovnání vzorků tmelů po expozici 30 dnům přirozeného stárnutí v laboratoři a umělého stárnutí za různých podmínek. Foto: Martina Nováková



Obr. 3 Barevná diference testovaných tmelů po umělém stárnutí (30 dnů). Autor: Vítězslav Knotek

Z porovnání obr. 3 s tab. 2 vyplývá, že „výrazný barevný rozdíl“ byl naměřen u polyuretanového tmelu po působení blízkého ultrafialového záření UV-A a po expozici simulovanému vlivu povětrnosti v QUV panelu. Na obr. 2 je patrné, že barevná změna byla u polyuretanového tmelu způsobena výrazným žloutnutím. Žloutnutí je patrné způsobeno určitým stupněm degradace složek tmelu, což je spojeno se vznikem chromoforů.

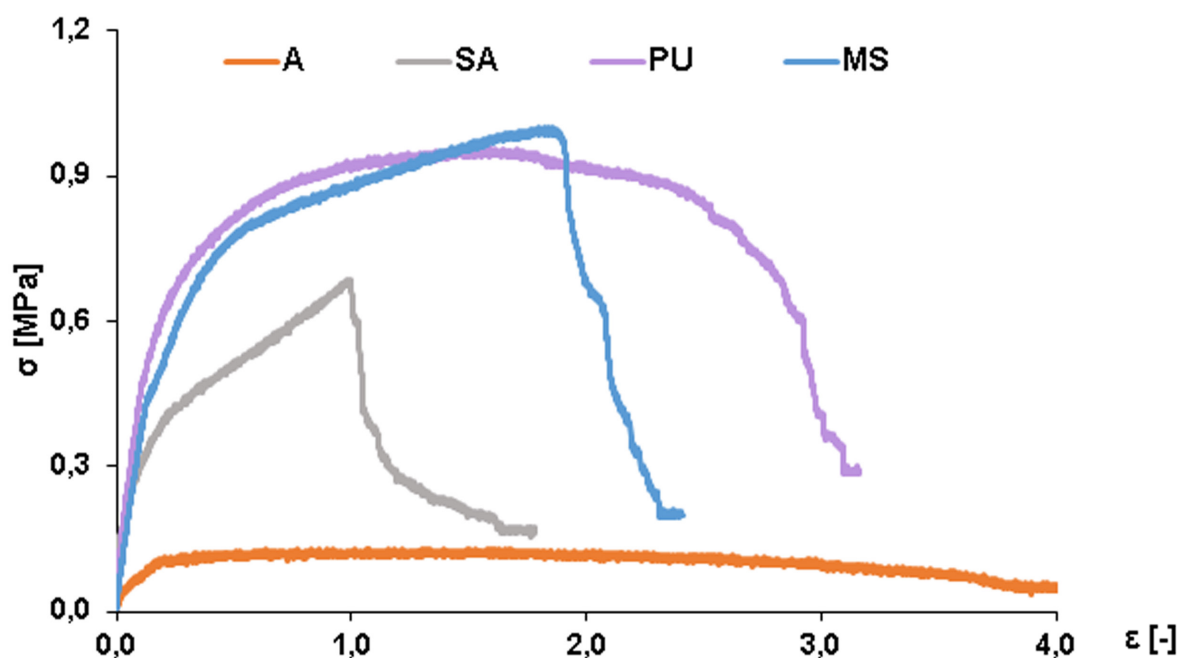
Nejlepší odolnost ke stárnutí z hlediska celkové změny barevnosti vykázal akrylový tmel, jehož výsledky celkové barevné diference po všech testech umělého stárnutí lze označit jako „kritickou, právě vnímatelnou shodu“. Pozorované výsledky potvrdily obecné tvrzení výborné odolnosti akrylových tmelů vůči UV záření.<sup>151</sup>

Zajímavým poznatkem vyplývajícím z obr. 3 je významný vliv vysoké vlhkosti na barevnost testovaných tmelů. Hodnota barevné diference byla po stárnutí vlhkým teplem přibližně dvojnásobná ve srovnání s případy stárnutí v sušárně, přičemž nejvýraznější nárůst vykazoval MS hybridní tmel. Vysoká vlhkost může přispívat k hydrolýze jak polymerního řetězce, tak přítomných organických aditiv.

