

Ateliér restaurování a konzervace nástěnné malby a sgrafita
Fakulta restaurování Univerzity Pardubice

**Konsolidační účinky vápenných nanosuspenzí
a jejich směsí s estery kyseliny křemičité
při zpevňování nástěnné malby**

Projekt realizovaný v rámci Studentské grantové soutěže
Univerzity Pardubice

Jan Vojtěchovský, Lenka Slouková

Březen 2014 – prosinec 2015

OBSAH

1. REŠERŠE – ANORGANICKÉ KONSOLIDANTY	4
1.1. Vápenné nanosuspenze	4
1.2. Estery kyseliny křemičité	6
1.3. Kombinace vápenných nanosuspenzí a esterů kyseliny křemičité	7
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	11
2.1. Vybrané typy vápenných nanosuspenzí	11
2.2. Vybrané prostředky na bázi esterů kyseliny křemičité	13
2.3. Sedimentace vybraných prostředků	15
2.4. Vyhodnocení sedimentace	35
2.5. Příprava zkušebních panelů	36
2.6. Zkoušky konsolidačních prostředků na panelech	37
3. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	43
3.1. Metody posouzení vizuálních změn a míry zpevnění	43
3.1.1. Vizuální pozorování	45
3.1.2. Měření spektrofotometrem	47
3.1.3. Odtrhový test (Scotch Tape Test)	52
3.2. Výsledky měření a fotodokumentace zkoušek u jednotlivých polí na zkušebních panelech	54
3.2.1. Zkoušky na panelu I – řada A, řada B	55
3.2.2. Zkoušky na panelu I – řada C	67
3.2.3. Zkoušky na panelu I – řada D	79
3.2.4. Zkoušky na panelu I – řada E	91
3.2.5. Zkoušky na panelu II – řada A	103
3.2.6. Zkoušky na panelu II – řada B	115
3.2.7. Zkoušky na panelu II – řada C	127
3.2.8. Zkoušky na panelu II – řada D	139
3.2.9. Zkoušky na panelu II – řada E	150
3.3. Studium a hodnocení mikrostruktury	161
3.3.1. Výsledky zkoumání	162
3.3.2. Vyhodnocení pozorování	167
3.4. Závěrečné zhodnocení testování na zkušebních panelech	167
4. ZKOUŠKY KONSOLIDAČNÍCH PROSTŘEDKŮ NA REÁLNÉ NÁSTĚNNÉ MALBĚ	169
5. ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ	180
6. POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY	181

Úvod

Vápenné nanosuspenze jsou jedním z nejmladších materiálů používaných v oblasti konzervace. Jejich vlastnosti ani spektrum použití není zatím dostatečně prozkoumáno. Cílem naší studie je pozorování a porovnávání vybraných vápenných nanosuspenzí při zpevňování barevné vrstvy u nástěnné malby. Náš projekt volně navazuje na předchozí experimenty a zkušenosti s touto skupinou konsolidantů.

Rádi bychom se také zaměřili na směsi vápenných suspenzí s dnes běžně používanými estery kyseliny křemičité. Dosud bylo sledováno použití obou skupin spíše pro strukturální zpevnění kamene, či omítek a proto bychom se pokusili vyzkoušet jejich kombinace i pro zpevňování nástěnné malby. Rozšířený výzkum užití těchto skupin zpevňovacích prostředků může jistě přinést zajímavá zjištění, která, jak doufáme, budou mít dopad i pro jejich využití v praxi.

Nezanedbatelným aspektem, kterým se ve zkouškách konsolidačních prostředků zabýváme, je ekonomická a časová náročnost celé procedury. I v této oblasti se pokoušíme nalézt taková řešení, která povedou k co nejjednoduššímu, avšak dostatečně efektivnímu a ekonomicky přijatelnému způsobu aplikace. Ekonomicky přijatelnější varianty může přinést jak výše zmíněné použití směsi vápenné suspenze v kombinacích s konsolidanty na bázi esterů kyseliny křemičité, které zvýší množství účinné látky nanášené v jednom kole aplikace, tak i ředění suspenzí v poměrně levném technickém etanolu namísto v etanolu 98%, který byl doporučován výrobcí.

Šest vybraných typů vápenných suspenzí a jejich směsi se třemi typy prostředků na bázi esterů kyseliny křemičité je testováno jak na omítkových panelech s modelově vytvořenou simulací degradované barevné vrstvy, tak i na reálné nástěnné malbě. Zkoušky zpevňování na panelech jsou subjektivně i objektivně porovnávány a ty, které dosáhly nejlepších výsledků, jsou dále testovány na reálné nástěnné malbě. Výsledkem práce by tak mělo být nejen celkové vyhodnocení porovnávaných materiálů z hlediska jejich vlastností, ale i jakýsi manuál jejich vhodné aplikace.

1. REŠERŠE – ANORGANICKÉ KONSOLIDANTY

Smyslem zpevňování barevné vrstvy je snaha o zachování nebo navrácení pevnosti a jiných fyzikálních vlastností původního materiálu. Tato práce je zaměřena na zpevňování malby původně pojené vápnem, a je zde proto snaha nalézt prostředek na anorganické bázi, který by byl kompatibilní se zpevňovaným materiálem a zároveň by byl stabilní v prostředí s vyšší relativní vzdušnou vlhkostí. Na vlastnosti konsolidačních prostředků obecně jsou kladeny mimořádně přísné požadavky. Je potřeba, aby byly dlouhodobě stabilní chemicky, biologicky, opticky, atd. Nesmí na malbě vytvářet neprodyšný nebo lesklý film, nesmí ji měnit esteticky nebo dokonce způsobovat chemické změny.

Barevná vrstva se může sprašovat, odlupovat od podkladu v puchýřích či v šupinách atp. Fixační prostředek se většinou aplikuje lokálně dotyky štětce, injekční stříkačkou nebo plošně pomocí rozprašovače. Při zpevnění je důležité, aby zpevňující prostředek pronikl celou poškozenou vrstvou (nevytvářel povrchovou krustu či film) a obnovil její vazbu se zdravým jádrem omítky.¹ Hodnotí se jeho zpevňující účinky, hloubka penetrace, snadnost aplikace a dostupnost prostředku na trhu.

Ideální zpevňující prostředek má shodné, či alespoň kompatibilní vlastnosti s původním pojivem zpevňovaného materiálu. Měl by mít podobné mechanické vlastnosti jako originál, a to i v průběhu stárnutí. U vápenných omítek a maleb pojených uhličitánem vápenatým se doposud z důvodu shodnosti nového a původního pojiva užívala vápenná voda. Aplikace vápenné vody vyžaduje vzhledem k malému množství účinné látky (jen 0,16%) velké množství cyklů, při kterých je památka vystavena extrémnímu zavlhčení. S přísunem většího množství vody vzrůstá nebezpečí pohybu a krystalizace vodorozpustných solí a zatížení zpevňovaného substrátu.² Použití vápenných nanosuspenzí v alkoholu tak nese oproti užití vápenné vody, minimálně z hlediska migrace solí, mnohem menší rizika, penetrace a účinek zpevnění je mnohonásobně vyšší.

1.1. Vápenné nanosuspenze

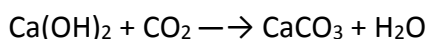
Vápenné nanosuspenze jsou nanočástice hydroxidu vápenatého (popřípadě hořečnatého), které jsou rozptýlené v krátkém řetězci alifatických alkoholů. Liší se od sebe koncentrací a typem alkoholu. Podle potřeby je možné suspenzi po důkladném promíchání ředit v rozsahu od 5 až do 50 g/l.³ Alkoholy se po ošetření odpaří beze zbytku.

Při vytvrzování dochází k tzv. karbonataci, kdy hydroxid vápenatý reaguje s atmosférickým oxidem uhličitým a vzniká tak uhličitán vápenatý.

¹ VANĚČEK I., *Nástěnné malby*. VŠCHT Praha 1997, s. 45

² KOCIÁNOVÁ, I. *Restaurování centrálního výjevu na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově*. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování. Litomyšl, 2013.

³ <http://www.nanoforart.eu/>



Nanosuspenze jsou čisté, obvykle bez jakýchkoliv přísad nebo sloučenin. Nejsou použita žádná stabilizační činidla nebo tenzidy, takže stabilita takových zpevňovačů je nižší ve srovnání s obvyklými disperzemi. Stabilitu produktů a velikost rozptýlených nanočástic může podle dostupných materiálů ovlivnit i minimální obsah vody (například z použitého alkoholu).⁴ Prověřením tohoto předpokladu se však, mimo jiné, hodlá zabývat tato práce.

Nanosloučeniny jsou syntetizovány pomocí homogenní a heterogenní fáze. Podle procesu syntézy získávají charakteristickou velikost částic a morfologii krystalů. Hlavní cíle výroby zahrnují syntézu spíše krystalických než amorfních produktů. Reakce může probíhat ve vodě, ale také v nevodných rozpouštědlech. Až do nedávné minulosti bylo možné získat nanočástice buď hydrolýzou hydridu vápenatého za specifických experimentálních podmínek nebo reakcí oxidu vápenatého CaO, nebo hydridu vápenatého CaH₂ s vodou v organickém prostředí za přítomnosti povrchově aktivních látek.⁵

Novější možností, jak syntetizovat krystalické částice nanovápna, je výroba z roztoku hydroxidu sodného NaOH a chloridu vápenatého CaCl₂. Hydroxid vápenatý Ca(OH)₂ je po kapkách přidáván do vodného roztoku při teplotě 90°C. Reakcí vzniká hydroxid vápenatý Ca(OH)₂ a chlorid sodný NaCl, který je ze suspenze následně odstraněn. V poslední fázi výroby jsou částice vápna rozbity v kulovém mlýně na částice o velikosti několika μm až nm. Shluky částic jsou odděleny pomocí ultrazvuku.⁶

Jiný známý výrobní proces zahrnuje reakci kovového vápníku s vodou v alkoholovém mediu.⁷ Reakce probíhá dle rovnice: $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2$

Je poměrně obtížné přesně vytvořit požadovanou koncentraci suspenze. Rozdílů v koncentraci se dosahuje odpařením rozpouštědla při výrobě. Stabilita suspenze je přímo úměrně závislá na velikosti částic. Čím menší částice, tím nižší stabilita. Kineticky stabilní disperze mohou být získány s alifatickými alkoholy s krátkým řetězcem. Výhodou těchto alkoholů je, že se rychle odpařují (možnost rychlého opakování cyklů) a ve srovnání s jinými rozpouštědly mají nízkou toxicitu. Povrchové napětí je dostatečně nízké, aby se zajistilo optimální smáčení, které je zodpovědné za hlubokou penetraci disperzí v porézni struktuře omítek.⁸

Velikost nanočástic se pohybuje u vápenných nanosuspenzí většinou v rozmezí 150-300 nm. V suspenzi jsou zastoupeny i větší částice, které však nejčastěji vznikají nechtěným

⁴ DAEHNE A., HERM CH., *Calcium hydroxide nanosols for the consolidation of porous building materials - results from EU-STONECORE*, Heritage Science Journal 2013, 1:11

⁵ KOCIÁNOVÁ, I. *Restaurování centrálního výjevu na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově*. Litomyšl, 2013. Diplomová práce. s. 22.

⁶ *MBN nanomaterialia*. Nanoforart, First Annual Meeting, London 13 and 14 December 2012.

⁷ DUNAJSKÁ, J., Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil® nanosuspensions on plaster reference samples, Litomyšl, 2012, s. 14-15.

⁸ DUNAJSKÁ J. (viz. pozn. 7), s. 14-17

shlukem primárních částic při výrobě nebo následným skladováním. Pro porovnání, velikost iontů vápníku ve vápenné vodě je podstatně menší, cca 0,1 nm.⁹ Viskozita a barva suspenze se liší podle koncentrace. Koncentrovanější směs je více viskózní a většinou bělejší (popřípadě světle okrovou či šedou, podle použitého zdrojového materiálu a způsobu výroby).

Nanosuspenze jsou citlivé na vodu. Předpokládá se, že již velmi malé množství vody v systému množství vody může vést ke zvýšenému usazování aglomerátů Ca(OH)₂, a tím může snížit penetrační schopnosti konsolidantu. Podobné problémy se vyskytují u nanosuspenzí, u kterých bylo překročeno doporučené datum spotřeby. U produktu *CaLoSil*[®] je zaručena trvanlivost po dobu tří měsíců.¹⁰

U prostředků na bázi hydroxidu vápenatého vzniká riziko tvorby bílých zákalů. Jeden z výrobců, *IBZ – Salzchemie GMBH & CO. KG*, doporučuje v této záležitosti aplikovat nejdříve nižší koncentrace suspenze a tu postupně v dalších kolech navyšovat¹¹. Je otázkou, zda se jedná skutečně o nejvhodnější postup, protože při použití v praxi bylo pozorováno uzavírání pórů na povrchu s každým dalším cyklem. A při snížení koncentrace musí nutně počet cyklů narůst.

Tvorba zákalu u vápenných nanosuspenzí nebyla dosud jednoznačně objasněna. Předpokládá se, že kromě kriticky vysoké koncentrace či počtu cyklů je způsobena také rychlým vypařováním alkoholového nosiče, který odnáší částice hydroxidu vápenatého zpět k povrchu. K omezení zpětné migrace se přidávají nepolární rozpouštědla s delší retencí. Podle předchozích zkoumání, na něž tato práce navazuje, bylo zjištěno, že velmi účinné je následné zvlhčení suspenzí ošetřeného místa vodou v rozprašovači. Tento poznatek vychází z testování na zkušebních panelech i ze zkušeností přímo na památkových objektech.

1.2. Estery kyseliny křemičité

Estery kyseliny křemičité se využívají nejčastěji k strukturálnímu zpevnování kamene a omítek. Nejčastěji používaný je etylester kyseliny křemičité (tetraethoxysilan, tetraethylortosilikát, zkráceně TEOS). Ten je velmi prchavý a proto se k němu přidávají oligomerní prostředky, které jsou částečně kondenzované, tj. váží k sobě několik molekul monomeru dohromady. Vlivem vlhkosti se z něj stává křemičitý gel, který je pevný, sklovitý a křehký. Existuje teorie, podle které se hydroxylové skupiny organokřemičitanu vážou na hydroxylové skupiny křemenných zrn v porézním systému horniny nebo omítek, čímž dochází k vytvoření pevnějších vazeb.¹² Katalyzátory reakce mohou být neutrální, zásadité i kyselé.

⁹ DRDÁCKÝ M., SLÍŽKOVÁ Z. *Nanomateriály v péči o památky*, 2012, dostupné na: <http://abicko.avcr.cz/2012/10/06/>

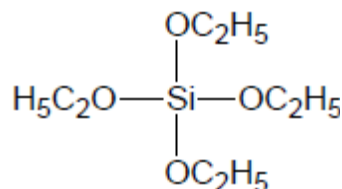
¹⁰ DUNAJSKÁ, J., Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil[®] nanosuspensions on plaster reference samples. Litomyšl, 2012. Diplomová práce Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Katedra chemické technologie, s. 11

¹¹ Technical Leaflet, CaLoSil[®], k dispozici na: http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN.pdf

¹² HUCKOVÁ M., KOTLÍK P. *Možnosti konzervace umělého kamene pojeného epoxidy*, sborník konference Arte-fakt 2006

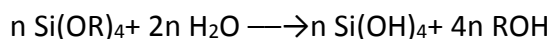
Podle pH katalyzátoru vzniká různě síťovaný gel. Pro citlivé materiály se doporučuje neutrální činidlo. Druh katalyzátoru může ovlivňovat další chemicko-fyzikální pochody v reakční směsi. Vlivy pH, druhů a koncentrací katalyzátorů na estery kyseliny křemičité se ve své disertační práci podrobně zabývá Petr Kuneš. Uvádí, že s rostoucí koncentrací katalyzátoru vznikají větší částice a klesá průměr a celkový objem pórů.¹³

Strukturální vzorec etylesteru kyseliny křemičité:



Reakce ethylesteru kyseliny křemičité s vodou za vzniku křemičitého gelu:

1. Hydrolýza:



2. Kondenzace:



Estery kyseliny křemičité vynikají chemickou stálostí a paropropustností. Po ošetření organokřemičitany je možné památku např. odsolovat, což vyžaduje maximální otevřenost porézního systému. Soli ale mohou mít negativní účinky při tvorbě křemičitého gelu.

Tyto konsolidanty nezanašují do substrátu žádné nežádoucí látky. Při zpevňování vápenných materiálů je ale problémem odlišnost pojivové složky. Původně vápenné pojivo se mění na křemičité a je možné, že se nevytváří tak pevné vazby jako u materiálů obsahujících křemičité vazby.

Díky své nízké viskozitě pronikají estery kyseliny křemičité poměrně hluboko do porézního materiálu, kterým je mimo jiné i barevná vrstva na bázi vápna, stejně jako vápenná omítka. Na trhu je široká škála komerčních produktů na bázi esterů kyseliny křemičité. Některé z nich mají i trvalé hydrofobní účinky (např. methyltriethoxysilan – MTES), které jsou využívány však především v exteriéru jako hydrofobizační přípravky.¹⁴

1.3. Kombinace vápenných nanosuspenzí a esterů kyseliny křemičité

Hledání účinného zpevňovacího prostředku pro vápenné materiály vedlo k pokusům o kombinování vápenných alkoholových suspenzí a esterů kyseliny křemičité. Samotné

¹³ KUNEŠ P. *Vliv hydroxidu vápenatého na zpevnění vápenné malty organokřemičitým esterem*. Praha, 2012. Disertační práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

¹⁴ VANĚČEK I., *Nástěnné malby*. VŠCHT Praha 1997.

vápenné nanosuspence v alkoholu mají dobré účinky jen v některých případech, převážně u méně degradovaných materiálů. U více degradovaných materiálů, je i vzhledem k poměrně nízké koncentraci zpevňující látky, nutné aplikovat prostředek v podstatně více kolech, čímž vzniká riziko tvorby bílého zákalu na povrchu, zejména pokud mezi aplikacemi není místo vlhčeno vodou. Komerčně dostupné estery kyseliny křemičité obsahují oproti vápenným nanosuspencím nepoměrně vyšší procento finálně utvořené pojivové složky (10-50%), což je jistě jedním z nejdůležitějších faktorů míry výsledného zpevnění. V této práci budou testovány kombinace obou typů prostředků a budou sledovány jejich vzájemná působení a změny vlastností zpevňované barevné vrstvy.

Firma Remmers u svého produktu *KSE* nedoporučuje přidávání aditiv pro urychlení reakční doby. Rovněž nedoporučují tzv. rychlou hydrolyzu, „...protože představuje nekontrolovatelný vliv na reakci, při které dochází ke tvorbě gelu.“¹⁵ Tím může nepříznivě ovlivnit výslednou strukturu gelu. Z provedených experimentů Ivony Kociánové vyplývá, že hydroxid vápenatý má negativní dopad na kvalitu vzniklého polykondenzátu i na dosažené zpevnění.¹⁶ V přítomnosti uhličitanů (vápenatého, hořečnatého a sodného) bývá křemičitý gel popraskán a jeho dobré mechanické vlastnosti jsou oslabené. Jinak skeptický názor zaujímá ve své disertační práci z roku 2012 Petr Kuneš, který se obává vlivu hydroxidu vápenatého na tvorbu spojitého trojrozměrného gelu s pojivým účinkem. Domnívá se, že dochází k reakci křemičitých koloidních částic s hydroxidem vápenatým. Reakce by v širokém rozmezí podmínek mohla vést k přeměně křemičité sítě na hydratované křemičitany vápenaté. Svou strukturou se hydratované křemičitany vápenaté podobají tzv. *CSH fázím*, které vznikají hydratací trikalciem silikátu a jsou hlavní složkou odpovědnou za pevnost portlandského cementu.¹⁷ To by ovšem spíše napovídalo zvýšení výsledné pevnosti takto kombinovaného materiálu, což by mohlo být považováno spíše za pozitivum této směsi.

V rámci mezinárodního projektu *Stonecore*, jenž byl realizován v rámci 7. rámcového programu v letech 2009-2012, byly laboratorně zkoumány a zkoušeny kombinace vápenné suspenze s esterem kyseliny křemičité. Byla aplikována jak směs esteru kyseliny křemičité s vápennou nanosuspencí *CaLoSiL*[®], tak i oba prostředky jednotlivě jdoucí po sobě. Nejdříve byla nanosená vápenná nanosuspence a po ní následovala aplikace organokřemičitanu. Hydroxid vápenatý se ve směsi projevuje jako katalyzátor urychlující hydrolyzu esterů kyseliny křemičité a jako spojovací prostředek pro povrch kamene a omítek. Ziegenbalg, Musiela a Piaszczyński v závěru svého článku o zpevňování kamene, zdiva a omítek vápennými nanosuspencemi uvádějí, že: „kombinace vápenné nanosuspence a esterů kyseliny křemičité zlepšují konsolidační schopnosti a kombinují příznivé vlastnosti obou složek.“¹⁸ Tento názor je

¹⁵ REMMERS. *Technický návod KSE - Modul – Systém, modulový systém esteru kyseliny křemičité*.

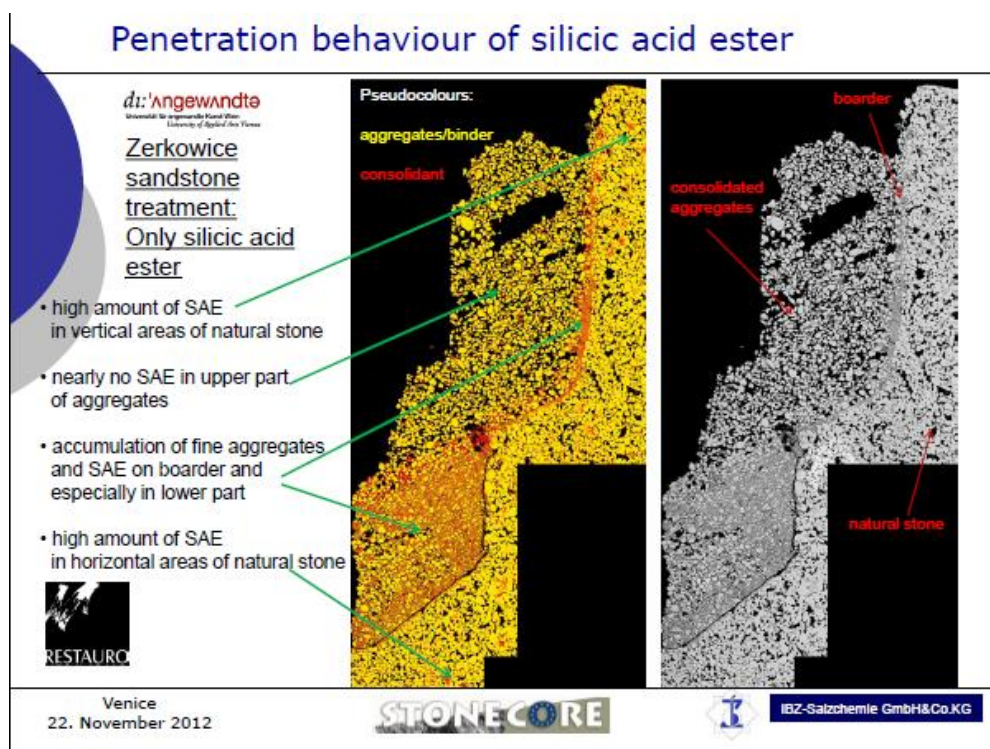
¹⁶ KOCIÁNOVÁ, I. *Restaurování centrálního výjevu na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově*. Diplomová práce. Litomyšl, 2013.

¹⁷ KUNEŠ, P., *Vliv hydroxidu vápenatého na zpevnění vápenné malty organokřemičitým esterem*. Praha, 2012. Disertační práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.

¹⁸ PIASZCZYNSKI E., MUSIELA M., ZIEGENBALG G., *The consolidation of Stone, Mortar and Plaster by Using Calcium Hydroxide Nano-Sols*. Venice 2012.

vyjádřen na základě laboratorního zkoumání a testování na zkušebních modelech i reálných historických památkách. V mikroskopické analýze lze sledovat a porovnat schopnost průniku a konsolidace kamene i povrchové vrstvy jak vápennou nanosuspenzí, estery kyseliny křemičité, tak i jejich kombinacemi. Zpevnění pouze estery kyseliny křemičité je zajištěno ve větších hloubkách a u povrchu je jejich dosah minimální. Naopak částice nanovápna se rozprostírají rovnoměrně a ve směsi s estery kyseliny křemičité je jejich distribuce rovněž velmi dobrá (viz obr. 1).