U tmelených cementových vzorků byl zkoumán vliv umělého stárnutí na pevnost souboru substrát–tmel–substrát. Na obr. 4 jsou znázorněny tahové diagramy tmelených trámů bez použití primeru. Z obr. 4 je patrné, že při působení tahového napětí ( $\sigma$ ) došlo u vzorků tmelených silikon-akrylem a MS-polymerním tmelem k přerušení adheze, což představuje ostrý zlom na křivce. Naopak adheze akrylového a polyuretanového tmelu k cementovému trámku převyšovala pevnost samotného tmelu. Důsledkem bylo kohezní selhání spoje. Z obr. 4 je také zřejmé, že akrylový tmel byl velice plastický a dosáhl nejvyššího relativního prodloužení ( $\epsilon$ ), než došlo k přetržení.

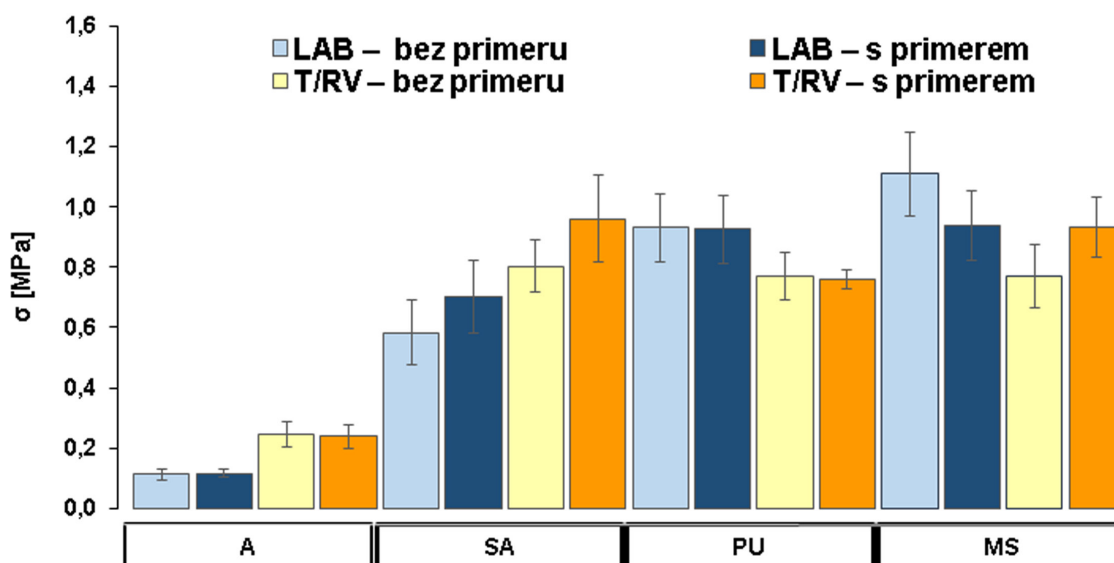
15 | Edward M. Petrie, *Handbook of Adhesives & Sealants*, New York 1999.





Obr. 4 Tahové diagramy tmelených cementových trámů bez aplikace primerů (laboratoř, 30 dnů). Autor: Vítězslav Knotek

Vliv působení vlhkého tepla na pevnost spoje tmelených trámů s primerem i bez primeru ilustruje obr. 5, ze kterého je patrné, že aplikace primeru nemá prakticky žádný vliv na pevnost souboru substrát-tmel-substrát u akrylového a polyuretanového tmelu. To je dáno dobrou adhezí těchto tmelů k substrátu (i bez použití primeru), ta je vyšší než pevnost tmelu. V tomto případě tedy nelze určit, jestli primer adhezi zlepšuje. Po stárnutí vlhkým teplem došlo u akrylového tmelu ke zvýšení pevnosti, zatímco u polyuretanového došlo k mírnému snížení pevnosti tmelu. To může být způsobeno síťujícími reakcemi a ztrátou plastifikátorů u akrylového tmelu v důsledku zatěžování vlhkým teplem, což vede ke zvýšení tuhosti tmelu. Naopak u polyuretanového tmelu došlo pravděpodobně ke štěpení polymerních řetězců vlivem hydrolyzy, což se projevilo snížením pevnosti tmelu.



Obr. 5 Vliv umělého stárnutí vlhkým teplem a aplikace primerů na pevnost souboru substrát-tmel-substrát. Autor: Vítězslav Knotek

Vliv aplikace primerů je dobře zřetelný u tmelů, u kterých došlo k adhezivnímu selhání souboru substrát–tmel–substrát. Konkrétně se jedná o silikon-akrylový a MS-polymerní tmel. Zatímco u silikon-akrylového tmelu došlo po aplikaci primeru ke zvýšení adheze u nestárnutých i stárnutých vzorků, u MS-polymerního tmelu je situace komplikovanější. Z výsledků vyplývá, že u vzorků ponechaných v laboratoři došlo ke snížení adheze vlivem aplikace primeru. U vzorků stárnutých vlhkým teplem došlo naopak ke zvýšení přilnavosti MS-polymerního tmelu k substrátu ošetřeného primerem. Lze tedy říci, že působení primeru 1 na adhezi MS-polymerního tmelu k cementovému substrátu není zcela konzistentní a z důvodu snížení adheze u nestárnutých vzorků ho nelze doporučit pro aplikaci s očekáváním vylepšení adheze.

### 3.2 SMRŠTĚNÍ TMELŮ PŘI TVRDNUTÍ A NASÁKAVOST VODOU

Kontrakce tmelů daná zmenšením objemu od nanesení po vytvrdnutí je uvedena v tab. 3. Minimální smrštění vykazoval MS-polymerní tmel a polyuretanový tmel. Naopak přibližně 20% smrštění vykazoval akrylový tmel a více než 50% smrštění bylo pozorováno u silikon-akrylového tmelu. Tento výrazný úbytek je dán tvrdnutím tmelů na bázi vodné disperze, které je způsobeno právě odpařením vody. Vysoká míra smrštění je v případě aplikace na objekty kulturního dědictví nevýhodná, jelikož je zásah velmi dobře viditelný.

Tmel	A	SA	PU	MS
<b>Kontrakce (%)</b>	20±3	54±3	8±5	5±1

Tab 3 Kontrakce vzorků tmelů v důsledku tvrdnutí

V tab. 4 je uvedena nasákavost vodou po vytvrdnutí jednotlivých tmelů. Nejnižší nasákavost byla zjištěna u polyuretanového a MS-polymerního tmelu. Tyto tmely musí mít těsnou sesíťovanou strukturu odolnou k průniku molekul vody. Naproti tomu akrylový tmel absorboval přibližně 30 hm. % vody a silikon-akrylový tmel dokonce více než 100 % své hmotnosti. Lze tedy usoudit, že akrylový a silikon-akrylový tmel nejsou vhodné do prostředí s dlouhodobým působením vody či vlhkosti.