Pravděpodobně na základě pozitivních výsledků projektu *Stonecore* doporučuje výrobce řady komerčních produktů *CaLoSil®* kombinovat ošetření vápennou nanosuspenzí s následnou aplikací organokřemičitanu. Hydroxid vápenatý podporuje adhezi a urychluje hydrolýzu křemičitého gelu. „Výsledná pevnost je v mnoha případech mnohem vyšší než při konsolidaci pouze estery kyseliny křemičité“¹⁹ Výrobce dále uvádí, že tímto způsobem může být *CaLoSil®* kombinován se všemi komerčně dostupnými prostředky na bázi esterů kyseliny křemičité.²⁰

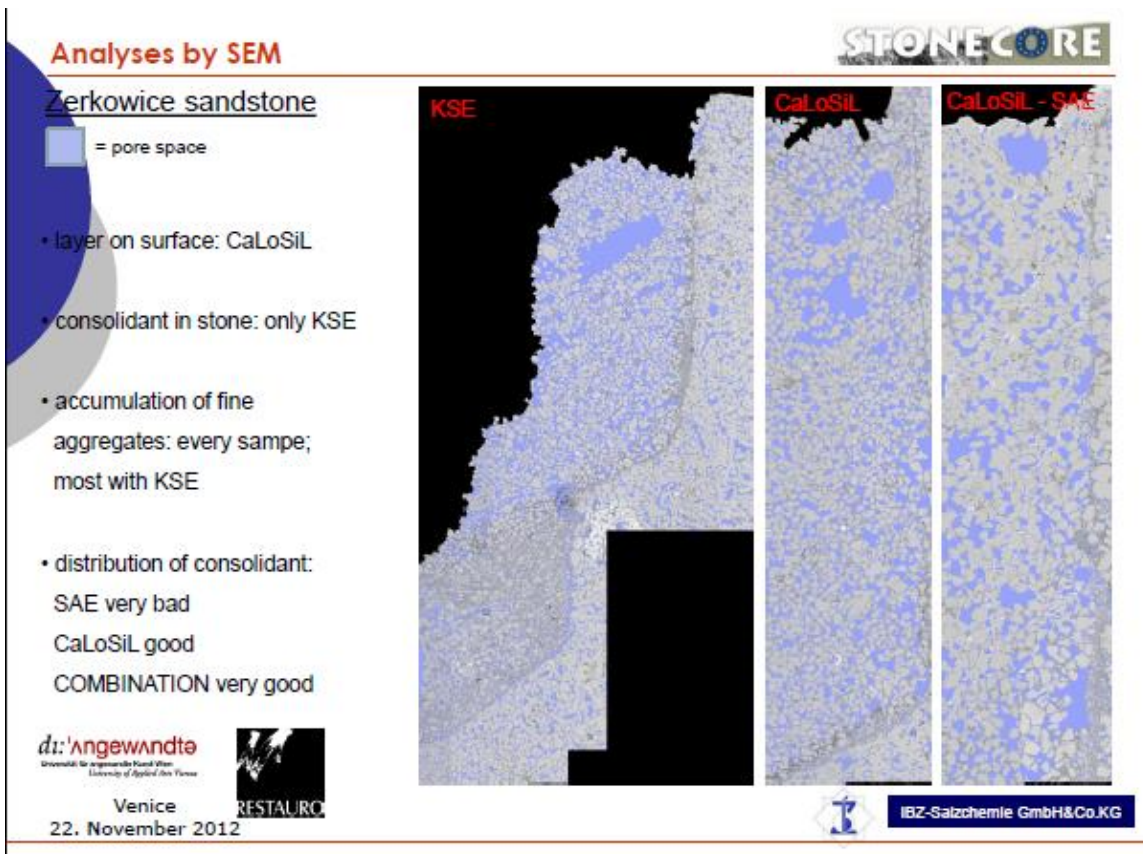


Obr. 1: Aplikace esterů kyseliny křemičité v pískovci – nepravidelné rozložení konsolidantu především v okrajových a nižších partiích. Takřka žádné množství produktu na bázi esterů kyseliny křemičité se nezachytilo v povrchové vrstvě. Snímek z prezentace projektu *Stonecore*, Benátky 2012.²¹

¹⁹ IBZ Salzchemie GmbH & Co.KG, Technical Leaflet, http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN.pdf

²⁰ IBZ Salzchemie GmbH & Co.KG, Technical Leaflet, http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN.pdf

²¹ PIASZCZYNSKI E., MUSIELA M., ZIEGENBALG G., *The consolidation of Stone, Mortar and Plaster by Using Calcium Hydroxide Nano-Sols*. Venice 2012.



Obr. 2: Zpevňování povrchu pískovce vápennou nanosuspenzí *CaLoSiL*[®] a její směsí s estery kyseliny křemičité. Oba mají velmi dobré výsledky. Snímek z prezentace projektu *Stonecore*, Benátky 2012.²²

²² Piaszczyński E., Musiela M., Ziegenbalg G., *The consolidation of Stone, Mortar and Plaster by Using Calcium Hydroxide Nano-Sols*. Venice 2012.

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V následujícím výčtu testovaných prostředků jsou uvedeny produkty, které byly v této práci zkoumány. Produkty jsou řazené dle jejich výrobců. U jednotlivých vápenných suspenzí jsou uvedeny přesné hodnoty koncentrací $\text{Ca}(\text{OH})_2$, které u nich byly naměřeny a druhy nosičů. Ostatní údaje o složení nebo velikosti částic pocházejí z technických listů produktů nebo z předchozích výzkumů.

U testovaných prostředků byla nejdříve porovnávána jejich stabilita – míra a rychlost sedimentace pevné složky ve směsi, a zda u kombinovaných směsí s organokřemičitany nedochází k hydrolyze, tedy ke zgelovatění.

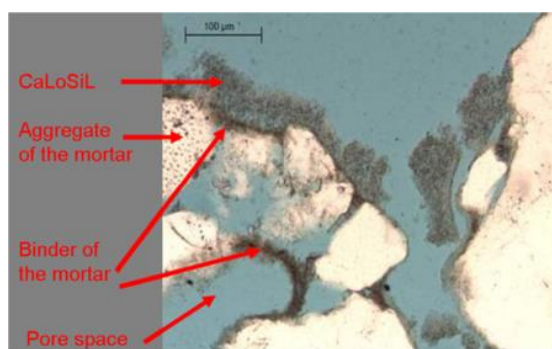
Vápenné nanosuspenze, estery kyseliny křemičité a jejich vzájemné kombinace byly zkoušeny na omítkových panelech s modelově vytvořenou simulací degradované barevné vrstvy, která svou porézností a nízkým obsahem pojiva měla simulovat degradovanou barevnou vrstvu a omítku nástropní malby v kapli sv. Isidora v Křenově. Zkoušky zpevňování na panelech byly porovnávány a ty, které dosáhly nejlepších výsledků, byly dále testovány na reálné nástěnné malbě.

2.1. Vybrané typy vápenných nanosuspenzí

IBZ – SALZCHEMIE GMBH & CO. KG (Německo)

Jejich komerčně dostupné vápenné nanosuspenze $\text{CaLoSiL}^{\text{®}}$ se vyrábí v etanolovém (E), izopropanolovém (IP) a n-propanolovém systému (NP) v koncentracích 5, 25 a 50 g/l. V tomto projektu byla použita suspenze etanolová - $\text{CaLoSiL}^{\text{®}}$ E-25, která byla podle potřeby ředěna na jiné koncentrace.

- $\text{CaLoSiL}^{\text{®}}$ E-25
 - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ naměřeno v koncentraci 30 g/l - etanol
 - Velikost částic a distribuce: 50-250 nm (DLS, TEM)²³
 - Morfologie krystalů (TEM, XRD): krystalické, dobře vyvinuté
 - Poznámky: lokálně tvorba shluků – částic s větší velikostí (TEM)
 - $\text{pH} \geq 10$



Obr. 3: Mikroskopický snímek vzorku omítky obsahující dolomitické vápno po ošetření vápennou suspenzí $\text{CaLoSiL}^{\text{®}}$ autor: Thomas Köberle²⁴

²³ IBZ – SALZCHEMIE GMBH & CO. KG, *Technický list $\text{CaLoSiL}^{\text{®}}$*

²⁴ DAEHNE, HERM (cit. v pozn.4)

CSGI (CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER LO SVILUPPO DEI SISTEMI A GRANDE INTERFASE; Itálie)

Pro tento projekt byly poskytnuty jejich produkty **CSGI E** – vápenná nanosuspenze v etanolu a **CSGI 1P** – vápenná nanosuspenze v propanolu.

- **CSGI E**
 - Ca(OH)_2 v etanolu
 - Velikost částic a distribuce: přibl. 200 nm (DLS, TEM)
 - Morfologie krystalů (TEM, XRD): krystalické, dobře vyvinuté
 - Poznámky: lokálně tvorba shluků – částic s větší velikostí (TEM)
 - pH 8,5
- **CSGI 1P**
 - Ca(OH)_2 v 1-propanolu
 - Velikost částic a distribuce: přibl. 290-390 nm (DLS, TEM)
 - Morfologie krystalů (TEM, XRD): krystalické, dobře vyvinuté
 - Poznámky: lokálně tvorba shluků – částic s větší velikostí (TEM)
 - pH 8,5

ZFB (ZENTRUM FÜR BUCHERHALTUNG) GMB25 (Německo)

V rámci tohoto projektu budou testovány a porovnávány vápenné nanosuspenze v izopropanolu - **ZFB 703i** a etanolu - **ZFB 734e**.

- **ZFB 703i**
 - Ca(OH)_2 v isopropanolu
 - Velikost částic a distribuce: $d_{50} = 106 \text{ nm}$, $d_{95} = 192 \text{ nm}$ ²⁶
 - Obsah Ca(OH)_2 v suspenzi: 78 g/l
 - pH ≥ 10
- **ZFB 734e**
 - Ca(OH)_2 v etanolu
 - Velikost částic a distribuce: $d_{50} = 560 \text{ nm}$, $d_{95} = 3,34 \mu\text{m}$ ²⁷
 - Obsah Ca(OH)_2 v suspenzi: 153 g/l
 - pH ≥ 10

MBN NANOMATERIALIA SPA (Itálie)²⁸

- **MBN Nf070**²⁹
 - Ca(OH)_2 v 2-Propanolu (95% hm.) a Isobutanolu (4% hm.)
 - Obsah Ca(OH)_2 v suspenzi: 19 g/l

²⁵ <http://www.zfb.com>

http://www.nanoforart.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=29:zfb&catid=8&Itemid=141

²⁶ Technický list ZFB GMB

²⁷ Technický list ZFB GMB

²⁸ <http://www.mbn.it>

²⁹ Technický list MBN NANOMATERIALIA



Obr. 4, 5: Neředěná vápenná nanosuspenze MBN Nf070, která svou nestabilitu projevovala již při svém doručení. Vlevo: po promíchání, vpravo: průběh sedimentace $\text{Ca}(\text{OH})_2$ po 1 týdnu.

2.2. Vybrané prostředky na bázi esterů kyseliny křemičité

REMMERS s.r.o. (Německo)

Pro zkoušky konsolidace byly v našem projektu vybrány produkty firmy Remmers, které jsou na trhu nejen v různých koncentracích, ale i v různých verzích, z nichž jedna je vyvinuta speciálně pro vápnité materiály. Zde následuje výčet použitých produktů:

- KSE 100³⁰
 - Zpevňovač na bázi etylesteru kyseliny křemičité (KSE)
 - Bez obsahu rozpouštědel.
 - Množství vyloučeného křemičitého gelu: cca 100g/l
- KSE 300³¹
 - Zpevňovač na bázi etylesteru kyseliny křemičité (KSE).
 - Bez obsahu rozpouštědel.
 - Množství vyloučeného gelu, cca 30% (300g/l) - vylučuje čistě minerální, amorfni křemičitý gel.
- KSE 300HV³²
 - Zpevňovač na bázi esteru kyseliny křemičité.
 - Bez obsahu rozpouštědel.
 - Podíl vyloučeného amorfniho gelu je 30 % (300g/l)
 - S prostředky pro zlepšení přilnavosti.
 - Speciálně vyvinutý pro zpevňování vápence.

³⁰ REMMERS s.r.o., *Technický list - Číslo výrobku 0719 - KSE 100*

³¹ REMMERS s.r.o., *Technický list - Číslo výrobku 0720 - KSE 300*

³² REMMERS s.r.o., *Technický list - Číslo výrobku 0654 - KSE 300 HV*

- KSE 300E³³

- Elastifikovaný zpevňovač kamene na bázi ethylesteru kyseliny křemičité (KSE)
- Množství vyloučeného gelu, cca 30%. (cca 300g/l)
- Od obvyklých zpevňovačů kamene se odlišuje mírným růstem e-modulu (modul pružnosti), což příznivě ovlivňuje chování při pnutí /napětí a protažení.
- Dále umožňuje přemostění trhlin větší šíře, zlepšuje i lepší navázání poškozených součástí struktury do křemičité sítě, tvořené gelem.
- Obsah ethylesteru kyseliny křemičité 50 % hm.
- Speciální aditiva – tzv. změkčovací segmenty



Obr. 6: Skleněná fritra impregnovaná prostředkem KSE 300 E; zřetelně přemostující gelové struktury v prostoru pórů.³⁴ Elektronová mikroskopie.

³³REMMERS s.r.o., *Technický list - Číslo výrobku 0714 - KSE 300 E*

http://www.remmers.cz/editor/image/stranky3_produkty2

³⁴ <http://www.remmers-servis.cz/Ochrana-a-obnova-pamatek/Konzervace-stavebn-ch-material/>

2.3. Sedimentace vybraných prostředků

U výše zmíněných prostředků byla nejdříve sledována míra a rychlost usazování pevné složky ve směsi. Jak je vidět na obrázcích č. 4 a 5, u produktu MBN Nf070, docházelo k sedimentaci hydroxidu vápenatého poměrně rychle, dokonce ještě dříve, než došlo k jeho ředění v alkoholových rozpouštědlech. Tento výzkum se pokusí porovnat stabilitu vápenných suspenzí jak v neředěném, tak i ředěném stavu.

Suspenze v **neředěném stavu** byly instalovány do zkumavek označených čísly **1–6**. Ve zkumavkách označených čísly **7–27** byly všechny vápenné suspenze ředěny na koncentraci 5 g/l a zároveň byly porovnávány rozdíly mezi různými typy rozpouštědel – **98% líh, Technický líh** a **Izopropanol**. Kombinace vápenných alkoholových suspenzí a esterů kyseliny křemičité byly testovány ve zkumavkách označených čísly **28–33**.³⁵

Průběh sedimentace je fotograficky dokumentován (Tab. 3 a 4) a rychlosti usazování pevné složky ve směsi je naznačena v grafickém záznamu (Graf. 1)

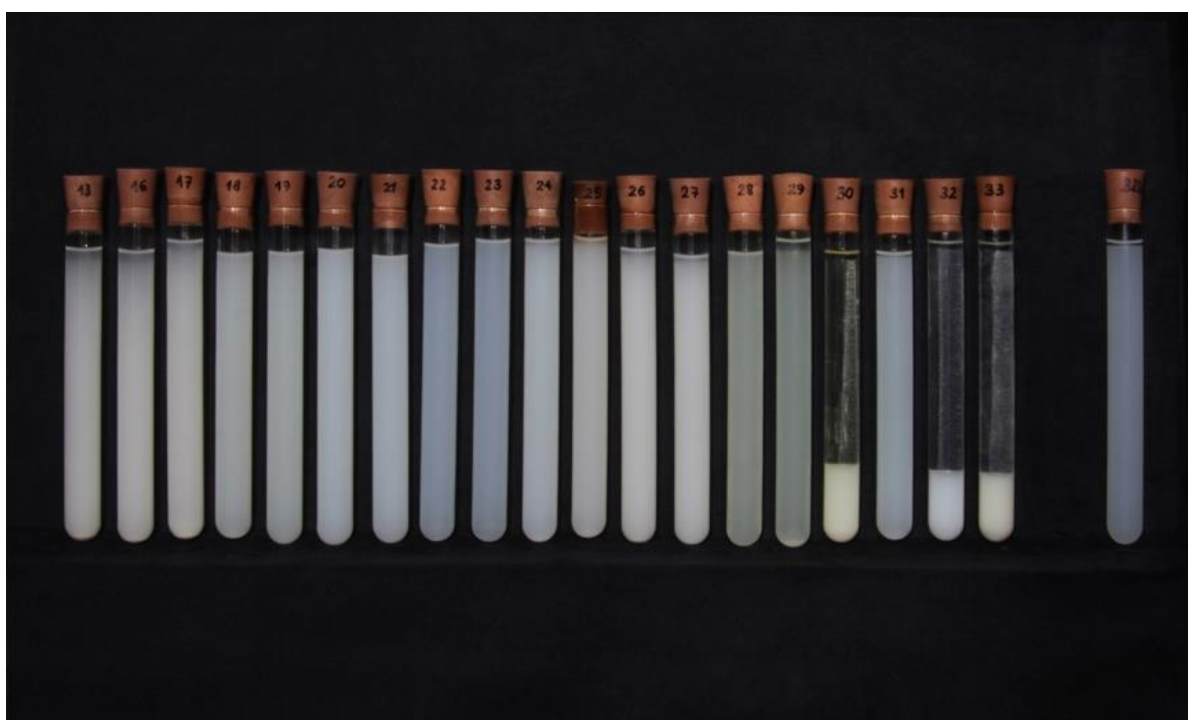


Obr. 8: Zkumavky 1-6 obsahují neředěné vápenné suspenze, v dalších jsou suspenze naředěné na koncentraci 5g/l původním typem alkoholu.

³⁵ U některých vzorků jsme zaznamenali netypické chování, a proto byly znovu opakovány. To se týká zkumavek č. 13 a 32.

	Název suspenze	Množství Ca(OH) ₂ v suspenzi	Ředidlo suspenze		Název suspenze	Množství Ca(OH) ₂ [g/l]	Ředidlo suspenze
1	CaLoSiL® E25	30,28 g/l	-	9	CSGI E	5 g/l	98% etanol
2	CSGI E	11,35 g/l	-	10	CSGI E	5 g/l	Technický etanol
3	CSGI 1P	10,75 g/l	-	11	CSGI 1P	5 g/l	Propanol
4	ZFB 703i	77,64 g/l	-	12	ZFB 703i	5 g/l	Izopropanol
5	ZFB 734e	153,2 g/l	-	13	ZFB 734e	5 g/l	98% etanol
6	MBN Nf070	19,32 g/l	-	14	ZFB 734e	5 g/l	Technický etanol
7	CaLoSiL® E25	5 g/l	98% etanol	15	MBN Nf070	5 g/l	Izopropanol
8	CaLoSiL® E25	5 g/l	Technický etanol				

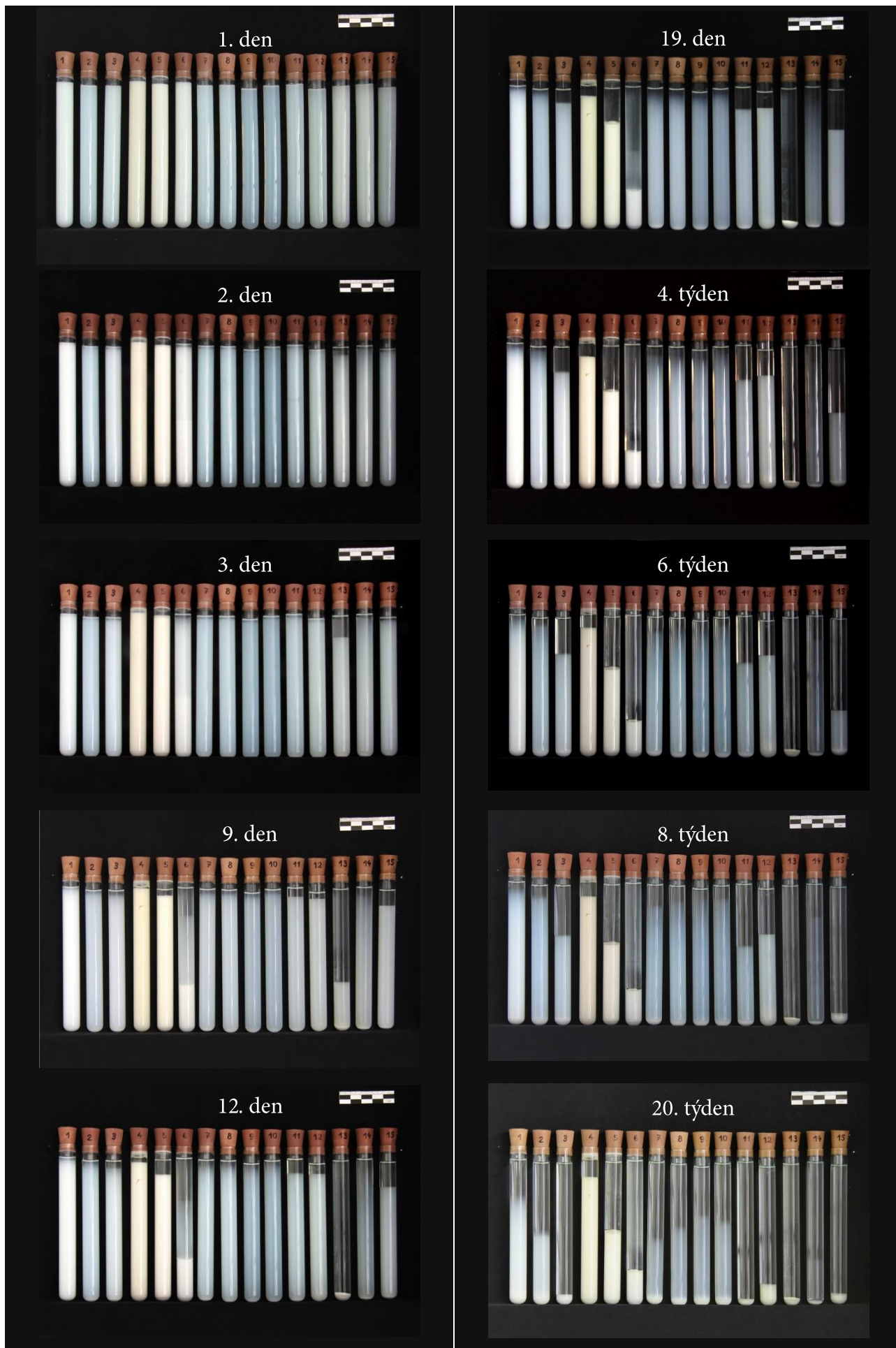
Tab. 1 Označení a koncentrace suspenzí ve zkumavkách (Obr. 8)



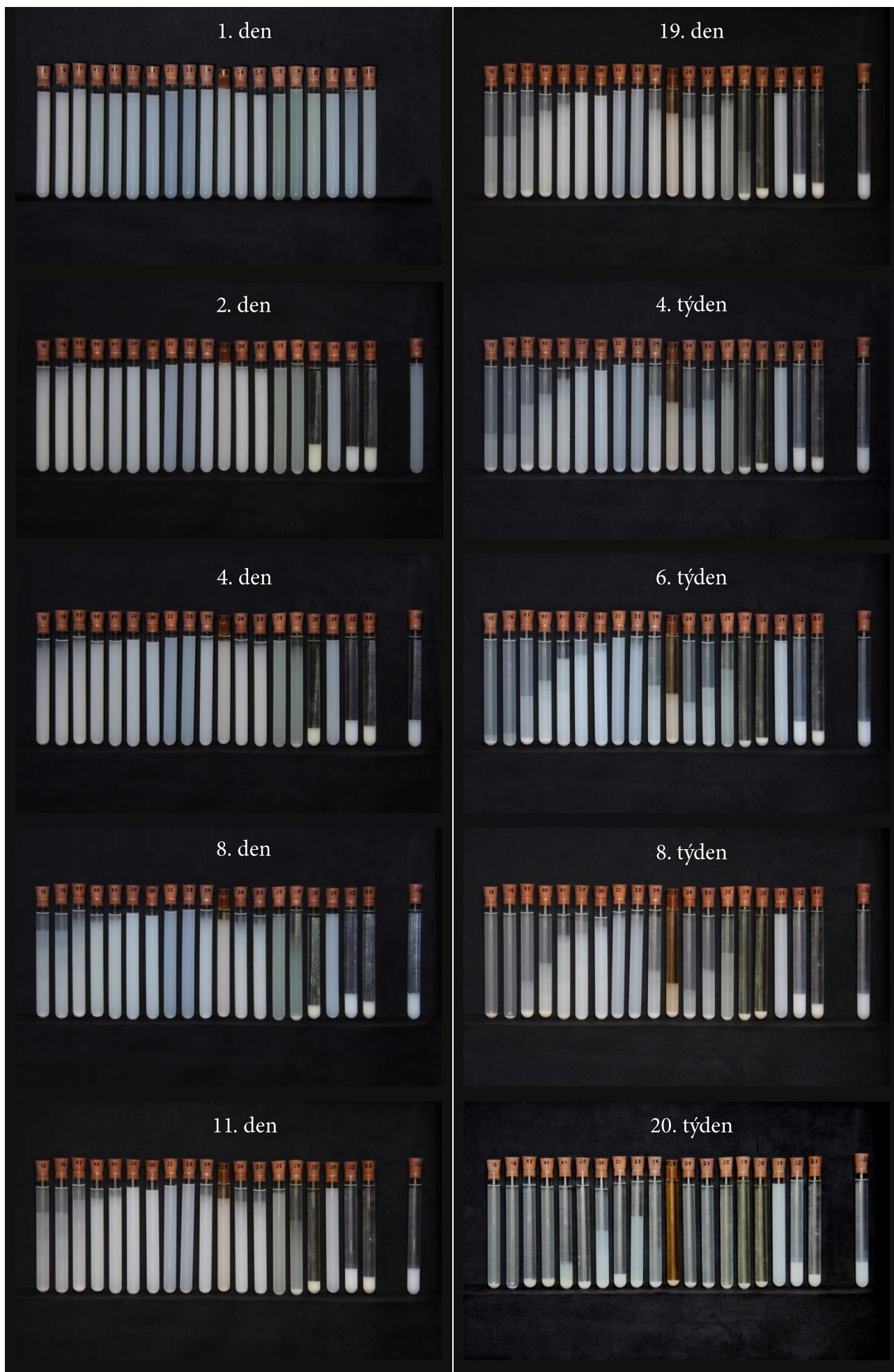
Obr. 9: Zkumavky označené čísly 13 a 16–27 jsou vápenné suspenze ředěné na 5g/l, v dalších (28–33) jsou směsi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité