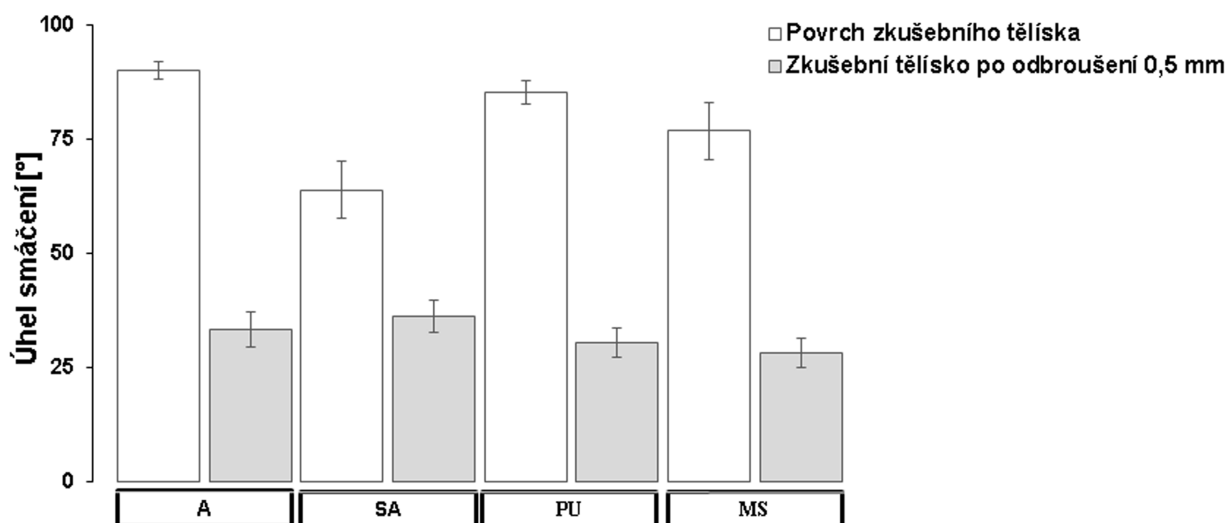
Tmel	A	SA	PU	MS
<b>Nasákavost (hm. %)</b>	29±4	102±8	0,5±0,2	2±0,6

Tab 4 Nasákavost tmelů vodou

### 3.3 VLIV TMELŮ A PRIMERŮ NA SMÁČENÍ POVRCHU CEMENTU VODOU

Moderní jednosložkové pružné polymerní tmely jsou velmi komplexní organické produkty obsahující nejrůznější plniva. Všechny testované tmely vykazují hydrofobní povahu. Hodnoty úhlů smáčení porézního podkladu po odstranění tmelu včetně výsledku po odbroušení 0,5 mm povrchu jsou shrnuty na obr. 6.

Úhel smáčení cementového vzorku před nanesením tmelu činí přibližně 35°. Po aplikaci a odtržení všech zkoumaných tmelů došlo k výraznému zvýšení hodnoty úhlu smáčení. Nejvíce hydrofobizoval cementový povrch akrylový tmel, naopak nejméně silikon-akrylový tmel. Po odbroušení vrstvy 0,5 mm a vysušení vzorků se úhel smáčení přiblížil hodnotě na neošetřených cementových zkušebních tělíscích. Hloubka penetrace nízkomolekulárních složek, které zvyšují hydrofobicitu, byla tedy za daných podmínek nižší. V delším časovém horizontu by ovšem v důsledku penetrace mohlo dojít k proniknutí těchto složek hlouběji do materiálu.



Obr. 6 Vliv testovaných tmelů na změnu smáčení cementového podkladu vodou. Autor: Vítězslav Knotek

Pro aplikované primery jsou hodnoty úhlu smáčení vodou včetně změřené hloubky průniku do porézního cementového systému uvedeny v tab. 5.

Primer	Úhel smáčení (°)	Hloubka průniku (mm)
P1	76±1	1,7
P2	71±3	1,5

Tab. 5: Hodnoty úhlu smáčení primerů a hloubka průniku do cementového trámku

Z hlediska zjevného ovlivnění porézního substrátu jak tmelem tak především primerem, se nejeví příliš vhodné aplikovat tyto materiály na objekty kulturního dědictví, jelikož odstranitelnost nízkomolekulárních látek je prakticky nemožné bez poškození podkladu.