	Název suspenze	Množství Ca(OH) ₂ v suspenzi	Ředidlo suspenze		Název suspenze	Množství Ca(OH) ₂ v suspenzi	Ředidlo suspenze		
13	ZFB 734e	5 g/l	Absolutní líh Penta	28	<i>Směs 1:1</i> CaLoSiL [®] E25 + KSE 300 HV	10 g/l	Absolutní líh Penta		
16	ZFB 734e	5 g/l	Technický líh		29	<i>Směs 1:1</i> CSGI E + KSE 300 HV	10 g/l	Absolutní líh Penta	
17	ZFB 734e	5 g/l	Isopropanol			30	<i>Směs 1:1</i> ZFB 703i + KSE 300 HV	10 g/l	Absolutní líh Penta
18	ZFB 703i	5 g/l	Absolutní líh Penta		31		<i>Směs 1:1</i> CaLoSiL [®] E25 + KSE 300 E	10 g/l	Absolutní líh Penta
19	ZFB 703i	5 g/l	Technický líh Penta				32	<i>Směs 1:1</i> CSGI E + KSE 300 E	10 g/l
20	CaLoSiL [®] E25	5 g/l	Technický líh			32b		<i>Směs 1:1</i> CSGI E + KSE 300 E	10 g/l
21	CaLoSiL [®] E25	5 g/l	Isopropanol				33	<i>Směs 1:1</i> ZFB 703i + KSE 300 E	10 g/l
22	CSGI E	5 g/l	Technický líh		26	MBN Nf070		5 g/l	Absolutní líh Penta
23	CSGI E	5 g/l	Isopropanol			27		MBN Nf070	5 g/l
24	CSGI 1P	5 g/l	Absolutní líh Penta						
25	CSGI 1P	5 g/l	Technický líh						

Tab. 2 Označení a koncentrace suspenzí ve zkumavkách (Obr. 9)



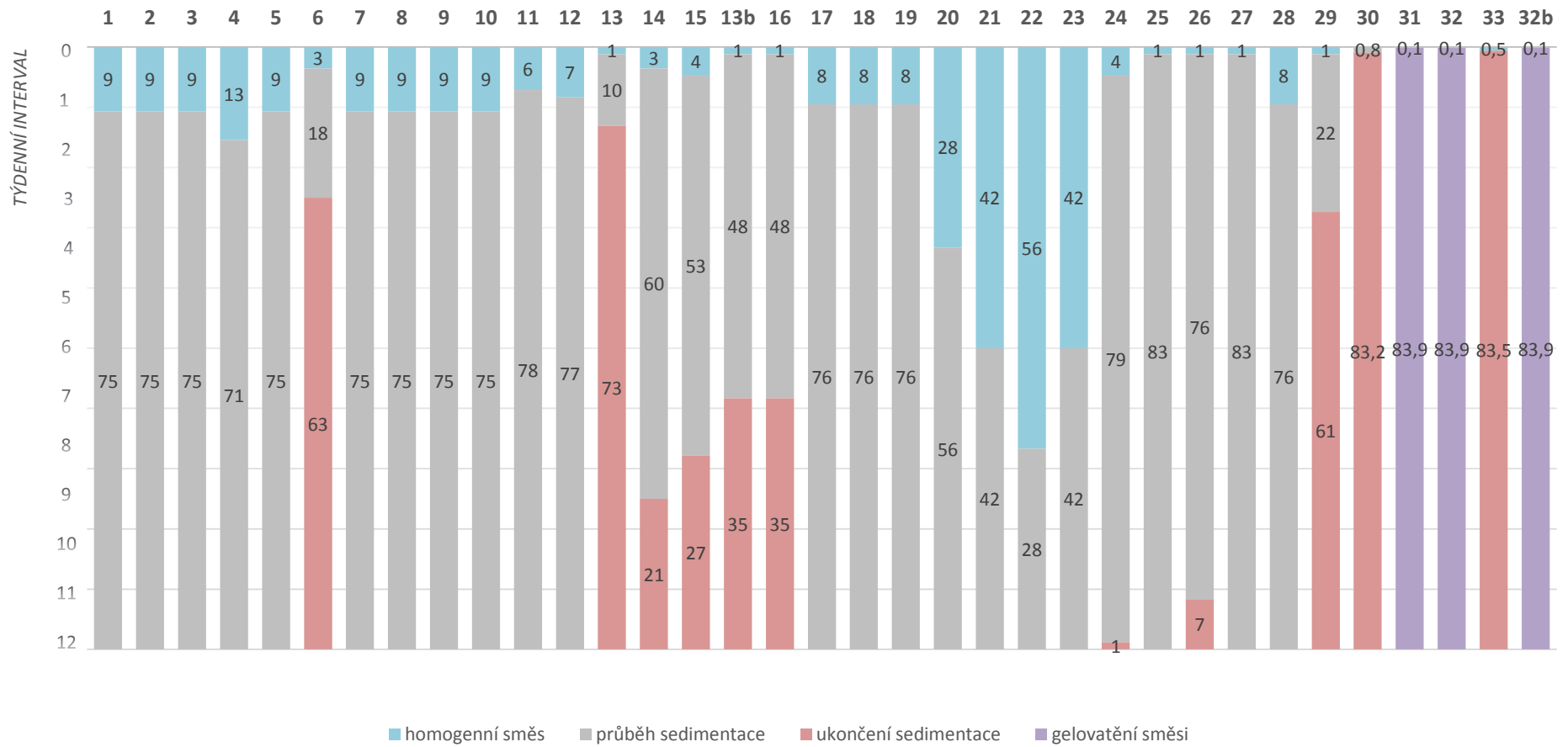
Tab. 3: Průběh sedimentace vzorků označených čísly 1 - 15



Tab. 4 Průběh sedimentace vzorků označených čísly 13 a 16 - 33

PRŮBĚH SEDIMENTACE

ČÍSLA ZKUMAVEK



Graf 1: Grafické znázornění rychlosti usazování pevné složky ve směsi. Sedimentace byla pozorována ve zkumavkách v průběhu 12 týdnů

2.4. Vyhodnocení sedimentace

U jednotlivých vápenných suspenzí a jejich směsí s estery kyseliny křemičité byla sledována sedimentace, a zaznamenávána rychlost a průběh usazování pevné složky ve směsi (viz Graf 1). Ve zkumavkách č. 1-6 se nachází neředěné suspenze. Konstantní homogenní rozložení částic $\text{Ca}(\text{OH})_2$ si na nejdelší dobu zachovaly vápenná suspenze *CaLoSiL® E25*, a vápenná suspenze *CSGI E*. Naopak nejméně stabilní byla suspenze *MBN Nf070*, která se začala usazovat již po několika dnech.

Ostatní suspenze byly připraveny v koncentraci 5g/l v různých rozpouštědlech. Zajímavé pro praktické využití může být porovnání stability suspenzí v 98% a v technickém etanolu. Pozorováním bylo možné vysledovat nepřítomnost negativních účinků při ředění vápenných suspenzí technickým lihem. Došlo dokonce k tomu, že suspenze *CSGI E* ředěná v technickém etanolu, se projevila jako nejstabilnější ze všech zkoumaných produktů (ve zkumavce č. 22), a to včetně produktů neředěných. I u jiných suspenzí lze doložit lepší nebo přinejmenším srovnatelnou stabilitu v lihu technickém než v 98% lihu. Velmi dobré účinky byly zaznamenány při ředění etanolvých suspenzí *CSGI E* a *CaLoSiL®* isopropanolem, konkrétně u zkumavek označených čísly 21 a 23.

V posledních zkumavkách, označených čísly 28 - 33 byly připraveny směsi vápenných suspenzí s konsolidanty na bázi esterů kyseliny křemičité. Téměř u všech použitých suspenzí se jevilo jako nevhodné kombinování s elastifikovaným produktem *KSE 300E*. Již v prvních dnech zde docházelo k reakci a zgelovatění směsi. Podstatně lepší výsledky umožňuje kombinace vápenných suspenzí s *KSE 300 HV*. Podle provedených zkoušek v kombinaci s *KSE 300 HV* nejlépe obstála suspenze *CaLoSiL® E25* v koncentraci 10g/l (směs v poměru 1:1). Pro produkty s označením *KSE 100* a *KSE 300* nebyly zkoušky sedimentace prováděny.

2.5. Příprava zkušebních panelů

Aby mohly být porovnávány a zdokumentovány účinky vybraných typů konsolidačních prostředků, byly připraveny dva omítkové panely s modelově vytvořenou simulací degradované barevné vrstvy.

Zkušební panely jsou opatřeny dvouvrstvou vápennou omítkou s nízkým obsahem pojivové složky. Povrch intonaca byl utažen a vyfilcován. Na jemnozrnný povrch intonaca byla štětcem ve dvou vrstvách nanесena barevná vrstva **bez obsahu pojiva**. Abychom se co nejvíce přiblížili simulované degradované malbě ve fresce či vápenném seccu, byla k pigmentu přidána mramorová moučka, tedy uhličitán vápenatý, který je v barevné vrstvě běžně pojivem, někdy i plnivem.



Obr. 10 Průběh přípravy zkušebních panelů, nanесení arriccio



Obr. 11 Průběh přípravy zkušebních panelů, nanесení intonaca s nižším obsahem pojiva

Použité materiály:

Arriccio:

- 1 díl vápenné kaše
- 4 díly písku

Intonaco:

- 1 díl vápenné kaše
- 2 díly mramorové moučky
- 5 dílů písku

Barevná vrstva:

- 3 díly pigmentu - Umbra pálená
- 1 díl mramorové moučky - $\text{Ca}(\text{CO})_3$
- 10 dílů destilované vody



Obr. 12 Průběh přípravy zkušebních panelů, nanесení barevné vrstvy

2.6. Zkoušky konsolidačních prostředků na panelech

Dva zkušební omítkové panely o velikosti 100x50 cm byly rozděleny čtvercovou sítí na celkem 100 polí o velikosti 9x9 cm. Konsolidant byl nanesen postříkem pomocí jemného rozprašovače až do stavu nasycení substrátu, tedy do chvíle, kdy suspenze začínala po dobu delší než několik sekund zůstat na povrchu. Byly zkoušeny kombinace vápenných suspenzí s různými rozpouštědly o koncentracích 5g Ca(OH)₂/l a 10g Ca(OH)₂/l. Dále byly testovány směsi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité.

Jednotlivé zkoušky jsou zaznamenány v tabulkách 3 a 4. Každé okno tabulky obsahuje údaje o aplikacích prostředků v daném poli na zkušebním panelu, názvy konsolidantů a počty kol aplikace. U vápenných suspenzí byly uvedeny koncentrace, typy rozpouštědel, a zda po aplikacích následovala vlhčení vodou. Žádná ze zkoušek řady A se nezdařila (pro aplikaci příliš velkého množství vody) a proto byly zkoušky znovu aplikovány v řadě B. Relativní vzdušná vlhkost a množství oxidu uhličitého ve vzduchu byly průběžně monitorovány. Při aplikaci konsolidantů se relativní vzdušná vlhkost pohybovala v rozmezí 35 – 40% RH. Po skončení cyklu zkoušek byl panel vždy umístěn pod vzduchotěsnou folii s udržovanou relativní vlhkostí kolem 55-65%. Teplota vzduchu byla zaznamenána v rozmezí 20-22°C.

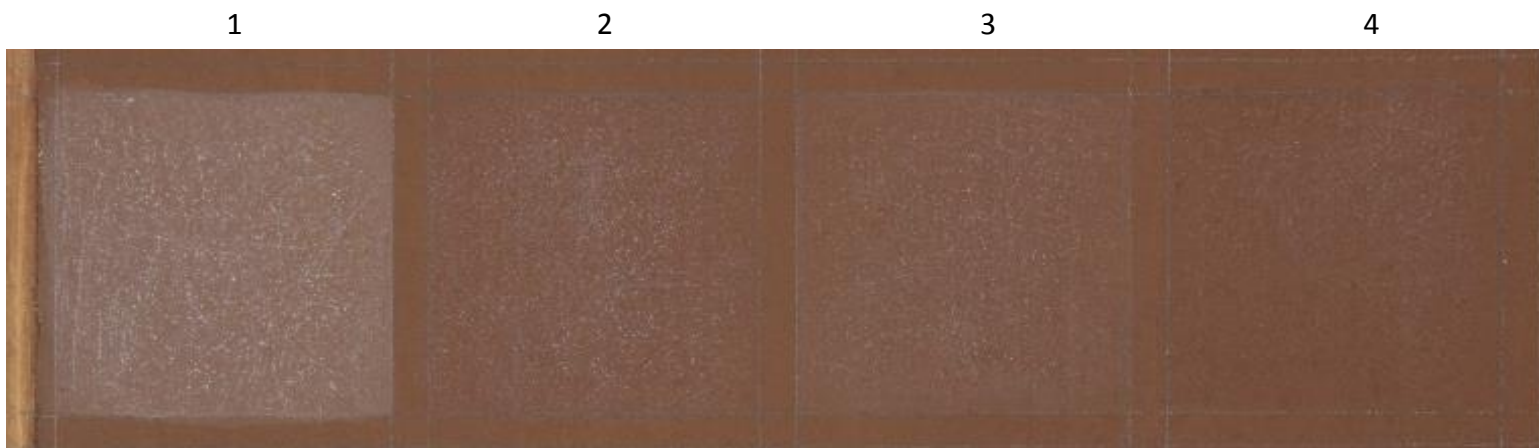
Ve zkouškách by mělo být zahrnuto subjektivní i objektivní hodnocení míry zpevnění a estetických změn. Míra zpevnění po nanesení konsolidačních prostředků byla hodnocena jak subjektivně, tedy pomocí stěrů vatovými tyčinkami, tak i objektivně, tedy odtrhovým testem (*Scotch Tape Test*). Vizuální změny byly posuzovány subjektivně podle *Škály intenzity nežádoucích efektů* v Tab. 5 (s. 44) a porovnávány s objektivními výsledky měření spektrofotometrem.



Obr. 13: Testování na zkušebním panelu I, stav po aplikaci všech zpevňujících prostředků

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Nezpevněno H ₂ O	MBN Nf070 5g/l Isopropanol aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	ZFB 734e 5g/l technický líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	ZFB 734e 5g/l absolutní líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	ZFB 703i 5g/l Isopropanol aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CSGI 1P 5g/l Propanol aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CSGI E 5g/l technický líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CSGI E 5g/l absolutní líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CaLoSiL® E25 5g/l technický líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CaLoSiL® E25 5g/l absolutní líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)
B	ZFB 703i 5g/l technický líh aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	MBN Nf070 5g/l Isopropanol aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	ZFB 734e 5g/l technický líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	ZFB 734e 5g/l absolutní líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	ZFB 703i 5g/l Isopropanol aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CSGI 1P 5g/l Propanol aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CSGI E 5g/l technický líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CSGI E 5g/l absolutní líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CaLoSiL® E25 5g/l technický líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)	CaLoSiL® E25 5g/l absolutní líh PENTA aplikováno 6x + H ₂ O (6x)
C	ZFB 703i 10g/l technický líh aplikováno 3x + 3x H ₂ O	MBN Nf070 10g/l Isopropanol aplikováno 3x + 3x H ₂ O	ZFB 734e 10g/l technický líh PENTA aplikováno 3x + 3x H ₂ O	ZFB 734e 10g/l absolutní líh PENTA aplikováno 3x + 3x H ₂ O	ZFB 703i 10g/l Isopropanol aplikováno 3x + 3x H ₂ O	CSGI 1P 10g/l Propanol aplikováno 3x + 3x H ₂ O	CSGI E 10g/l technický líh PENTA aplikováno 3x + 3x H ₂ O	CSGI E 10g/l absolutní líh PENTA aplikováno 3x + 3x H ₂ O	CaLoSiL® E25 10g/l technický líh PENTA aplikováno 3x + 3x H ₂ O	CaLoSiL® E25 10g/l absolutní líh PENTA aplikováno 3x + 3x H ₂ O
D	ZFB 734e 5g/l absolutní líh PENTA aplikováno 6x 2x H ₂ O (po 6. aplikaci)	CSGI E 5g/l technický líh aplikováno 6x 2x H ₂ O (po 6. aplikaci)	CaLoSiL® E25 5g/l techn. líh 3xapl./ bez H ₂ O ZFB 734e 5g/l abs. líh 3x apl., 2x H ₂ O (po 3. aplikaci)	CaLoSiL® E25 5g/l technický líh aplikováno 6x 2x H ₂ O (po 6. aplikaci)	CSGI E 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV poměr 1:1 (aplikováno 1x)	CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV poměr 1:1 (aplikováno 1x)	CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh + KSE 300 E poměr 1:1 (aplikováno 1x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 HV (aplikováno 1x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 E (aplikováno 1x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 E (aplikováno 1x) KSE 500E (aplikováno 1x)
E	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 HV (aplikováno 1x) CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh (aplikováno 1x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 E (aplikováno 1x) CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh (aplikováno 1x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 HV (aplikováno 1x) CSGI E 10g/l absolut. líh (aplikováno 1x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 E (aplikováno 1x) CSGI E 10g/l absolut. líh (aplikováno 1x)	ZFB 703i 10g/l absolut. líh + KSE 300 E poměr 1:1 (aplikováno 1x)	ZFB 703i 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV poměr 1:1 (aplikováno 1x)	ZFB 703i 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV poměr 1:1 (aplikováno 2x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 HV (aplikováno 1x) CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh (aplikováno 2x)	KSE 100 (aplikováno 1x) KSE 300 HV (aplikováno 1x) CSGI E 10g/l absolut. líh (aplikováno 2x)	STANDARD (nezpevněno)

Tab. 5: Zkoušky na panelu I; modře jsou označeny vápenné suspenze aplikované samostatně, zeleně jsou zaznačeny vrstvené, po sobě aplikované prostředky na bázi esterů kyseliny křemičité. Červenou barvou jsou podbarveny směsi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité



Obr. 14: Pole v řadě D, na kterých byly zkoušeny vápenné suspenze bez následného vlhčení. Stav po 6. kole aplikace vápenných suspenzí.



Obr. 15: Pole v řadě D, stav po časově odloženém následném navlhčení vodou (celkem 2x navlhčeno). Z výsledku můžeme pozorovat, že i následné vlhčení (dokonce s odstupem několika hodin, či dokonce dní) může mít pozitivní efekt na zmírnění vzniklého zákalu.



Obr. 16: Testování na zkušebním panelu II, stav po aplikaci všech zpevňujících prostředků

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	ZFB 734e 5g/l technický líh PENTA aplikováno 8x + H ₂ O (8x)	CSGI 1P 5g/l Propanol aplikováno 8x + H ₂ O (8x)	ZFB 703i 10g/l technický líh PENTA aplikováno 4x + H ₂ O (4x)	CaLoSiL® E25 10g/l technický líh PENTA aplikováno 4x + H ₂ O (4x)	CaLoSiL® E25 10g/l absolutní líh PENTA aplikováno 4x + H ₂ O (4x)	CSGI E 10g/l absolutní líh + KSE 300HV směs 1:1 aplikováno 2x	CaLoSiL® E25 10g/l absolutní líh + KSE 300HV směs 1:1 aplikováno 2x	MBN Nf070 10g/l absolutní líh + KSE 300HV směs 1:1 aplikováno 1x	MBN Nf070 10g/l absolutní líh + KSE 300HV směs 1:1 aplikováno 2x	CaLoSiL® E25 10g/l absolutní líh + KSE 300HV směs 1:1 aplikováno 1x
B	KSE 100 + KSE 300 HV + CaLoSiL® E25 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 HV + CSGI E 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 HV + MBN Nf070 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 HV + CaLoSiL® E25 10g/l abs.líh 1:1:2	KSE 100 + KSE 300 HV + CSGI E 10g/l abs.líh 1:1:2	KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l abs.líh 1:1:2	KSE 100 + KSE 300 HV + MBN Nf070 10g/l abs.líh 1:1:2	ZFB 703i 10g/l absolutní líh + KSE 300HV směs 1:1 aplikováno 1x	ZFB 703i 10g/l absolutní líh + KSE 300HV směs 1:1 aplikováno 2x
C	KSE 100 + KSE 300 + CaLoSiL® E25 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 + CSGI E 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 + ZFB 703i 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 + MBN Nf070 10g/l abs.líh 1:1:1	KSE 100 + KSE 300 + CaLoSiL® E25 10g/l abs.líh 1:1:2	KSE 100 + KSE 300 + CSGI E 10g/l abs.líh 1:1:2	KSE 100 + KSE 300 + ZFB 703i 10g/l abs.líh 1:1:2	KSE 100 + KSE 300 + MBN Nf070 10g/l abs.líh 1:1:2	CaLoSiL® E25 10g/l absolutní líh + KSE 300 směs 1:1 aplikováno 1x	CaLoSiL® E25 10g/l absolutní líh + KSE 300 směs 1:1 aplikováno 2x
D	MBN Nf070 10g/l absolut. líh + KSE 300 poměr 1:1 (aplikováno 1x)	MBN Nf070 10g/l absolut. líh + KSE 300 poměr 1:1 (aplikováno 2x)	CSGI E 10g/l absolut. líh + KSE 300 poměr 1:1 (aplikováno 1x)	CSGI E 10g/l absolut. líh + KSE 300 poměr 1:1 (aplikováno 2x)	KSE 100 + KSE 300 + ZFB 703i 10g/l abs.líh směs 1:1:2 CaLoSiL® E25 5g/l tech. líh 2x	KSE 100 + KSE 300 + ZFB 703i 10g/l abs.líh směs 1:1:2 CSGI E 5g/l 5g/l tech. líh 2x	KSE 100 + KSE 300 + ZFB 703i 10g/l abs.líh směs 1:1:2 ZFB 703i 5g/l 5g/l tech. líh 2x	KSE 100 (apl.1x) KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l abs.líh CaLoSiL® E25 5g/l tech. líh 2x	KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l abs.líh 1:1:2 apl. 2x	
E	CSGI E 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV poměr 1:1 (aplikováno 2x)	CaLoSiL® E25 10g/l absolutní líh + KSE 300 HV směs 1:1 aplikováno 2x	ZFB 703i 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV směs 1:1 apl1x ZFB 703i 10g/l absolut. líh + KSE 100 směs 1:1 apl1x	CSGI E 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV směs 1:1 apl1x CSGI E 10g/l absolut. líh + KSE 100 směs 1:1 apl1x	CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV směs 1:1 apl1x CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh + KSE 100 směs 1:1 apl1x	ZFB 703i 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV směs 1:1 apl1x ZFB 703i 5g/l tech. líh aplikováno 4x + H ₂ O (4x)	CSGI E 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV směs 1:1 apl1x CSGI E 5g/l tech. líh aplikováno 4x + H ₂ O (4x)	CaLoSiL® E25 10g/l absolut. líh + KSE 300 HV směs 1:1 apl1x CaLoSiL® E25 5g/l tech. líh aplikováno 4x + H ₂ O (4x)		STANDARD (nezpevněno)

Tab. 6: Zkoušky na panelu I; modře jsou označeny vápenné suspenze aplikované samostatně, zeleně jsou zaznačeny vrstvené, po sobě aplikované prostředky na bázi esterů kyseliny křemičité. Červenou barvou jsou podbarveny směsi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité

3. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

3.1. **Metody posouzení vizuálních změn a míry zpevnění**





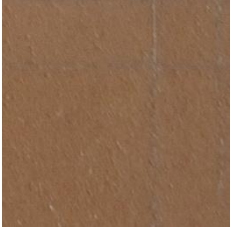







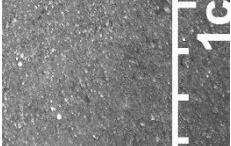
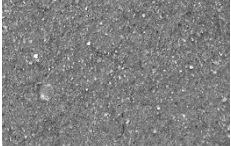
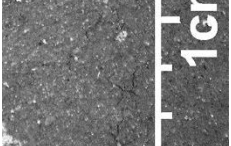
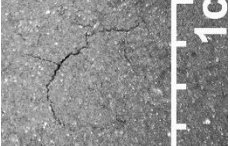
Po aplikaci zpevňovacích prostředků na zkušebních panelech byly sledovány změny vlastností barevné vrstvy. Aby bylo možné změny popsat a porovnat tak co nejjednodušeji jednotlivé zkoušky, byly vizuální změny hodnoceny číselnou stupnicí 0-3. Hodnota „0“ odpovídá neznatelným změnám, což značí **nejlepší výsledek**, tedy že nedošlo k žádným závažným optickým změnám po aplikaci prostředku. Čím se číselná hodnota zvyšuje, tím jsou odchylky, tedy i nežádoucí účinky po aplikaci prostředku větší. Pro hodnocení míry zpevnění se číselná stupnice uplatňuje obdobně, takže „0“ zde odpovídá **nejlepší míře zpevnění** v rámci testování. Z toho důvodu zde není zmiňována „míra zpevnění“, místo tohoto termínu je zde použit pojem „**sprašování**“ a **odtrhový test – množství odtrženého materiálu**“.

Pro hodnocení změn byla vytvořena tabulka č. 7 *Škála intenzity nežádoucích efektů*. Pro co nejobektivnější vizuální porovnání jsou do tabulky vloženy příklady jednotlivých stupňů negativních či pozitivních změn. Číselné intervaly by mohly pomoci objektivně vymezit a přehlednit získané výsledky z laboratorního měření.

Mezi objektivní metody zkoumání lze zařadit měření odchylek v barevnosti pomocí spektrofotometru. Z naměřených číselných hodnot, jež jsou uvedeny v příloze této práce, je možné zjistit míru/odchylku tmavnutí a bílého zákalu. Body měření byly graficky zaznačeny na obrázcích 21 a 22. Tyto výsledky mohou být porovnány s hodnocením subjektivním při vizuálním pozorování na základě porovnání se *škálou intenzity nežádoucích efektů* (Tab. 7). V rámci subjektivního pozorování byly zaznamenány i druhotné efekty, jako mikrotrhliny, šupinky a jiné defekty barevné vrstvy, které byly rovněž hodnoceny podle výše zmíněné škály. Při hodnocení bylo nemožné zachytit, že tmavnutí barevné vrstvy nebo tvorba bílého zákalu může být způsobena nejen typem směsi, ale i množstvím vody použité při následném vlhčení. Tomuto problému bylo předcházeno omezením množství vody použité při následném vlhčení jen na nezbytné minimum. Ani tak však není možné vyloučit určitý vliv na tmavnutí barevné vrstvy.

Míra zpevnění, sprášování či tvorba šupin barevné vrstvy byla posuzována subjektivně pomocí testu s vatovým tamponem a odtrhových testů s lepicí páskou (*Scotch Tape Test*). Fotografie odtrhových testů a testů sprášování jsou spolu s hodnocením změn dokumentovány v kapitole 3.2. *Výsledky měření a fotodokumentace zkoušek u jednotlivých polí na zkušebních panelech*

Škála intenzity nežádoucích efektů

	0 neznatelný	1 slabý	2 střední	3 silný
bílý zákal vizuální pozorování				
bílý zákal měření spektrofotometrem	$-\infty$ až $0,17 \Delta L^*$	$0,17$ až $0,7 \Delta L^*$	$0,7$ až $1,4 \Delta L^*$	$1,4$ až $\infty \Delta L^*$
tmavnutí vizuální pozorování				
tmavnutí měření spektrofotometrem	∞ až $-0,6 \Delta L^*$	$-0,6$ až $-1,3 \Delta L^*$	$-1,3$ až $-1,9 \Delta L^*$	$-1,9$ až $-\infty \Delta L^*$
sprašování vizuální pozorování				
odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm^2	0 až 2,8mg	2,8 až 5,5mg	5,5 až 8,3mg	8,3 až 11mg
odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm^2	0 až 9,3mg	9,3 až 18,5mg	18,5 až 27,8mg	27,8 až 37mg
mikrotrhliny vizuální pozorování				

Tab. 7 Tabulka s metodami vyhodnocení změn a se stupni nežádoucích efektů, objevených po aplikacích konsolidačních prostředků.

3.1.1. Vizualní pozorování

Bílý zákal

Bílý zákal byl hodnocen subjektivně na základě porovnání snímků pořízených pomocí USB mikroskopu podle stupňů zákalů definovaných v tab. 7 se *Škálou intenzity nežádoucích efektů*. Všechny mikroskopické snímky jsou součástí jednotlivých karet zkušebních polí (viz kapitola 3.2). Takto byly hodnoceny stupně intenzity bílého zákalu:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	1	1	1	1	0	0	0	1	0	2
C	0	2	2	2	2	1	2	2	1	2
D	3	3	3	2	0	0	0	0	0	0
E	2	1	3	1	1	1	0	2	2	0

Tab. 8 Hodnocení intenzity bílého zákalu na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	2	2	0	2	2	3	1	0	0	1
B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	2	2	0	2	1	1	2	1	1	x
E	0	0	0	0	1	1	1	1	x	0

Tab. 9 Hodnocení intenzity bílého zákalu na panelu II

Tmavnutí

Intenzita míry tmavnutí byla posuzována subjektivně podle vizuálního porovnání a stupnice ztmavnutí v Tab. 7.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
C	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D	1	1	1	1	0	0	0	1	2	3
E	1	3	0	3	1	0	0	0	0	0

Tab. 10 Hodnocení intenzity tmavnutí na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3	3	2	3	2	3	1	1	2	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	1	0	0	2	2	2	2	1	x
E	2	2	1	1	1	0	0	0	x	0

Tab. 11 Hodnocení intenzity tmavnutí na panelu II

Sprašování

Míra sprašování byla posuzována subjektivně podle stěru provedeného vatovým tamponem (viz. fotografie u každého jednotlivého pole v kapitole 3.2.). Jedná se o jednu z metod, díky níž lze posoudit intenzitu zpevnění barevné vrstvy po aplikaci prostředku. Posuzovalo se množství ulpěného materiálu na vatě a porovnávalo se se stupnicí v tabulce 7.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	2	2	1	1	1	0	0	0	1	1
C	0	1	2	2	2	1	1	1	1	1
D	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2

Tab. 12 Hodnocení intenzity sprašování barevné vrstvy na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	0	2	0	0	0	1	1	0	0
B	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
C	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	1	0	0	x	2

Tab. 13 Hodnocení intenzity sprašování barevné vrstvy na panelu II

Mikrotrhliny

Výskyt mikrotrhlin by mohlo poukázat na nežádoucí účinky zpevňovacího prostředku či způsobu aplikace, který by mohl způsobovat pnutí a následnou degradaci barevné vrstvy. Velikost a množství případných trhlin bylo hodnoceno podle stupnice tohoto typu poškození v tabulce 7.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	0	0	1	2	2	2	0	0	2	3
C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 14 Hodnocení výskytu mikrotrhlin v barevné vrstvě na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0
B	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0
C	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0
D	0	0	0	1	1	0	0	0	0	x
E	0	0	0	0	1	0	0	0	x	0

Tab. 15 Hodnocení výskytu mikrotrhlin v barevné vrstvě na panelu II

3.1.2. Měření spektrofotometrem

Hodnota barevné difference (ΔE) zpevněné a nezpevněné barevné vrstvy na zkušebních panelech byla stanovena objektivní metodou. K měření byl použit přenosný spektrofotometr *CM-2600d Konica Minolta*, jenž umožňuje zaznamenávání hodnot barevného prostoru v systému *CIELAB*.³⁶

Barevná difference ΔE umožňuje číselně popsat „vzdálenost“ nebo „rozdíl“ dvou barev. Hodnota ΔL je jasová odchylka (přechod černá – bílá), hodnoty Δa a Δb představují rozdíly pozic v kolorimetrickém diagramu *CIE L*a*b** (a^* : zelená – červená, b^* : modrá – žlutá).

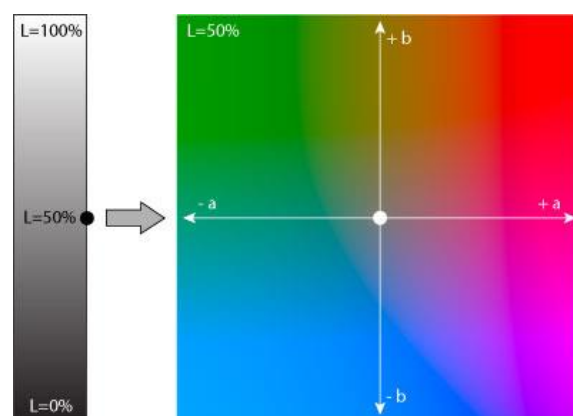
Celková barevná difference ΔE^* je mj. vyjádřena matematickým vzorcem:³⁷

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

$$\text{kde } \Delta L^* = L^*_{\text{bod 1-4}} - L^*_{\text{standard}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{bod 1-4}} - a^*_{\text{standard}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{bod 1-4}} - b^*_{\text{standard}}$$



Obr. 17 Kolorimetrický diagram *CIE L*a*b**³⁸

Porovnáním hodnocení míry optických změn podle celkové barevné difference a jasové odchylky vůči výsledkům vizuálního pozorování se ukázalo, že jsou pro tento výzkum podstatné hodnoty **jasové odchylky ΔL^*** . Číselné hodnoty jasové odchylky menší než 0, tedy záporné, odpovídají míře tmavnutí, naopak plusové hodnoty se zvyšují úměrně s hustotou bílého zákalu. V některých případech, kdy došlo zároveň k tmavnutí i k tvorbě bílého zákalu, se hodnota jasové odchylky vyrovnala, což může vyznívat jako zavádějící informace. Proto je třeba každý výsledek měření spektrofotometrem porovnat s výsledky vizuálního pozorování.

³⁶ ZMEŠKAL O., ČEPPAN M., DZIK P. *Barevné prostory a správa barev*. 2002, dostupné na: http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud06_rozn02.pdf

*CIE-L*A*B*-System*, http://www.colorsystm.com/?page_id=991&lang=en

³⁷ KAISER J., *Věrnost barevné tiskové reprodukce*, dostupné na:

http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB08/prispevky/052_kaiser.pdf

³⁸ Dostupné na: http://www.fotoroman.cz/glossary2/3_lab.htm

Měření míry bílého zákalu

Hodnota souřadnic prostoru *CIELAB* pro každé měření byla získána automatickým zprůměrováním tří po sobě jdoucích měření (v prostoru šablony o velikosti 20x15mm). Průměr měřené plochy (štěrbiny) byl 10 mm.

Měření probíhalo při vestavěném osvětlení - denním světle D65, s teplotou chromatičnosti 6504K s blízkou částí UV spektra (nastaveno 100%) dle *CIE* standardu v barevném prostoru *CIE 1976* (*CIELAB*). Zdrojem osvětlení byla xenonová výbojka. Zapisovaly se hodnoty *SCI* (Specular component included), což znamená měření včetně zrcadlové složky odrazu. Hodnoty *SCE* vyjadřují měření bez lesku, tyto údaje nebyl v dokumentaci zaznamenávány.

Pro dosažení objektivnějšího způsobu měření bílého zákalu byla měřena hodnota souřadnic v rámci zkušebního pole celkem na čtyřech různých místech. Všechny body měření byly zaznamenány graficky na fotografii (Obr. 21, 22). Měření v **bodě 1** bylo zpravidla na místě nejsilnějšího zákalu, měření v **bodě 2** by mělo odpovídat nejmenšímu zákalu a **body 3 a 4** podle převažujícího stavu.



Obr. 18 Ukázka označení míst měření bílého zákalu (body 1-4) spektrofotometrem na zkušebním panelu.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 16 Hodnocení intenzity bílého zákalu na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
B	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
C	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	2	2	2	3	3	2	3	1	1	1

Tab. 17 Hodnocení intenzity bílého zákalu na panelu II

Měření míry tmavnutí

U měření míry tmavnutí byly v některých případech využity hodnoty naměřené a zprůměrované při měření míry bílého zákalu (viz Grafické označení míst měření). Ve zkouškách s převažující plochou bílého zákalu byla použita k měření štěrbina o průměru 5mm, pomocí které bylo možné měřit v místech mimo nerovnoměrný bílý zákal, či v místech jeho menší intenzity a porovnat tak naměřené hodnoty ztmavnutí barevné vrstvy.

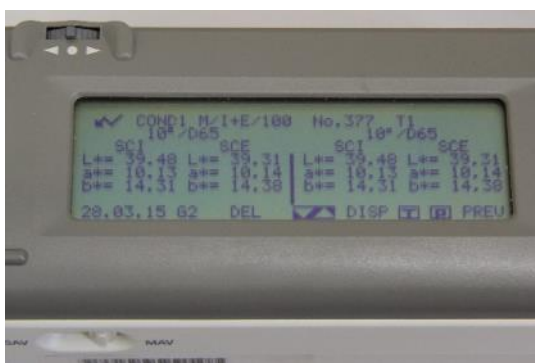
Výsledky měření, které pro svou objemnost nebyly do této práce zařazeny, byly převedeny na hodnoty od 0 do 3 podle tabulky č. 7. Počítán byl vždy průměr naměřených odchylek souřadnice ΔL^* u bodů 1 – 4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	1	0	1	3	2	1	1	1	1	1
C	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
D	0	0	0	0	2	1	3	0	1	1
E	1	3	1	3	0	1	1	1	2	0

Tab. 18 Hodnocení intenzity tmavnutí na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0	1	1	0	3	1	0	0	2	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	1	1	1	2	2	0	0
E	1	1	1	3	2	0	1	0	0	0

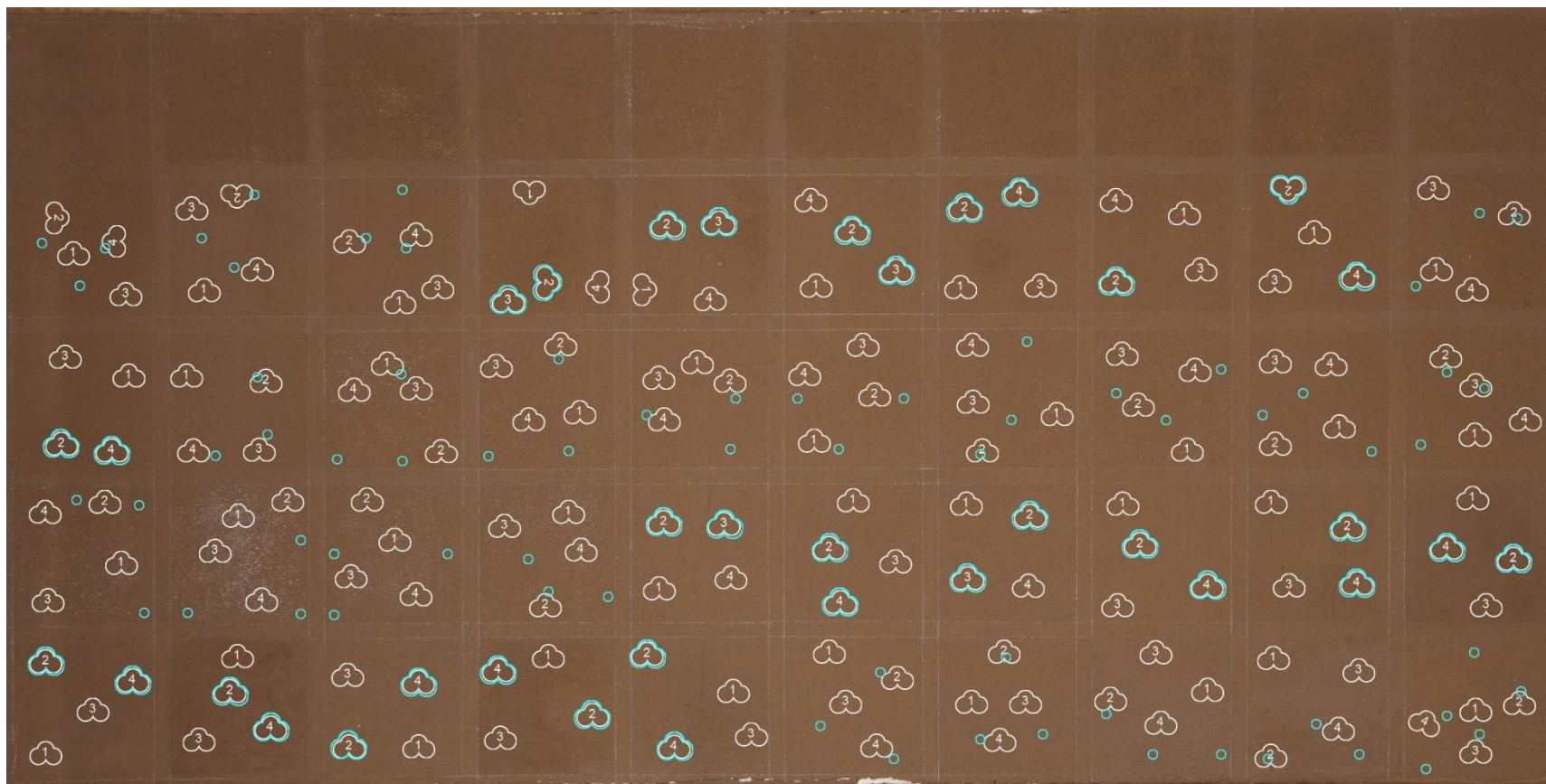
Tab. 19 Hodnocení intenzity tmavnutí na panelu II



Obr. 19 Detail displeje spektrofotometru CM-2600d v průběhu měření

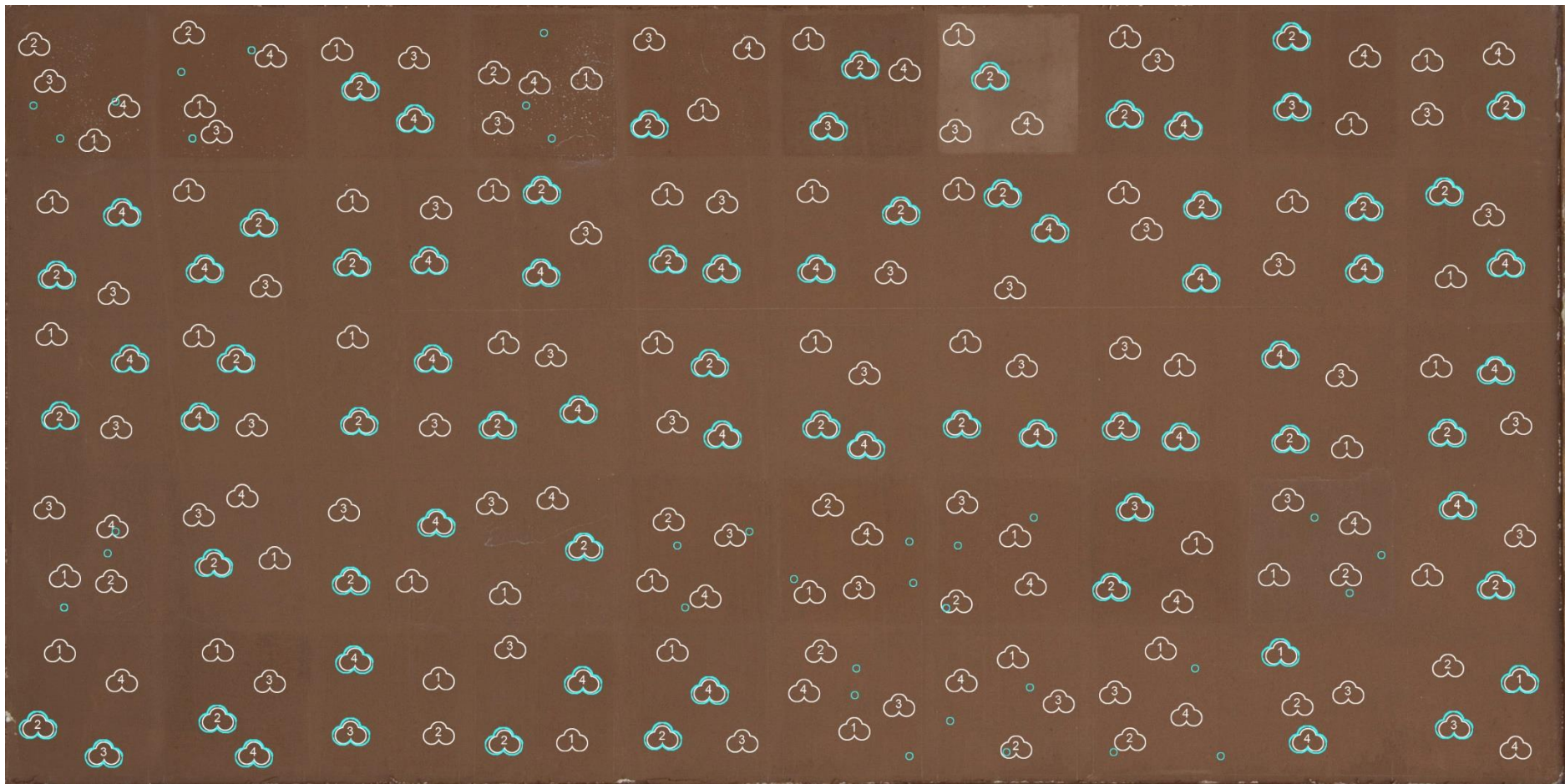


Obr. 20 Spektrofotometr CM-2600d



Obr. 21 Zákres bodů měření spektrofotometrem na zkušebním panelu I.

- **Bílé** značky s čísly značí plochu šablony, v níž byly hodnoty L^* , a^* b^* získány automatickým zprůměrováním tří po sobě jdoucích měření. Tyto údaje sloužily k stanovení míry bílého zákalu.
- **Modře** zaznačené či obtažené body odpovídají místům, v nichž byly naměřeny hodnoty pro stanovení míry tmavnutí



Obr. 22 Zákres bodů měření spektrofotometrem na zkušebním panelu II

3.1.3. Odrhový test (Scotch Tape Test)

Odrhový test patří k objektivním metodám posuzování míry zpevnění. Měřeno je množství odtrženého materiálu pomocí lepicí pásky. Podle množství a způsobu odtržení barevné vrstvy lze posoudit, do jaké hloubky a intenzity došlo ke zpevnění. Výsledky nicméně ukázaly, že test může být značně zavádějící, protože u nezpevněného vzorku bylo při testu odebráno srovnatelné množství materiálu jako u velmi dobře zpevněných vzorků. Stejně tak může zlepšení koheze doprovázet nedostatečná adheze, tedy oddělování šupin barevné vrstvy od podkladu.

Zaznamenávána je váha pásky před a po aplikaci. Rozdíly hodnot v mg jsou přiloženy společně s fotodokumentací u každého vzorku. K měření byla použita elektronická digitální laboratorní váha *KERN PLJ* s citlivostí $d=0,001\text{g}$.

Celkem 7 vybraných typů lepicích pásek bylo testováno v totožném poli (A10) na panelu I. Mezi požadovanými vlastnostmi pásek byla snadná manipulace a přiměřená lepivost (příliš intenzivní lepivost poskytuje u barevné vrstvy těžko porovnatelné hodnoty), popřípadě transparentnost, která pomáhá k lepší kontrolovatelnosti testu. K prvnímu testování byla zvolena páska *Pritt* od firmy *Henkel* pro svou nižší lepivost a průhlednost (lepší kontrolovatelnost). Při srovnávacím testování byla použita více adhezivní oboustranná lepicí páska *Tesa*®.



Obr. 23 Testované lepicí pásky s různou lepivostí a velikostí. K odtrhovému testu I byla zvolena třetí páska zleva.

Odrhový test I

K testu I byla použita méně lepivá páska *Pritt* (*Henkel*). Vymezená lepicí plocha pásky byla ve všech zkouškách 20x20mm (+/-1mm). Páska byla nalepena na testovanou barevnou vrstvu a rovnoměrně prsty přitlačena. Po 25 minutách byla odtržena v úhlu cca 45-60°.