#### 4. ZÁVĚR

V této práci byly testovány čtyři komerčně dostupné do exteriéru určené jednosložkové pružné tmely na základě akrylu, silikon-akrylu, polyuretanu a MS-polymeru. Zřejmě kvůli rozdílnému chemickému složení vykazovaly tmely různou odolnost různým typům umělého stárnutí.

Nejvyšší odolnost vůči korozivním účinkům vnějšího prostředí z hlediska barevných změn vykazoval akrylový tmel. Nejvýraznější změna v barevnosti byla pozorována u polyuretanového tmelu ve všech případech umělého stárnutí.

Po testování pevnosti v tahu souboru substrát-tmel-substrát se ukázalo, že není nutné aplikovat primer pro zlepšení adheze v případě akrylového a polyuretanového tmelu. Pro případ aplikace tmelů na objekty kulturního dědictví je nutnost použití primeru krajně nevhodná, jelikož proniká poměrně hluboko do substrátu a jeho odstranitelnost je velmi obtížná. V případě samotných tmelů dochází k ovlivnění substrátu penetrací hydrofobních nízkomolekulárních látek, které obsahují. Nejvýrazněji hydrofobizoval cementový substrát akrylový tmel. V případě polyuretanového a MS-polymerního tmelu byla hydrofobizace nižší, ale nijak výrazně. Nejméně hydrofobizoval povrch silikon-akrylový tmel, který ale vykazoval velkou míru smrštění.

Polymerní pružné tmely se právem těší velkému zájmu z oblasti stavebnictví. Svými vlastnostmi mnohonásobně převyšují dříve používané anorganické tmely. Bohužel, obecnému doporučení pro použití těchto tmelů v památkové péči brání jejich schopnost ovlivňovat porézní podklad.

#### Poděkování

Výzkum vlastností pružných polymerních tmelů byl finančně podpořen Ministerstvem kultury ČR – projekt NAKI DF12 P01OVV017.

## SUMMARY

### ENDURANCE TESTING OF EXTERIOR POLYMER SEALANTS AND THE POSSIBILITIES OF THEIR USE IN CULTURAL HERITAGE PRESERVATION

Modern flexible polymer sealants are widely used for building constructions to seal joints and cracks against leaking of water and dirt. Owing to their excellent properties such as easy application, sufficient flexibility and adhesion, surpass manifold traditional inorganic sealants (such as lime mortar, gypsum). The use of traditional inorganic sealants is common in restoration of monuments; therefore, the substitution of traditional sealants with modern flexible sealants might seem advantageous in restoration of cultural heritage objects. There is a wide range of sealants available on the market; they vary in their chemical basis and properties. For the use of sealants in restoration practice it is necessary to use such a sealant which, if possible, will not affect the substrate – most often a porous material – in any way.

In this work white commercially available sealants on the basis of acryl, silicon acryl, polyurethane and hybrid MS- polymer sealants were tested. The sealants were subjected to accelerated aging in various conditions and their impact on stability was examined. In aged sealants their adhesion to the cement substrate was tested and the impact of application of the recommended primers was examined. Simultaneously, the effects on the porous cement material after the application of sealants and primers were tested.

Regarding colour shifts, acrylic sealant showed best resistance in all the tested types of accelerated aging. On the contrary, the most considerable colour shifts occurred in polyurethane sealant in all the types of accelerated aging. It is not necessary to apply a primer to enhance the adhesion of acrylic and polyurethane sealants to the cement substrate. It is not suitable to apply a primer on objects of cultural heritage, as after its application penetration of the tested cement substrate deeper than 1.5 mm occurred. It was almost impossible to remove it. The sealants themselves influence properties of the cement substrate. Application of sealants made originally hydrophilic substrate quite substantially hydrophobic, which is caused by migration of low-molecular substances included in sealants. For this reason none of the tested sealants can be fully recommended to be applied in restoration practice.