Páska byla označena číslem pole, na kterém byla testována a byla zvážena před a po aplikaci testu. Rozdíl obou vah odpovídá množství odtrženého materiálu. Podle vymezeného intervalu v tabulce č. 7 byla zkoušce přiřazena hodnota 0-3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	1	1	2	2	0	1	1	1	3	1
C	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

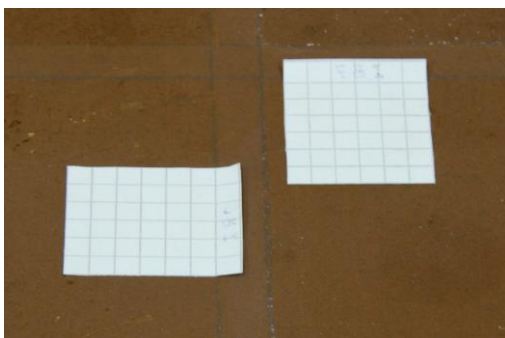
Tab. 20 Hodnocení výsledků z odtrhového testu I na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	x
E	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0

Tab. 21 Hodnocení výsledků z odtrhového testu I na panelu II

Odrhový test II

K testu I byla použita více lepicí páska Tesa®, která byla přilepena na normovaný čtverečkový papír a po té rozstříhána na stejné díly. V horní části byl ponechán nepolepený pruh papíru pro označení. Vymezená lepicí plocha pásky byla ve všech zkouškách 30x30 mm. K barevné vrstvě byla páska přitlačena rovnoměrně prsty a ponechána po dobu 3 minut. Poté byla odtržena plynulým tahem v úhlu cca 45-60°. Páska byla zvážena před i po testování včetně ochranné žluté folie a uzavíratelného PVC sáčku. Tato metoda byla doporučena v odborném článku o standardizaci odtrhových testů při zpevňování kamenných povrchů.³⁹



Obr. 24: Aplikace oboustranné lepicí pásky



Obr. 25: Páska po aplikaci připravená ke zvážení

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	1	2	2	3	2	3	2	3	3	3
C	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2
D	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2
E	0	0	0	0	3	3	3	0	2	0

Tab. 22: Hodnocení výsledků odtrhového testu II na panelu I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	3	3	2	2	0	0	3	2	1
B	0	0	0	0	1	2	2	2	0	2
C	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
D	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1
E	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1

Tab. 23 Hodnocení výsledků z odtrhového testu II na panelu II

³⁹ DRDÁČKÝ M., JAROSLAV LESÁK J., RESCIC S., ZUZANA SLÍŽKOVÁ Z., TIANO P., VALACH J. Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces. *Materials and Structures* (2012) 45, s. 505–520

3.2. Výsledky měření a fotodokumentace zkoušek u jednotlivých polí na zkušebních panelech

Každé pole, na němž byly provedeny zkoušky zpevnování, je podrobně popsáno (je zde uveden konsolidační prostředek, množství a způsob aplikace) a přiložena je fotodokumentace pole po aplikaci konsolidantu a po provedení zkoušek zpevnění. Hodnoty jednotlivých měření a subjektivních posuzování byly zaznamenány do tabulek č. 6 – 23, z nichž každá odpovídala jiné metodě posuzování změn. Tytéž hodnoty jsou pak seskupeny k informacím o každém poli zvlášť na jednotlivých kartách v této kapitole. Přesné výsledky měření a výpočty nejsou v této práci obsaženy, avšak jsou dostupné v diplomové práci Lenky Sloukové⁴⁰. Pro možnost porovnání všech testů současně, byly vytvořeny barevné grafy s hodnotami pro každou řadu zvlášť.

Hodnota „**0**“ znamená **neznatelné** nežádoucí efekty

„**1**“ znamená **slabé** nežádoucí efekty

„**2**“ znamená **střední** nežádoucí efekty

„**3**“ znamená **silné** nežádoucí efekty

⁴⁰ Slouková L., *Restaurování výjevu s označením „Archangeli“ na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově*, Diplomová práce, Litomyšl, 2015

3.2.1. Zkoušky na panelu I – řada A, řada B



V řadě A jsme aplikovali vápenné suspenze v koncentraci 5 g/l v celkem 6 cyklech. Po každé aplikaci následoval postřik demineralizovanou vodou pro omezení tvorby bílého zákalu. K následnému vlhčení jsme použili běžný rozprašovač. Ukázalo se, že zpráškovatělá barevná vrstva se při nadměrném množství aplikované vody začala oddělovat od podkladu a nadzvedávat ve formě malých puchýřů (zřejmě vlivem hydratování pigmentu). Všechny typy mechanických rozprašovačů se jevily pro naše potřeby jako nevhodné, proto jsme se rozhodli použít na ostatní pole jiný, plynový rozprašovač *Preval Sprayer*. V řadě B jsme proto aplikovali suspenze znovu, ve stejném pořadí a počtu cyklů jako v řadě A.

I B1	
ZFB 703i 5g/l technický etanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: 6x H ₂ O Množství: 12,8 ml (3 + 2,5 + 1,5 + 1,5 + 2,3 + 2)

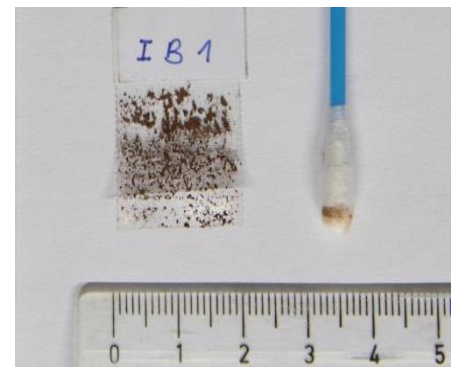


Pole B1 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	2
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odtrhový test I

	Legenda: Žlutá Odtrh. test I Bílá Odtrh. test II Růžová Stěr vatovou tyčinkou
Pole po zkouškách zpevnění	



Odtrhový test II

I B2

MBN Nf070

5g/l Isopropanol

Aplikace: 11.4.2014

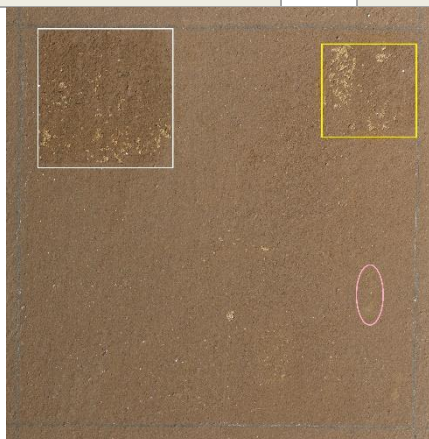
Počet cyklů: 6x

Vlhčení: 6x H₂O

Množství: 14 ml (2 + 2 + 1,8 + 2,5 + 3,2 + 2,5)

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	2
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



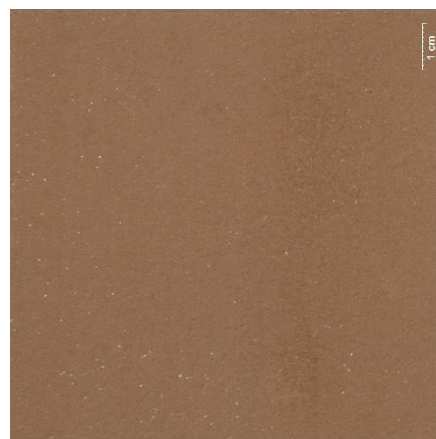
Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

Bílá Odtrh. test II

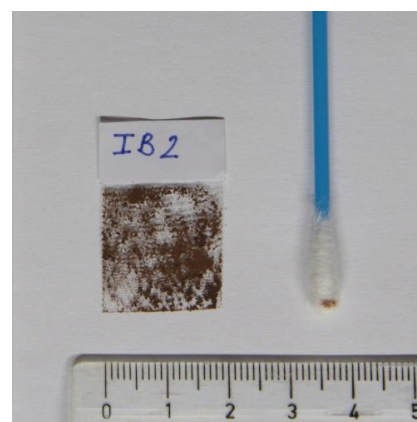
Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Pole B2 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Odtrhový test II

I B3

ZFB 734e

5g/l Technický etanol

Aplikace: 11.4.2014

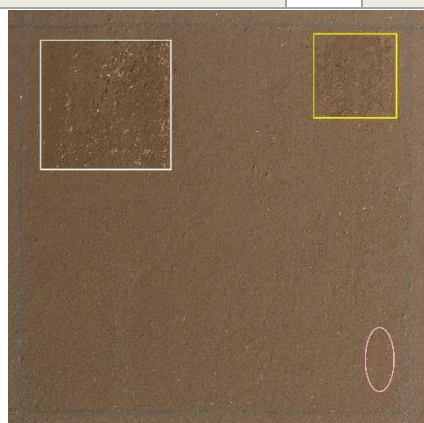
Počet cyklů: 6x

Vlhčení: 6x H₂O

Množství: 12,2 ml (2,5 + 2 + 1,3 + 1,2 + 2,8 + 2,4)

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

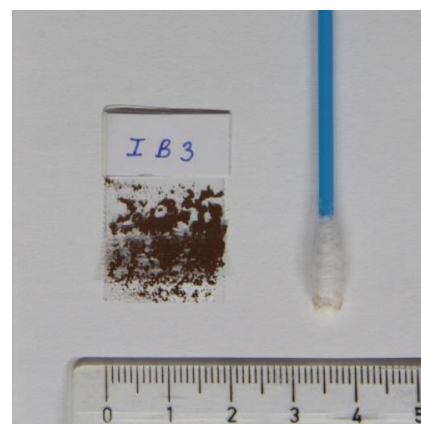
- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Pole B3 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Odtrhový test II

I B4

ZFB 734e

5g/l 98% etanol

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 6x

Vlhčení: 6x H₂O

Množství: 14,2 ml (2 + 2,7 + 1,5 + 2,5 + 3 + 2,5)

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

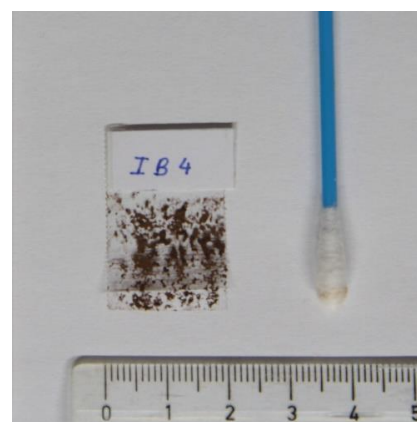
bílý zákal vizuální pozorování	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	2
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3



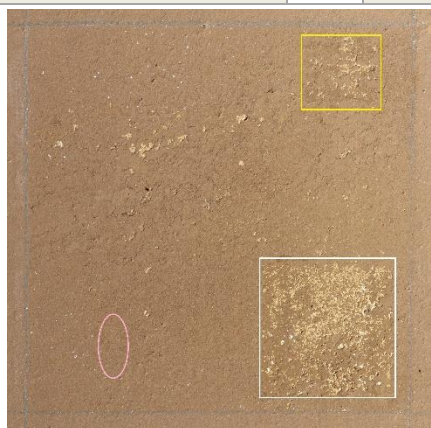
Pole B4 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

Bílá Odtrh. test II

Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I B5	
ZFB 703i 5g/l Isopropanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: 6x H ₂ O Množství: 13,8 ml (1,3 + 2,5 + 1,5 + 3 + 2,5 + 3)



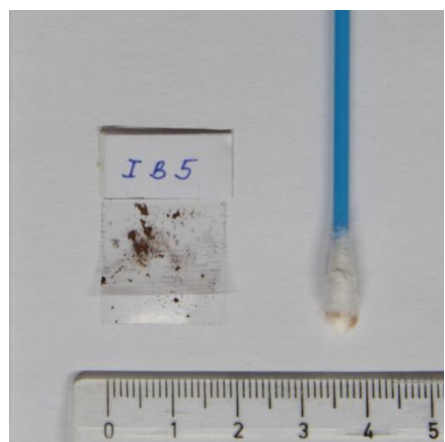
Pole B5 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

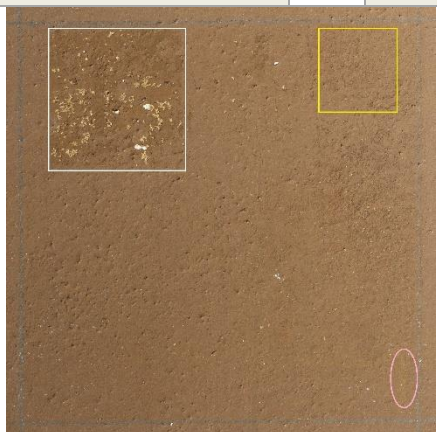
bílý zákal vizuální pozorování	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	2
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I B6	
CSGI 1P 5g/l Propanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: 6x H ₂ O Množství: 10,8 ml (2 + 2 + 1,3 + 1,7 + 1,8 + 2)



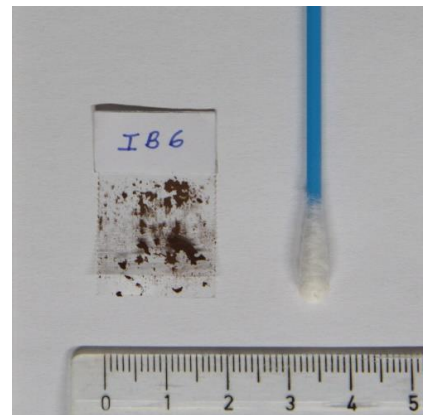
Pole B6 po zpevnění



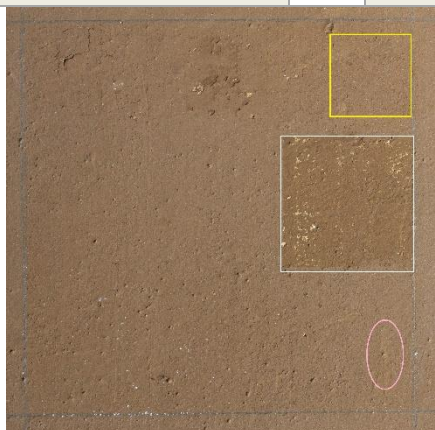
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	2
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

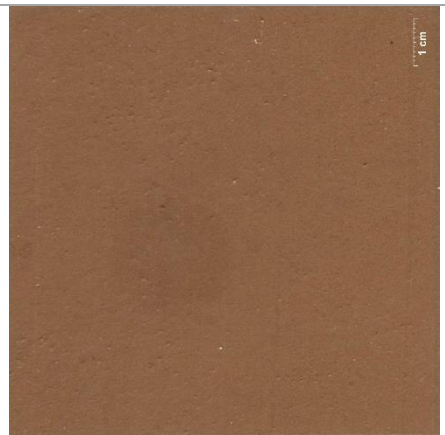
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I B7	
CSGI E 5g/l Technický líh Penta	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: 6x H ₂ O Množství: 15,8 ml (2,5 + 2,5 + 2 + 1,5 + 3,5 + 3,8)



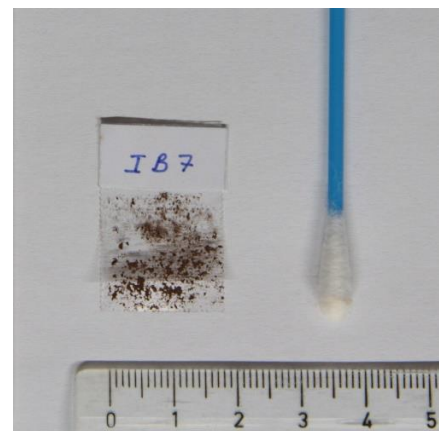
Pole B7 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

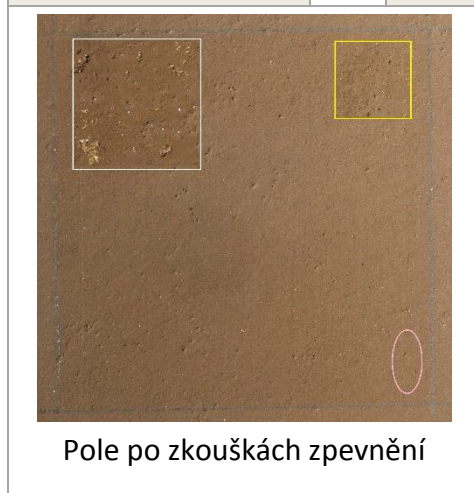
bílý zákal vizuální pozorování	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I B8	
CSGI E 5g/l Absolutní líh Penta	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: 6x H ₂ O Množství: 14,2 ml (2 + 2 + 2 + 2,5 + 2 + 3,7)



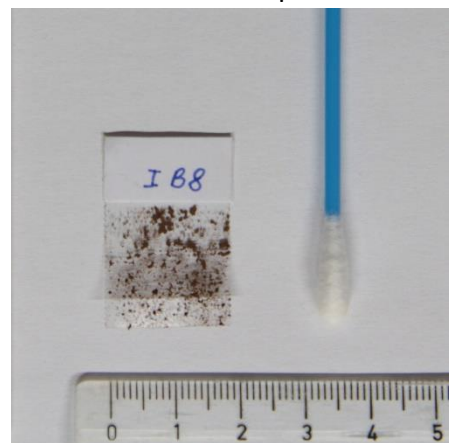
Pole B8 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I B9

CaLoSiL® E25
5g/l Technický etanol

Aplikace: 11.4.2014

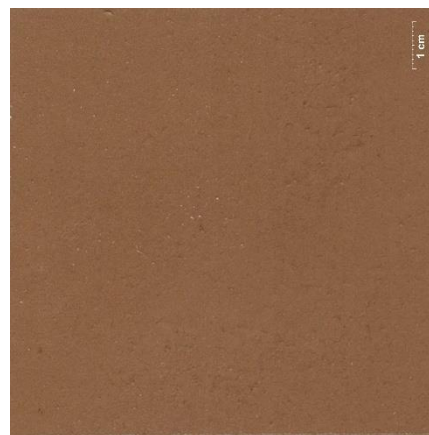
Počet cyklů: 6x

Vlhčení: 6x H₂O

Množství: 14,25 ml (2,75
+ 3,5 + 2,5 + 2 + 1,5 + 2)

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

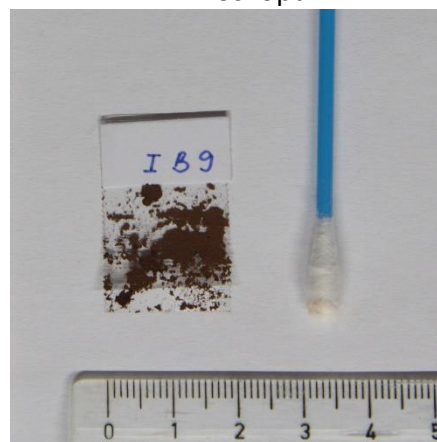
bílý zákal vizuální pozorování	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	2
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3



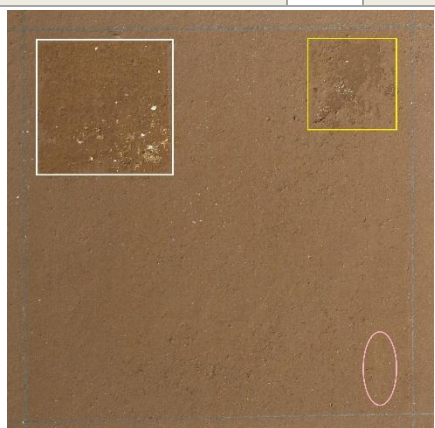
Pole B9 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

Bílá Odtrh. test II

Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I B10

CaLoSiL® E25

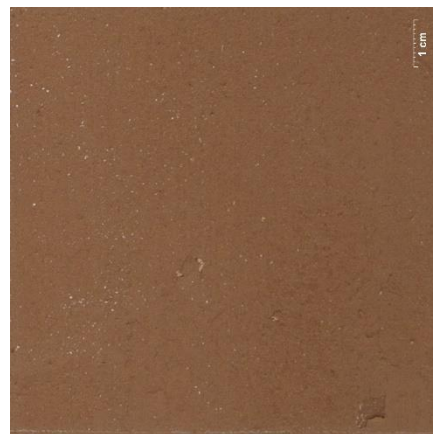
5g/l 98% etanol

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 6x

Vlhčení: 6x H₂O

Množství: 17,5 ml (4,5 + 2 + 3 + 2,5 + 2,5 + 3)



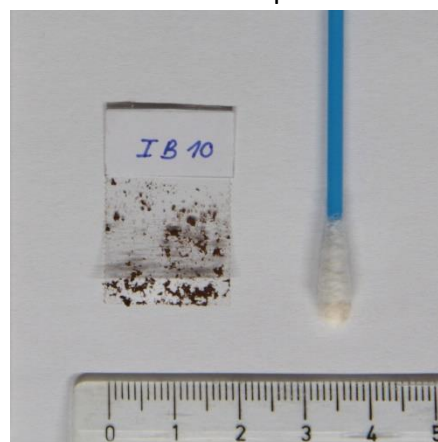
Pole B10 po zpevnění



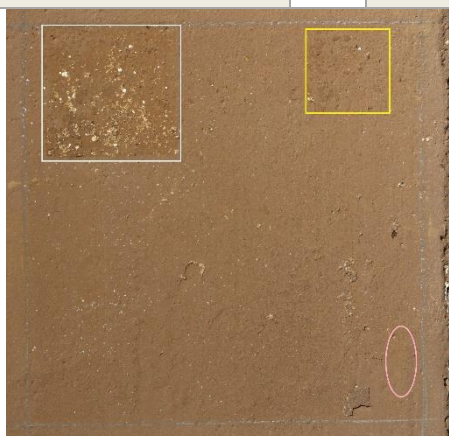
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	3
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

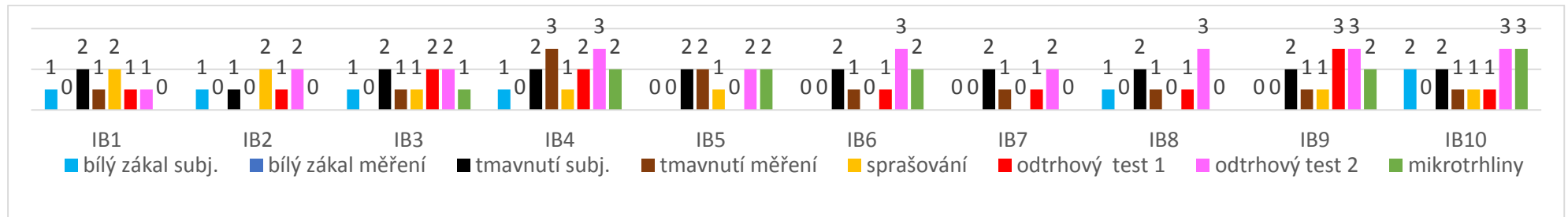
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel I, Řada B



Graf 2 Hodnocení nežádoucích efektů na panelu I, v polích 1 -10 řady B

V řadě B panelu I se projevíly dobré zpevňující účinky u řady produktů od CSGI. Ve všech případech použití tohoto konsolidantu nedocházelo k tvorbě výraznějšího bílého zákalu. Barevná vrstva se zdá být na základě otěru poměrně dobře zpevněná i u produktů CaLoSiL E25, ZFB 703i a MBN Nf070, i když výsledky odtrhového testu nejsou příznivé. Zřejmě došlo pouze ke zlepšení koheze barevné vrstvy, ne však ke zlepšení její adheze k podkladu. Obecně lze konstatovat, že v celé této řadě nedošlo díky vlhčení k tvorbě silného bílého zákalu. Nevýhodou vlhčení se však zdá být jeho vliv na mírné tmavnutí a pnutí barevné vrstvy, které lokálně vyústilo v tvorbu mikroprasklin a šupin.

3.2.2. Zkoušky na panelu I – řada C



V řadě C jsme zkoušeli stejné typy konsolidantů jako v řadě B, ale v odlišné koncentraci. Vápenné suspenze byly ředěny na koncentraci 10 g/l. Byly nanášeny celkem ve 3 kolech s následným vlhčením destilovanou vodou.

I C1	
ZFB 703i 10g/l Technický etanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 3x Vlhčení: 3x H ₂ O Množství: 5,3 ml (1,8 + 1,7 + 1,8)



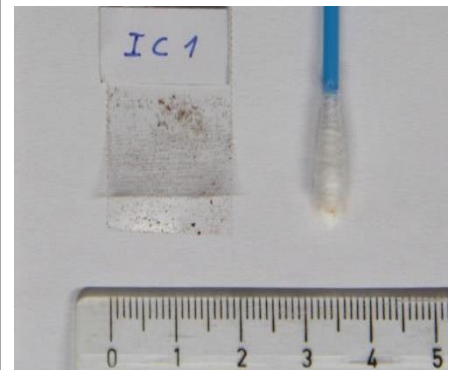
Pole C1 po zpevnění



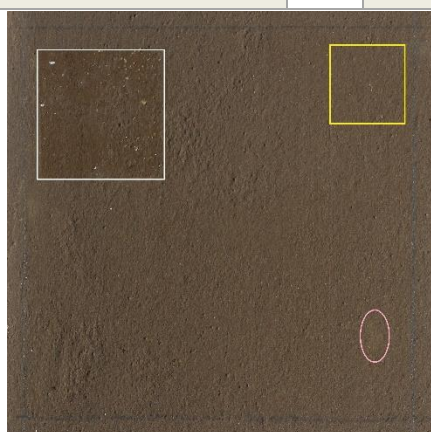
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C2	
MBN Nf070 10g/l Isopropanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 3x Vlhčení: 3x H ₂ O Množství: 7ml (2,5 + 2,5 + 2)



Pole C2 po zpevnění



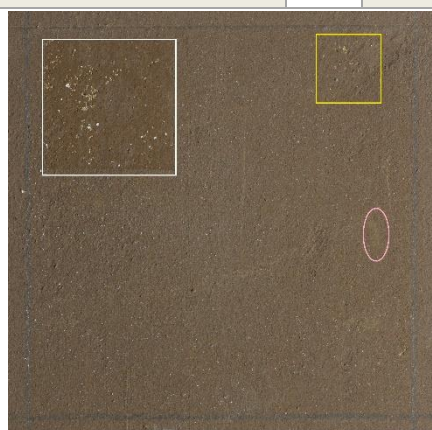
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C3

ZFB 734e

10g/l Technický etanol

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 3x

Vlhčení: 3x H₂O

Množství: 5,7 ml (2,5 + 1,7 + 1,5)

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

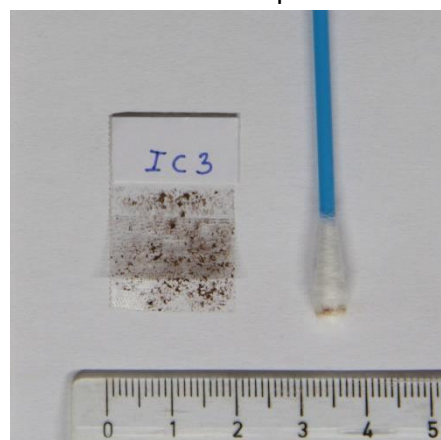
bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	2
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



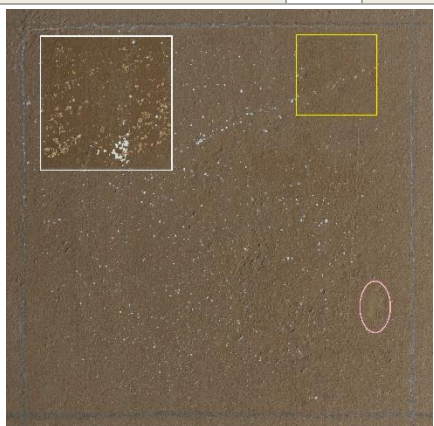
Pole C3 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

Bílá Odtrh. test II

Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C4	
ZFB 734e 10g/l 98% etanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 3x Vlhčení: 3x H ₂ O Množství: 5,5 ml (2,5 + 1,5 + 1,5)



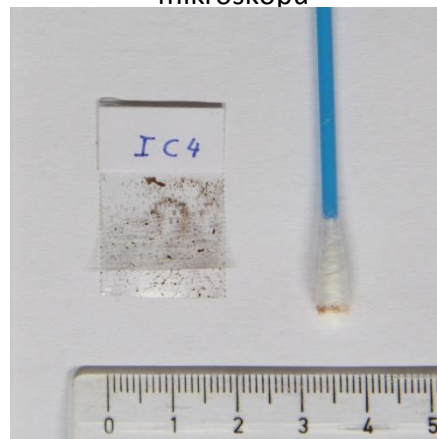
Pole C4 po zpevnění



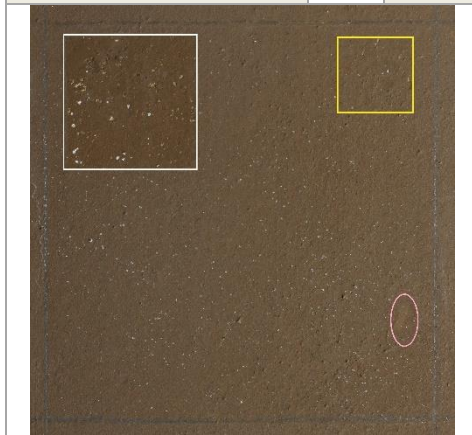
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	2
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C5	
ZFB 703i 10g/l Isopropanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 3x Vlhčení: 3x H ₂ O Množství: 4,5 ml (1,5 + 1,5 + 1,5)



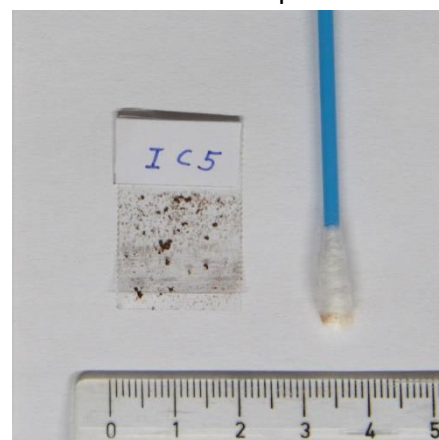
Pole C5 po zpevnění



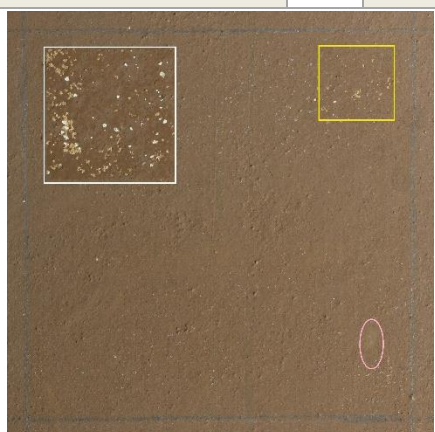
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	2
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



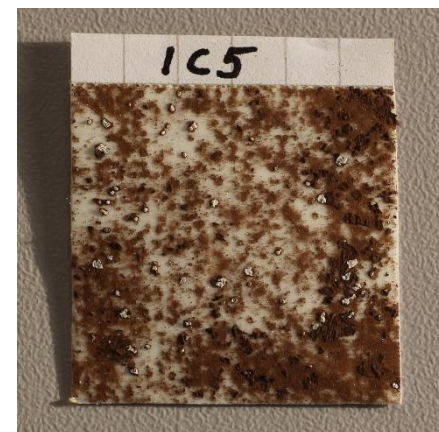
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

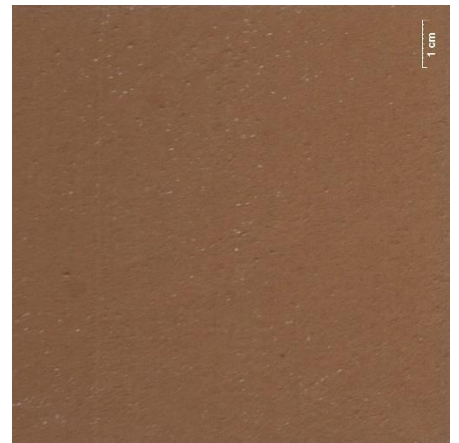
Legenda:

- Žlutá Odtrh. test I
- Bílá Odtrh. test II
- Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C6	
CSGI 1P 10g/l Propanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 3x Vlhčení: 3x H ₂ O Množství: 5,5 ml (2 + 2 + 1,5)



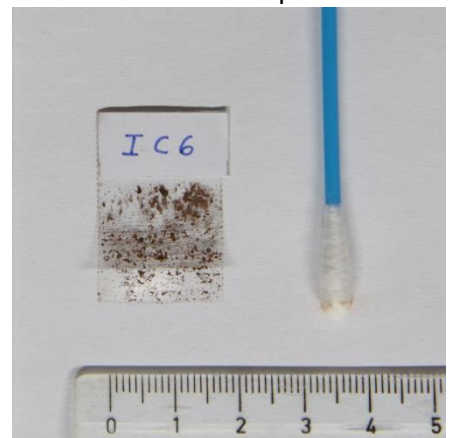
Pole C6 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C7

CSGI E

10g/l Technický etanol

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 3x

Vlhčení: 3x H₂O

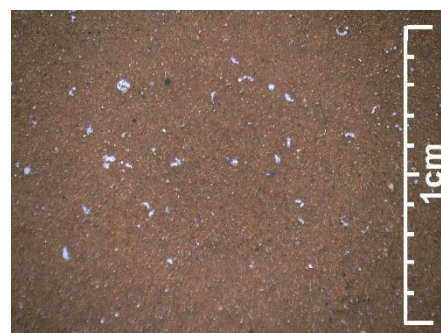
Množství: 6 ml (2 + 2 + 2)



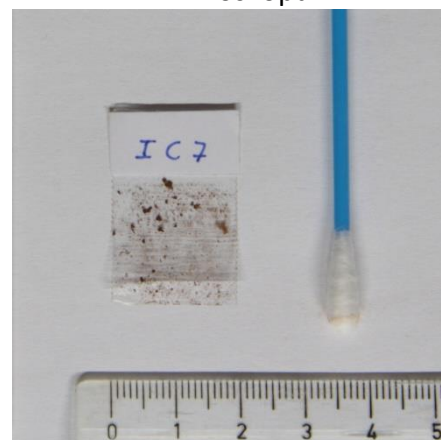
Pole C7 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

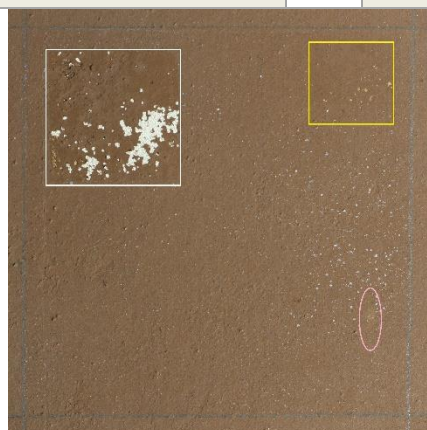
bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



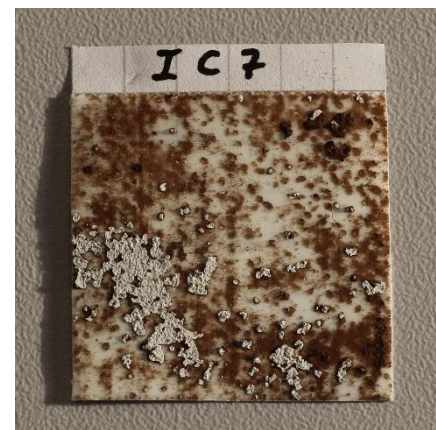
Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

Bílá Odtrh. test II

Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C8

CSGI E

10g/l 98% etanol

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 3x

Vlhčení: 3x H₂O

Množství: 5,5 ml (2 + 2 + 1,5)



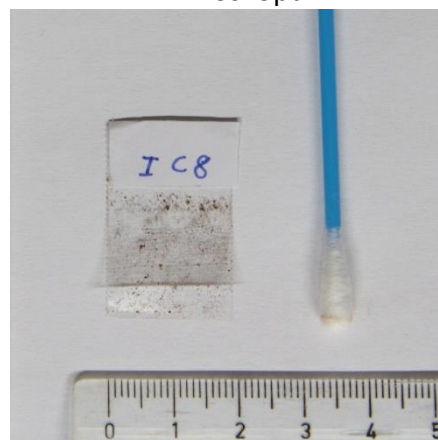
Pole C8 po zpevnění



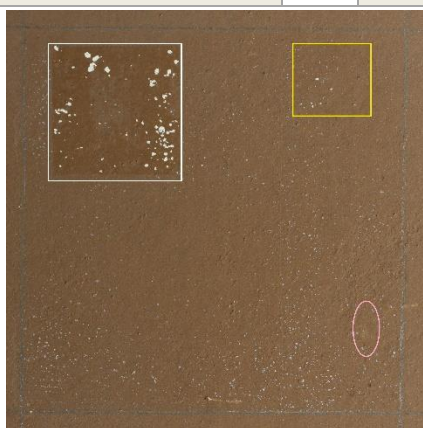
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

Bílá Odtrh. test II

Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I C9

CaLoSiL® E25

10g/l Technický etanol

Aplikace: 11.4.2014

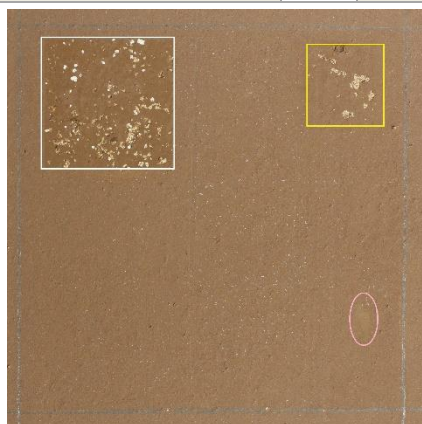
Počet cyklů: 3x

Vlhčení: 3x H₂O

Množství: 8 ml (2 + 2,5 + 3,5)

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

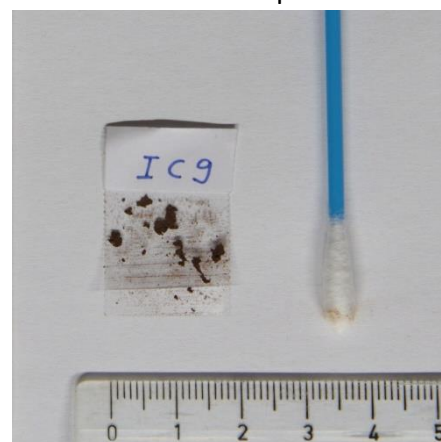
- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Pole C9 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Odtrhový test II

I C10

CaLoSiL® E25

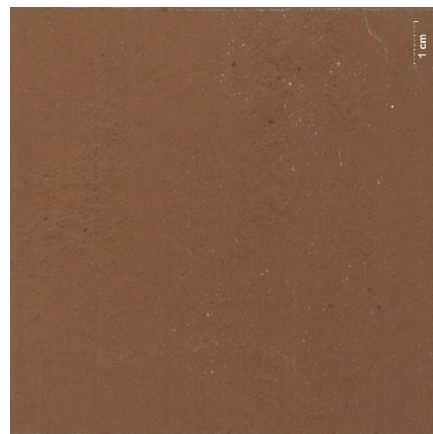
10g/l 98%etanol

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 3x

Vlhčení: 3x H₂O

Množství: 6,5 ml (2,5 + 2 + 2)



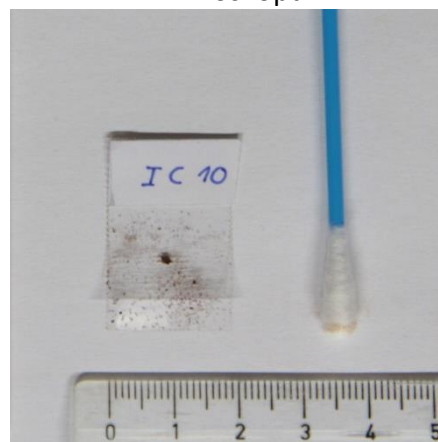
Pole C10 po zpevnění



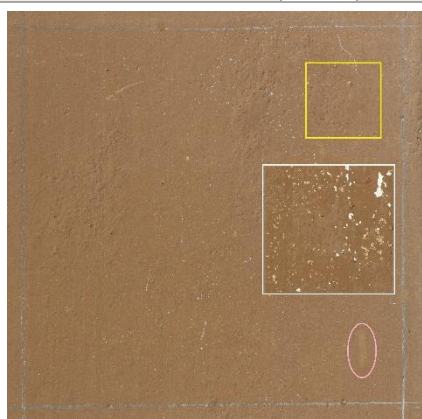
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2



Odtrhový test I



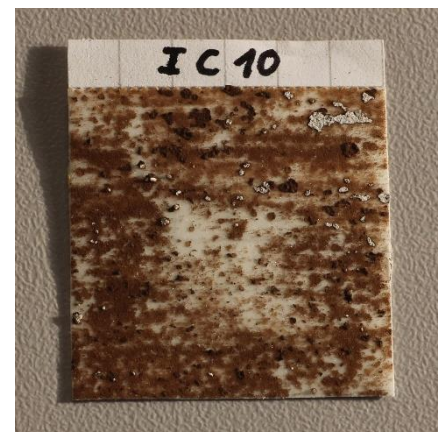
Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

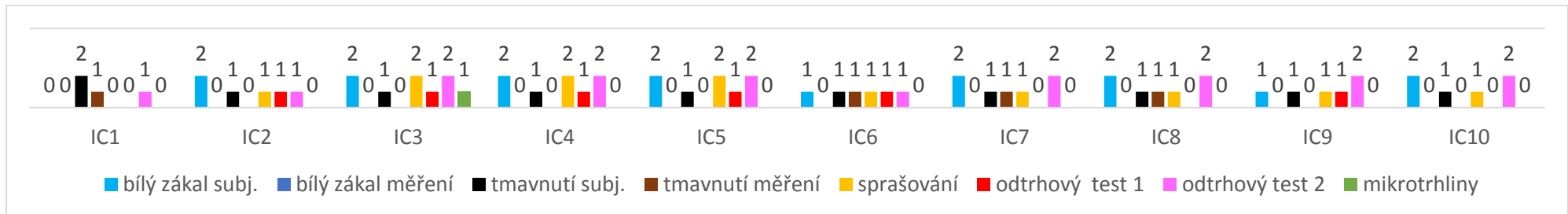
Bílá Odtrh. test II

Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel I, Řada C



Graf 3 Hodnocení nežádoucích efektů na panelu I, v polích 1 -10 řady C

Nejlepších konsolidačních výsledků v řadě C dosáhl produkt ZFB 703i, aplikovaný v technickém etanolu. Jedinou jeho nevýhodou je poměrně silné ztmavnutí barevné vrstvy. Důvod tohoto tmavnutí u vápenné suspenze je těžko vysvětlitelný, ale tmavnutí může být podle předchozích zkušeností spíše působeno následným vlhčením. Otázkou však je, proč nebylo stejně výrazné tmavnutí zaznamenáno i u ostatních zkoušek v této řadě, když byl způsob aplikace obdobný. Obecně lze konstatovat, že odtrhový test zaznamenal výrazně lepší výsledky než u řady B. Otázkou je, zda byla důvodem aplikace vyšší koncentrace v menším počtu cyklů, či méně cyklů vlhčení vodou.

Vzhledem k menšímu namáhání barevné vrstvy v průběhu vlhčení nedocházelo k tvorbě šupin a mikrotrhlin či tmavnutí. Naopak ve vyšší koncentraci suspenze dochází k výrazné tvorbě bílého zákalu, zvláště u produktů ZFB 734e a CSGI E.

3.2.3. Zkoušky na panelu I – řada D



V polích 1-4 jsou aplikovány vápenné suspenze v koncentraci 5 g/l **bez následného vlhčení vodou**. Voda byla nanesena dodatečně, až po 6. kole aplikace suspenzí. V polích 5-7 jsou naneseny směsi vápenných suspenzí s organokřemičitany v poměru 1:1. Vápenné suspenze jsou ředěny na 10g/l v 98% etanolu, estery kyseliny křemičité byly použity v původní koncentraci (300 g/l). Směsi byly aplikovány pomocí plynového rozprašovače bez následného vlhčení vodou. V polích 8-10 jsou vrstveně nanášeny různé typy a koncentrace organokřemičitanů.

I D1	
ZFB 734E 5g/l 98%etanol	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: I) 6x bez H ₂ O II) 2x H ₂ O Množství: 11 ml (2,5 + 1,8 + 1,7 + 1,5 + 1,5 + 2)



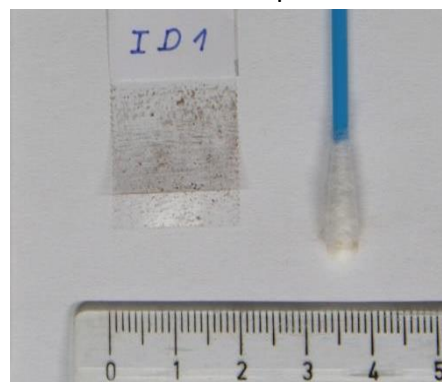
Pole D1 po zpevnění



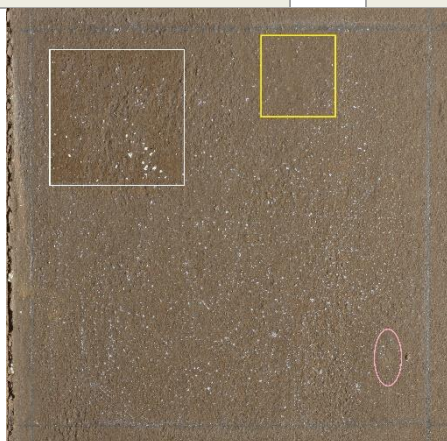
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	sprašování vizuální pozorování	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

I D2	
CSGI E 5g/l Technický etanol (Severochema)	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: I) 6x bez H ₂ O II) 2x H ₂ O Množství: 9,8 ml (1,8 + 1,9 + 1,6 + 1,5 + 1,5 + 1,5)



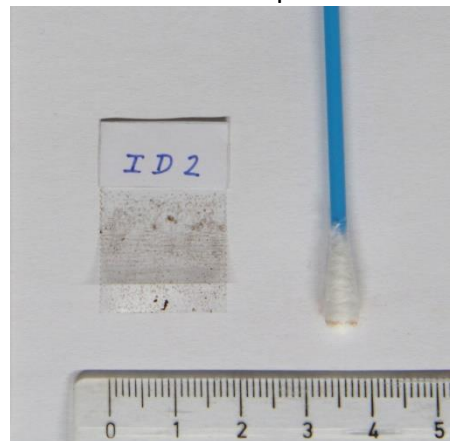
Pole D2 po zpevnění



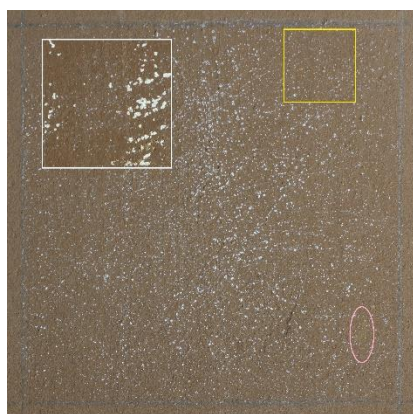
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	3	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I D3

CaLoSiL® E25

5g/l Technický etanol
(Severochema)

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 3x

Vlhčení: 3x bez H₂O

Množství: 5,5 ml (1,8 + 2,2 + 1,5)

ZFB 734e

5g/l 98% etanol

Aplikace: 11.4.2014

Počet cyklů: 3x

Vlhčení: I) 3x bez H₂O

II) 2x H₂O

Množství: 4,7 ml (1,6 + 1,6 + 1,5)



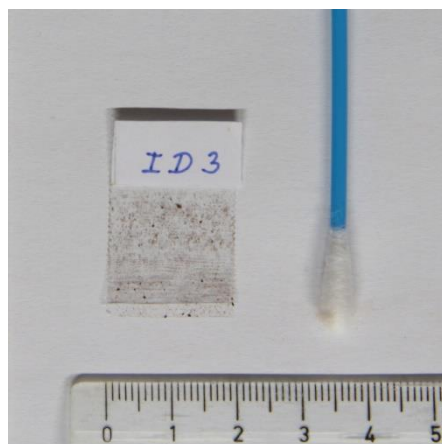
Pole D3 po zpevnění



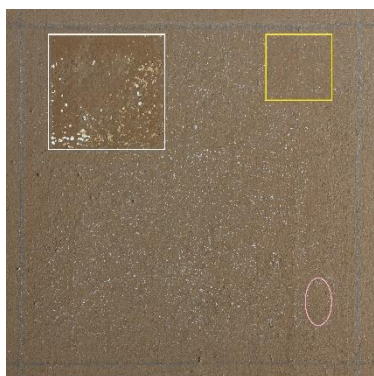
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

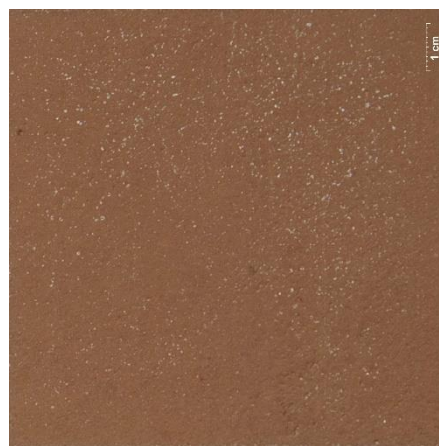
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I D4	
CaLoSiL® E25 5g/l Technický etanol (Severochema)	Aplikace: 11.4.2014 Počet cyklů: 6x Vlhčení: I) 6x bez H ₂ O II) 2x H ₂ O Množství: 9,2 ml (1,7 + 2 + 1,5 + 1,5 + 1,3 + 1,2)

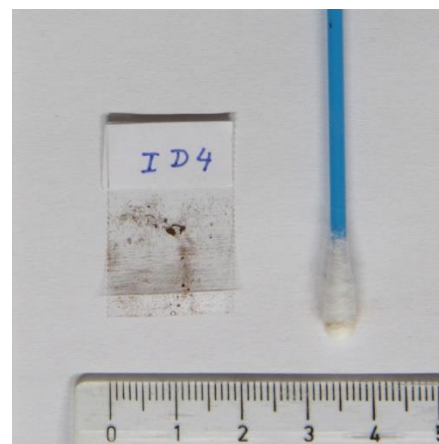


Pole D4 po zpevnění

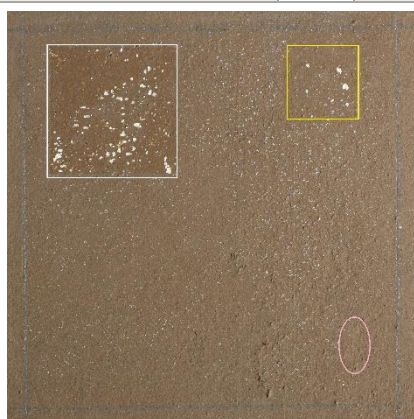


Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	sprašování vizuální pozorování	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I D5		
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 300HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2,2ml



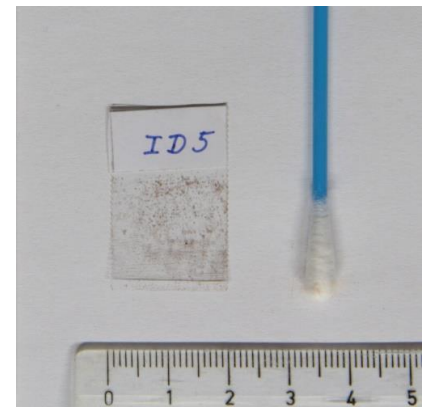
Pole D5 po zpevnění



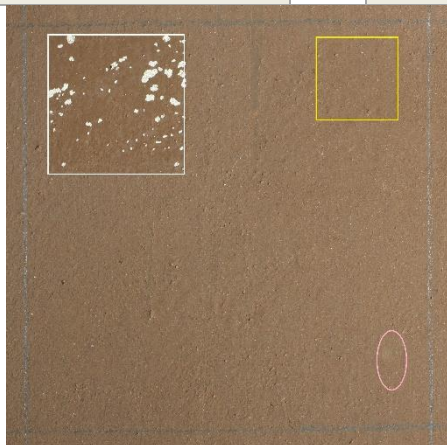
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



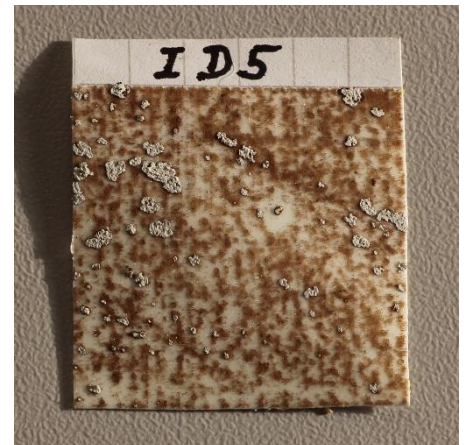
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

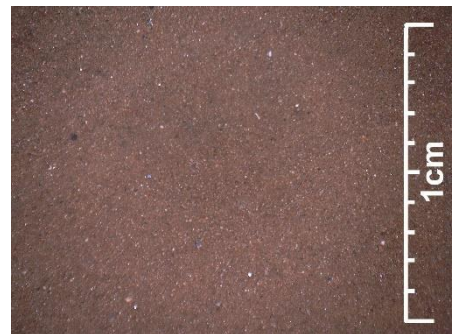


Odtrhový test II

I D6		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



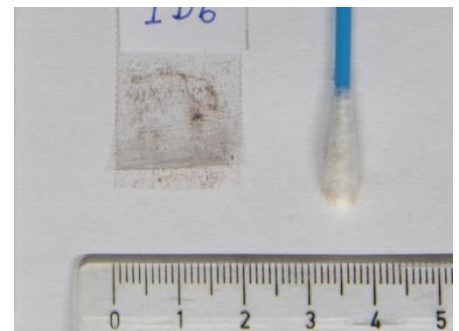
Pole D6 po zpevnění



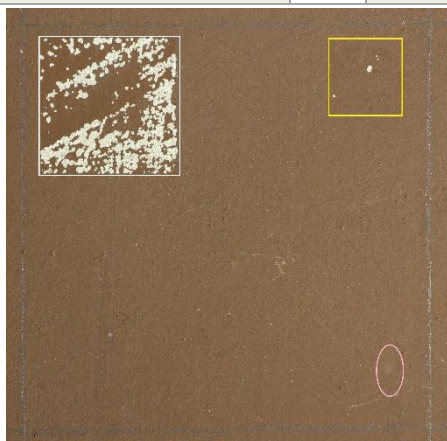
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I D7		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300E	SMĚS 1:1	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml



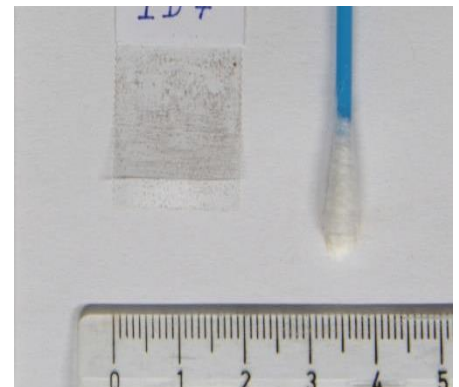
Pole D7 po zpevnění



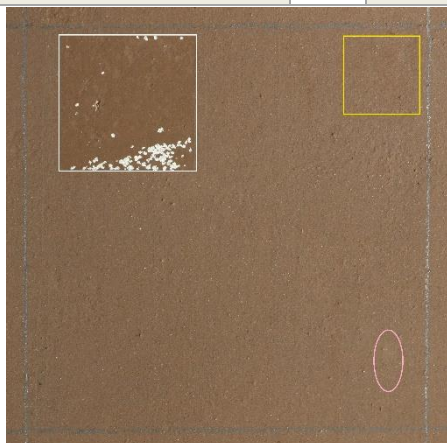
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

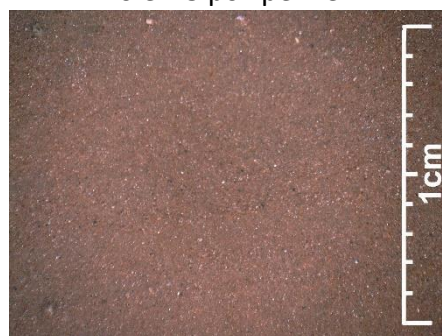
I D8	
KSE 100	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml
KSE 300HV	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1 ml

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

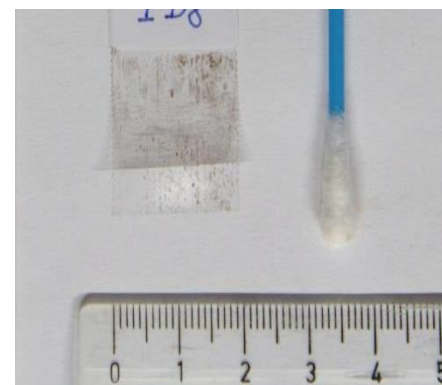
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



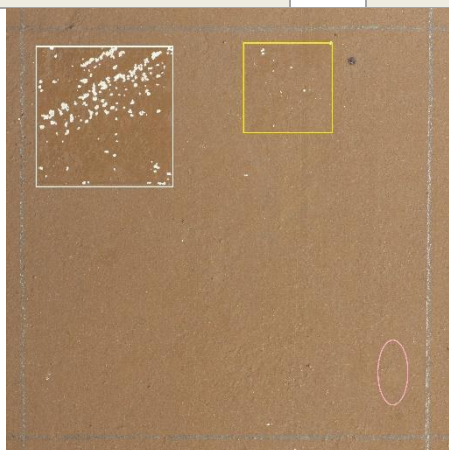
Pole D8 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB
mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

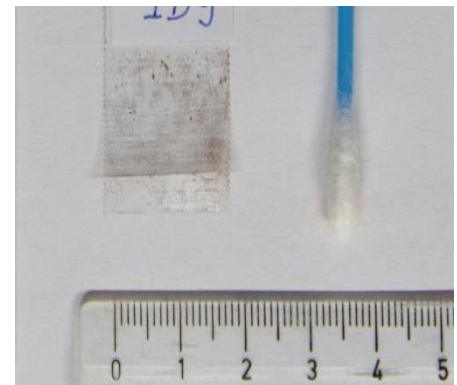
I D9	
KSE 100	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,2 ml
KSE 300E	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,7 ml



Pole D9 po zpevnění



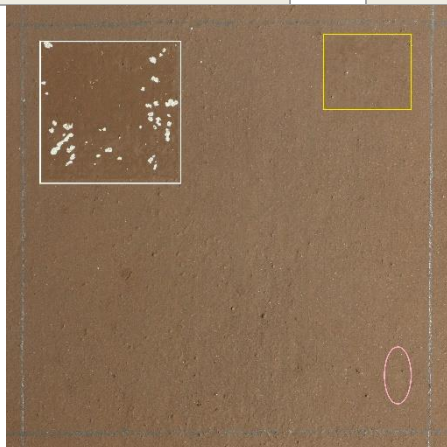
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odrhový test I

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

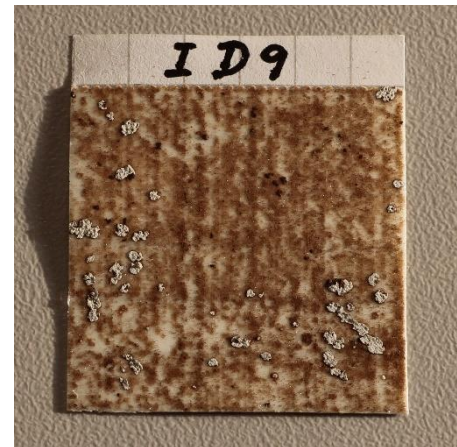
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

I D10	
KSE 100	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,8 ml
KSE 300E	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,8 ml
KSE 500E	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml



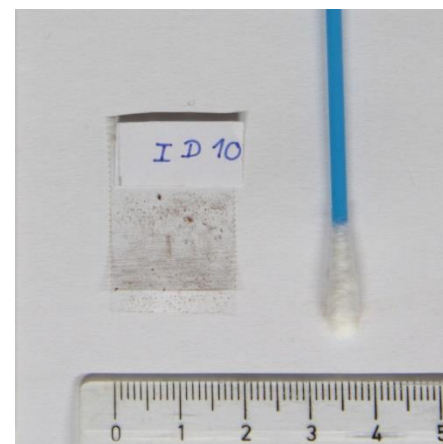
Pole D10 po zpevnění



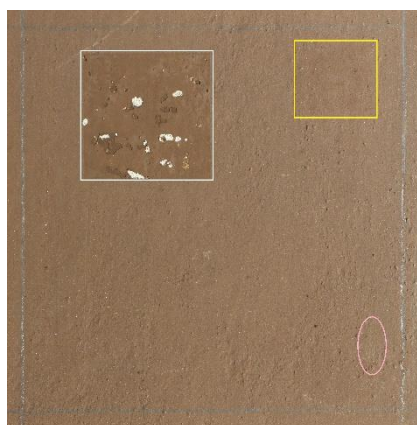
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	2



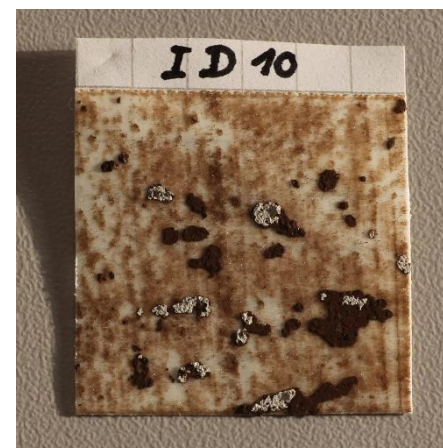
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

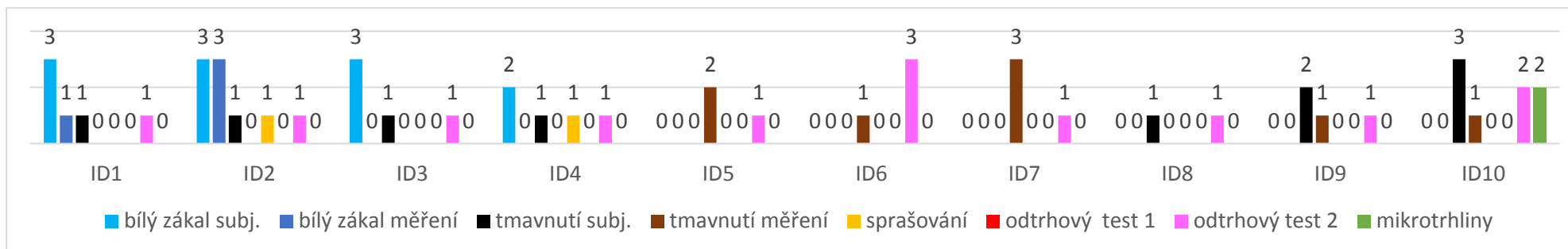
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel I, řada D



Graf 4: Hodnocení nežádoucích efektů na panelu I, v polích 1 -10 řady D

Protože se v předchozí řadě ukázalo jako vhodné omezit vlhčení vodou, byly v řadě D v polích 1-4 nanесeny vápenné suspenze bez průběžného vlhčení. Na obrázku č. 14 lze vidět silný zákal utvořený po 6 kolech aplikací. Na obrázku č. 15 je stav po navlhčení, kdy došlo k znatelnému snížení bílého zákalu. Je nicméně zřejmé, že vlhčení až po 6 kolech nezamezí vytvoření znatelného zákalu. Proto by bylo vhodnější provést vlhčení dříve, např. po 3 kolech. Výsledky konsolidace v těchto zkouškách jsou na velmi dobré úrovni.

Směsi vápenných suspenzí s organokřemičitany (pole 5-7) se již po prvním kole aplikace jeví ve všech aspektech mnohem uspokojivější než opakované nanášení čistých vápenných suspenzí. Při jejich testování nedošlo k žádným vizuálním změnám barevné vrstvy a barevná vrstva vykazuje vynikající zpevnění.

V polích 8 až 10 byly aplikovány estery kyseliny křemičité v původním neředěném stavu postupně od nejnižší koncentrace k nejvyšší. Účinky zpevnění jsou vynikající, ale u vyšších koncentrací došlo k výraznému tmavnutí a pnutí barevné vrstvy.

3.2.4. Zkoušky na panelu I – řada E



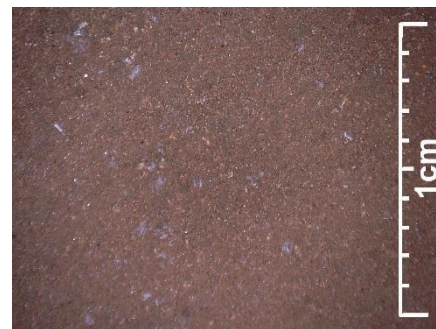
V polích 1-4 a 8-9 byly aplikovány nejprve 2 typy konsolidantů na bázi esterů kyseliny křemičité, a to vrstveně po jednom cyklu od každého prostředku. Po vyschnutí byly v prvních čtyřech polích naneseny vápenné suspenze v jednom cyklu s následným vlhčením destilovanou vodou. Vápenné suspenze jsou ředěny na 10 g /l. V polích 8 a 9 byly tyto suspenze aplikovány ve 2 kolech.

V polích 5-7 jsou naneseny směsi vápenné suspenze ZFB 703i kombinované s organokřemičitany, podobně jako tomu bylo v polích D6 a D7. Pole 10 bylo ponecháno bez zásahu a slouží jako standard původní nezpěvněné barevné vrstvy.

I E1	
KSE 100	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml
KSE 300 HV	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1 ml
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 2 ml



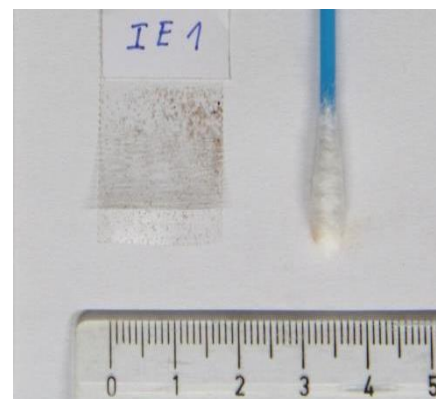
Pole E1 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

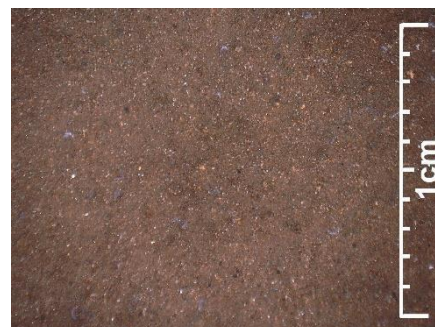


Odtrhový test II

I E2	
KSE 100	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,6 ml
KSE 300E	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,8 ml
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml



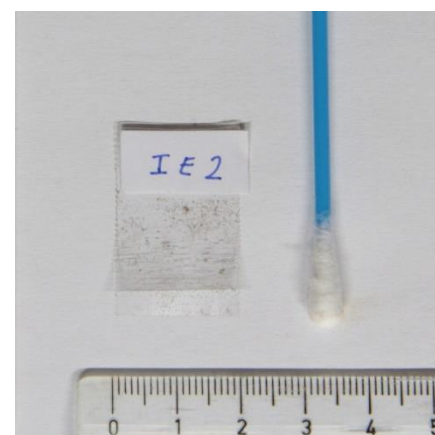
Pole E2 po zpevnění



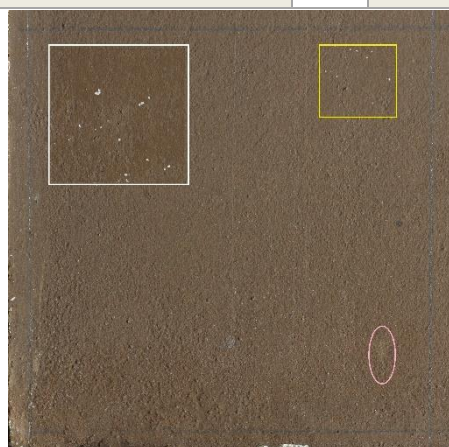
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

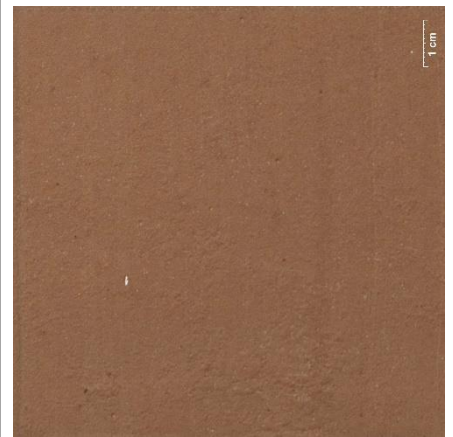
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I E3	
KSE 100	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,4 ml
KSE 300HV	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1 ml
CSGI E 10g/l Absolutní líh	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml

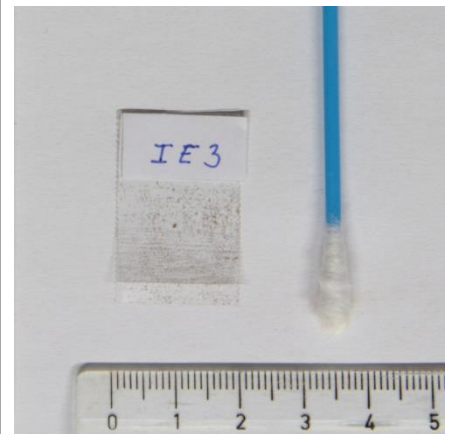


Pole E3 po zpevnění

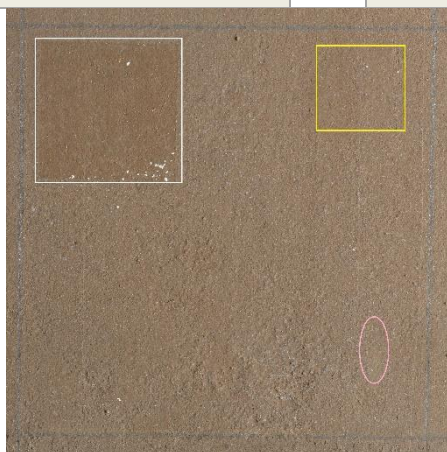


Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	3	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

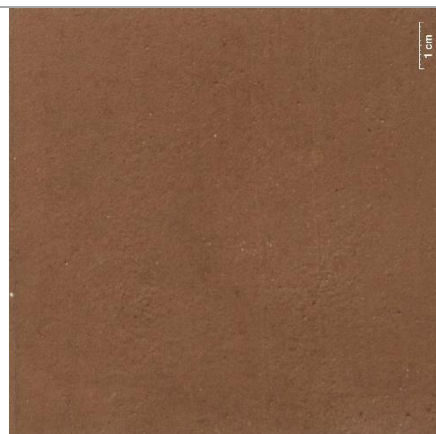
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I E4	
KSE 100	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml
KSE 300E	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,7 ml
CSGI E 10g/l Absolutní líh	Aplikace: 14.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 2 ml



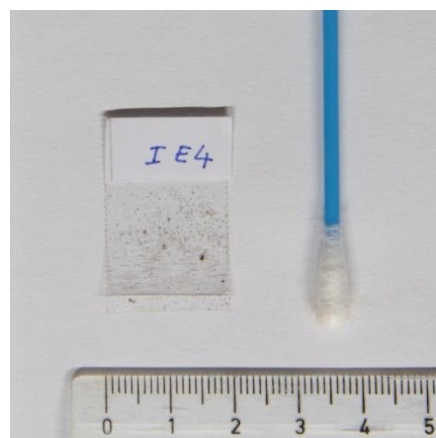
Pole E4 po zpevnění



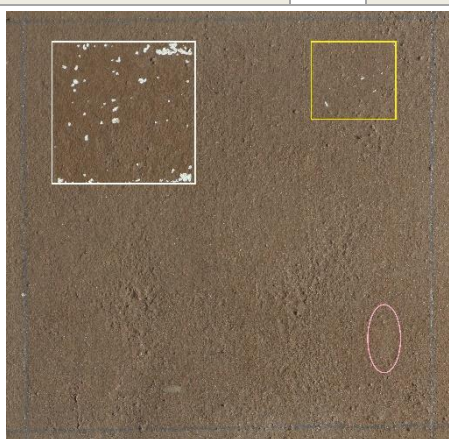
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

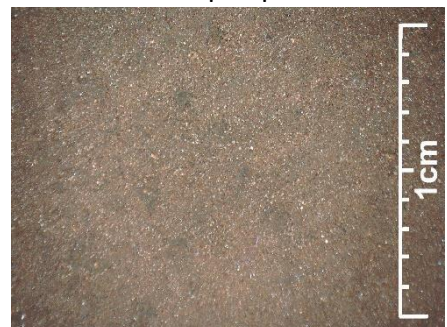


Odtrhový test II

I E5		
ZFB 703i 10g/l 98% etanol + KSE 300 E	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



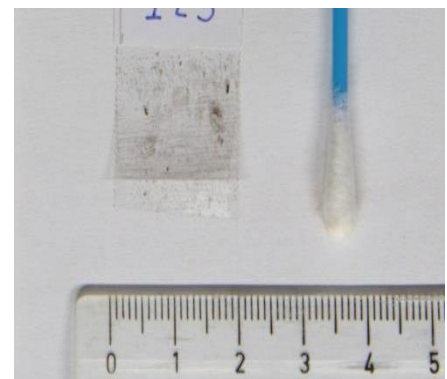
Pole E5 po zpevnění



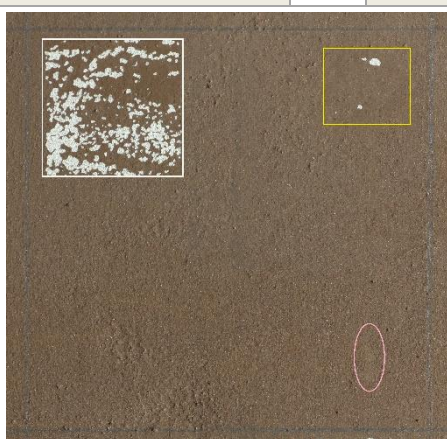
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

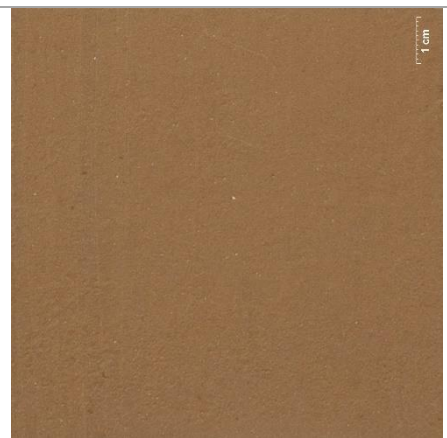
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

I E6		
ZFB 703i 10g/l 98% etanol + KSE 300HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



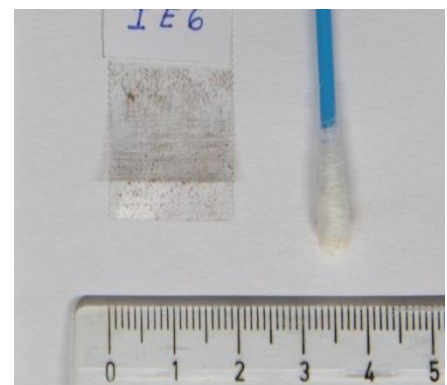
Pole E6 po zpevnění



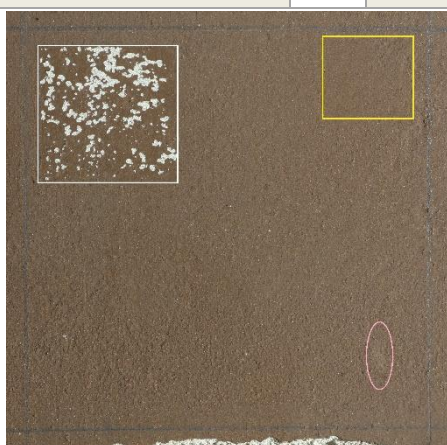
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

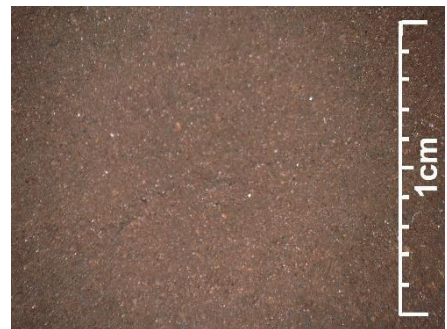


Odtrhový test II

I E7		
ZFB 703i 10g/l 98% etanol + KSE 300HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 3 ml (1,5 + 1,5)



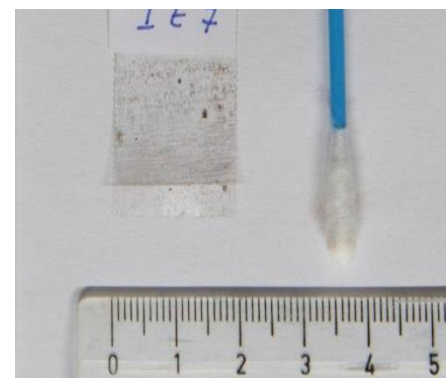
Pole E7 po zpevnění



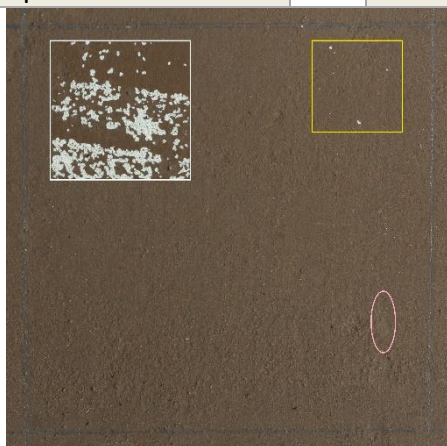
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odrh. test I
- Bílá** Odrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

I E8	
KSE 100	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml
KSE 300 HV	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1 ml
CaLoSiL® E25 10g/l Absolutní líh	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 2x Množství: 2,8 ml (1 + 1,8)



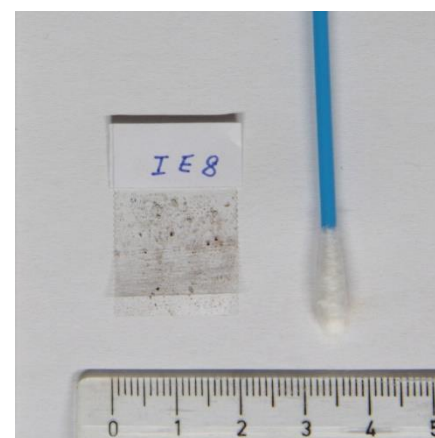
Pole E8 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

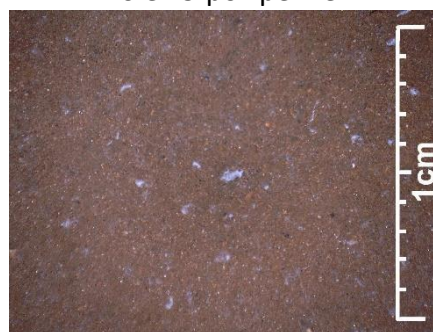


Odtrhový test II

I E9	
KSE 100	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 1,5 ml
KSE 300 E	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Množství: 2 ml
CSGI E 10g/l 98% etanol	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 2x Množství: 2,5 ml (1,5 + 1)



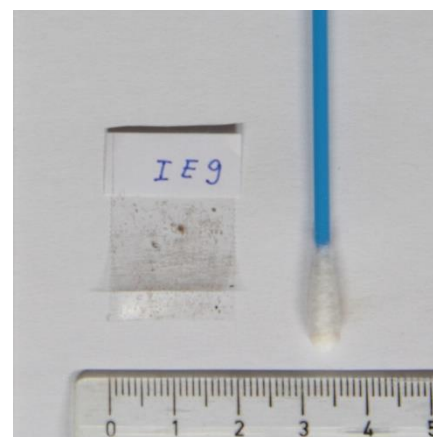
Pole E9 po zpevnění



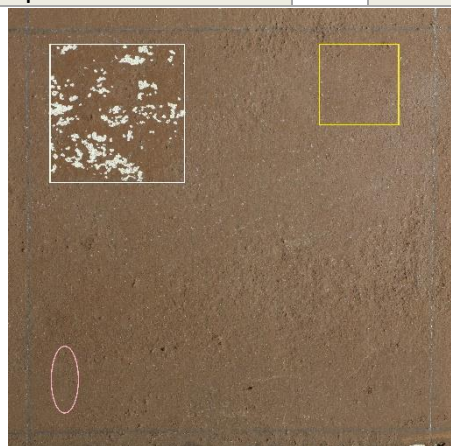
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

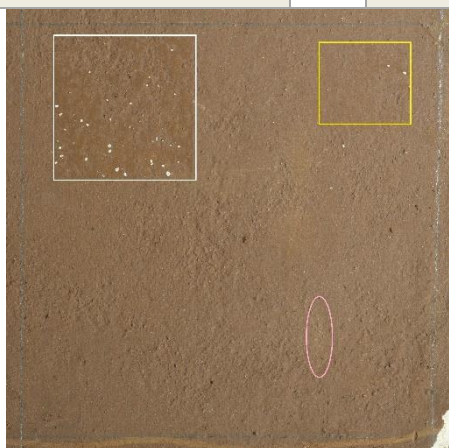
I E10

STANDARD

Nezpevněno

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	2
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Pole E10 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

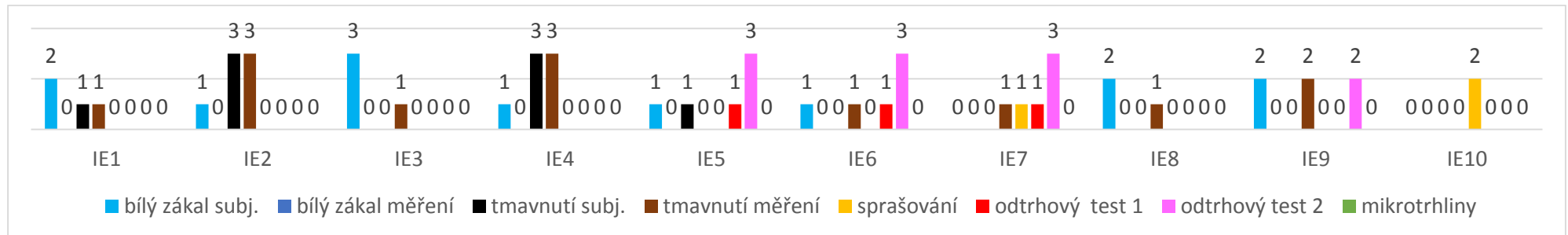


Odtrhový test I



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel I, řada E



Graf 4 Hodnocení nežádoucích efektů na panelu I, v polích 1 -10 řady D

V řadě E jsme pokračovali v kombinování vápenných suspenzí a organokřemičitanů. Ve všech případech byla barevná vrstva velmi dobře zpevněná. V polích 2 a 4 došlo k silnému ztmavnutí, jež bylo s největší pravděpodobností způsobené použitím elastifikovaného organokřemičitanu KSE 300 E. Při víceetapové aplikaci esterů kyseliny křemičité a vápenné suspenze o koncentraci 10g/l dochází k tvorbě výrazného bílého zákalu.

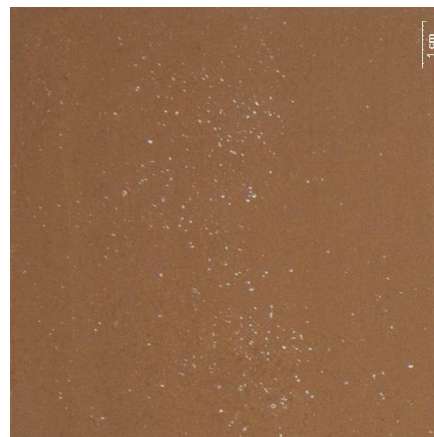
3.2.5. Zkoušky na panelu II – řada A



Na **panelu II** jsme se pokusili navázat na naše předchozí výsledky. V polích 1-5 jsme opakovali aplikaci suspenzí, u kterých se projevil nejmenší zákal, tentokrát ale ve větším počtu cyklů. U vápenných suspenzí v koncentraci 5 g/l jsme oproti **panelu I** přidali ještě další 2 kola, tedy celkem 8 cyklů aplikace. U koncentrací 10 g/l jsme přidali ještě jedno kolo aplikace, tedy celkem 4 cykly.

V ostatních polích (6-10) jsme zkoušeli další možnosti zpevňování směsmi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité v poměru 1:1.

II A1	
ZFB 734e 5g/l Technický etanol (Penta)	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 8x Vlhčení: 8x H ₂ O Množství: 15,3 ml (3,5 + 1,8 + 1,5 + 1,5 + 2,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5)



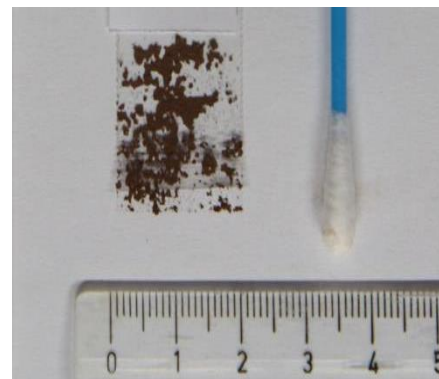
Pole A1 po zpevnění



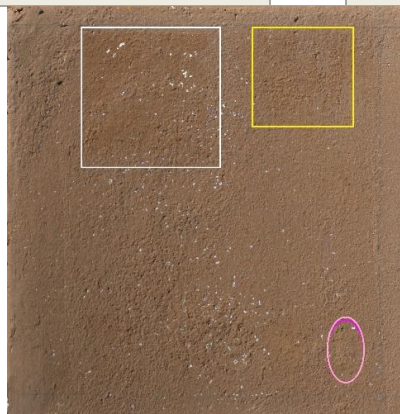
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	3
tmavnutí vizuální pozorování	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	2



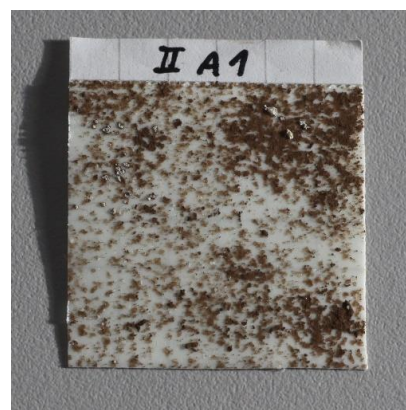
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá Odtrh. test I
- Bílá Odtrh. test II
- Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II A2

CSGI 1P

5g/l Propanol

Aplikace: 25.4.2014

Počet cyklů: 8x

Vlhčení: 8x H₂O

Množství: 12,2 ml (1 + 1,7 + 2 + 1,7 + 1 + 1,3 + 1,5 + 2)



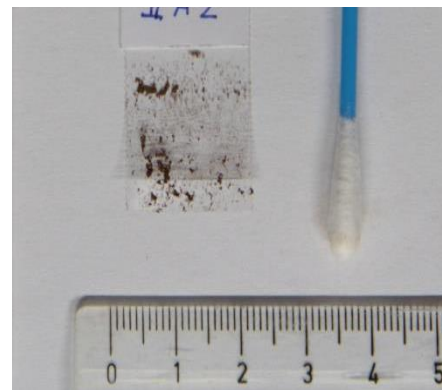
Pole A2 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

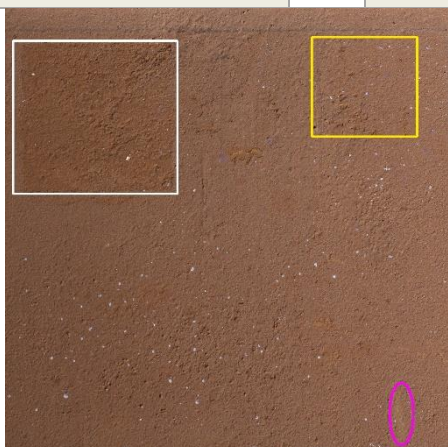
bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



Zvětšení pomocí PC USB
mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

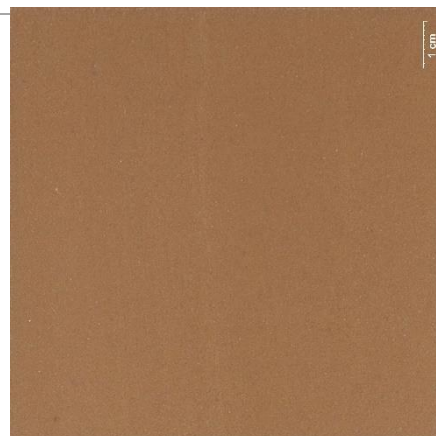
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou
tyčinkou



Odtrhový test II

II A3	
ZFB 703i 10g/l Technický etanol (Severochema)	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 4x Vlhčení: 4x H ₂ O Množství: 6,8 ml (2,5 + 1,5 + 1,5 + 1,3)



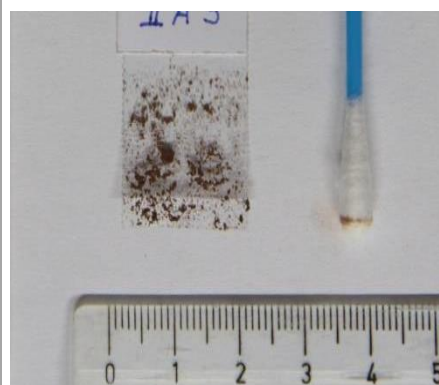
Pole A3 po zpevnění



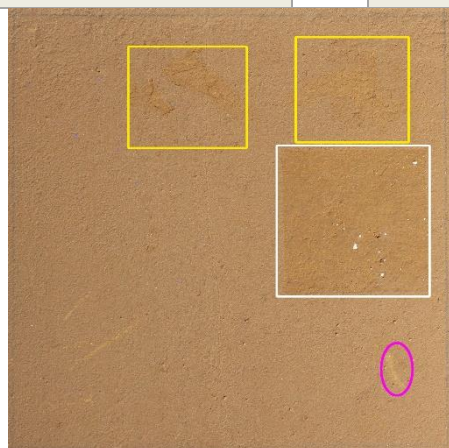
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	2
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



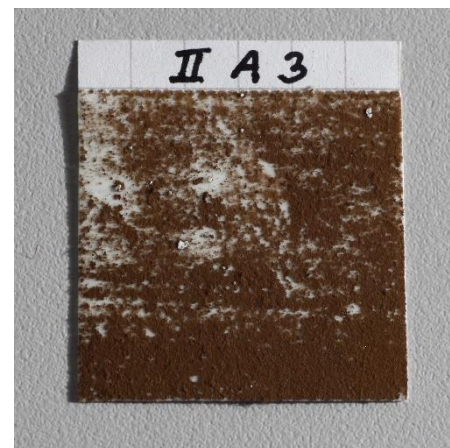
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá Odtrh. test I
- Bílá Odtrh. test II
- Růžová Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II A4

CaLoSiL® E25

10g/l Technický etanol
(Severochema)

Aplikace: 25.4.2014

Počet cyklů: 4x

Vlhčení: 4x H₂O

Množství: 7,1 ml (1 +
2,3 + 1,8 + 2)



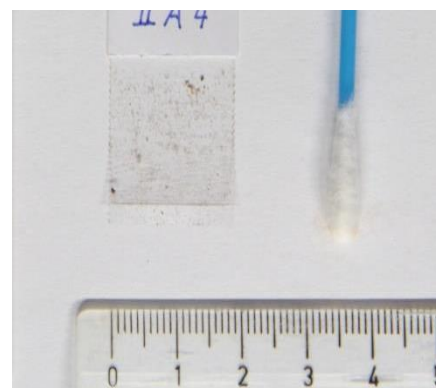
Pole A4 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

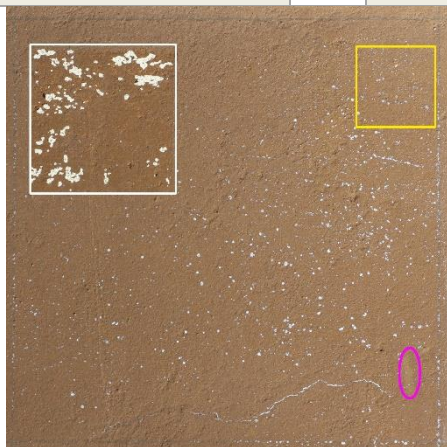
bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB
mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou
tyčinkou



Odtrhový test II

II A5	
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol (Penta)	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 4x Vlhčení: 4x H ₂ O Množství: 6,5 ml (2 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5)

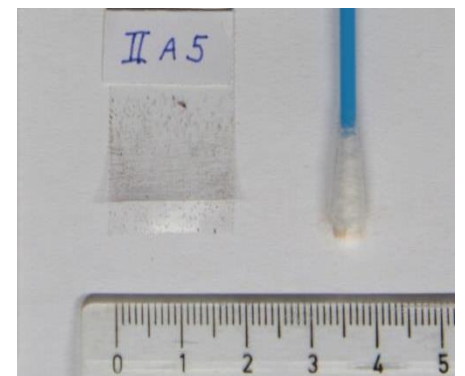


Pole A5 po zpevnění

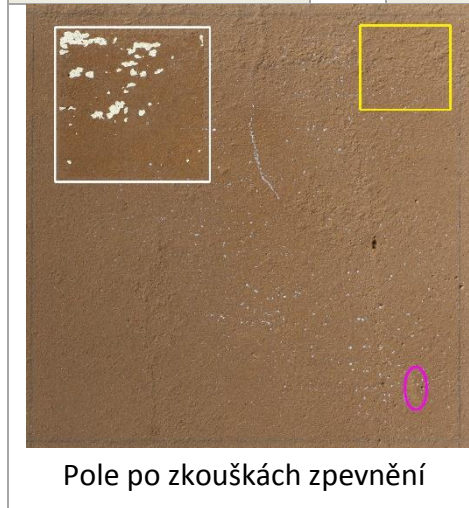


Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II A6		
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 3,6 ml (2,1 + 1,5)



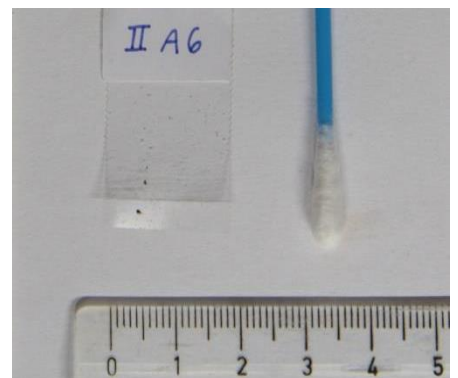
Pole A6 po zpevnění



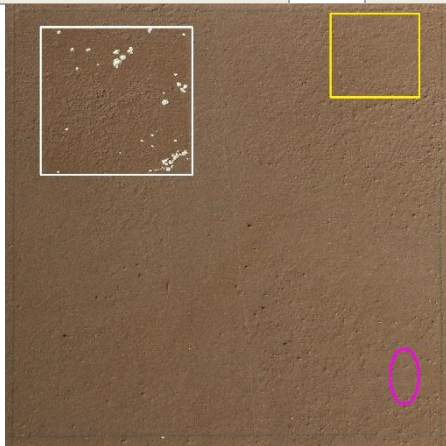
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	3	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	3	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



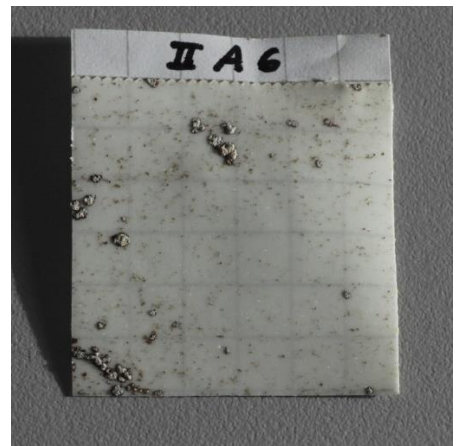
Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

II A7		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 3,5 ml (2 + 1,5)



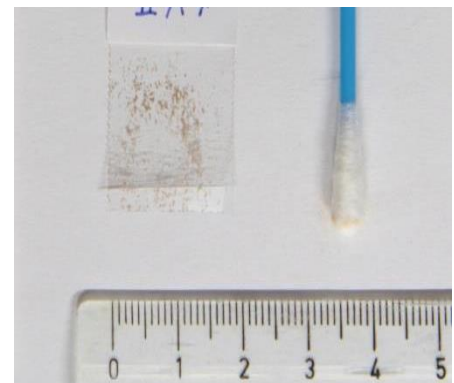
Pole A7 po zpevnění



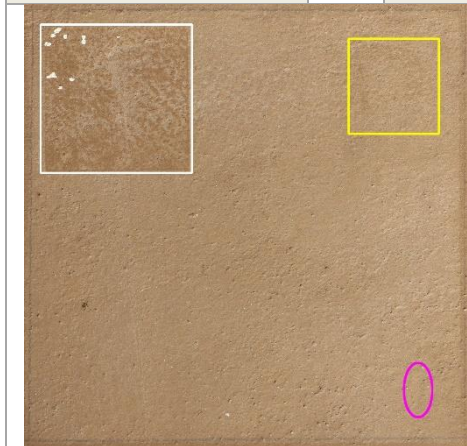
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	3	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole A7 po zkouškách zpevnění

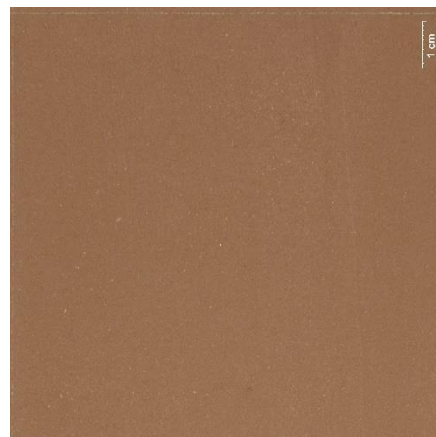
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

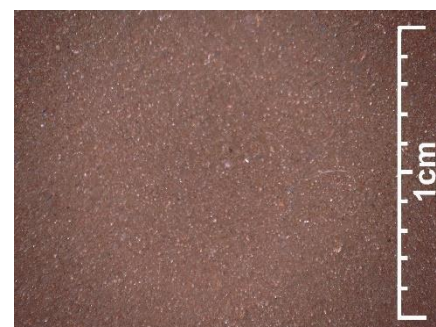


Odtrhový test II

II A8		
MBN Nf070 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml



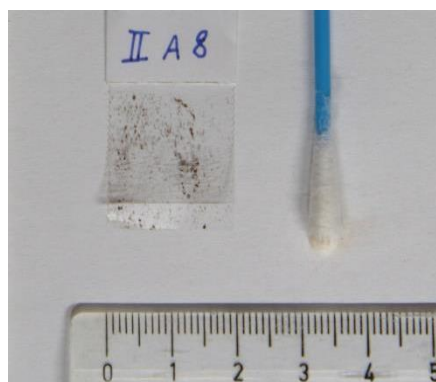
Pole A8 po zpevnění



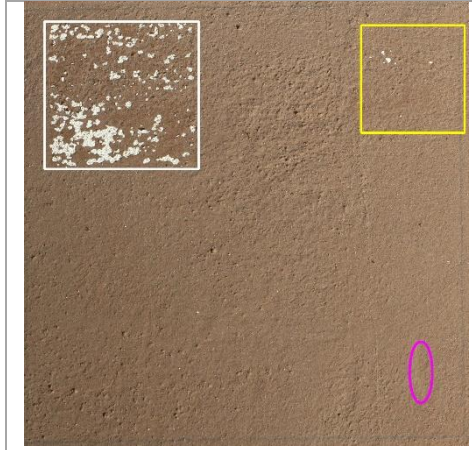
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	3
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II A9	
MBN Nf070 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1 Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 3 ml (1,5 + 1,5)



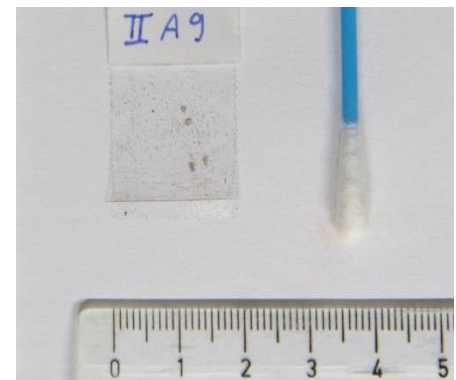
Pole A9 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0

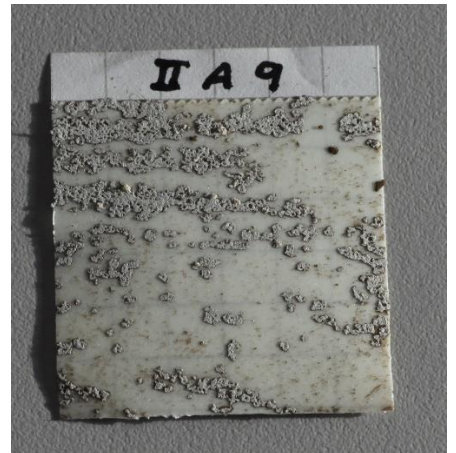


Odtrhový test I

Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II A10

CaLoSiL® E25

30g/l etanol
= neředěná suspenze

+

KSE 300 HV

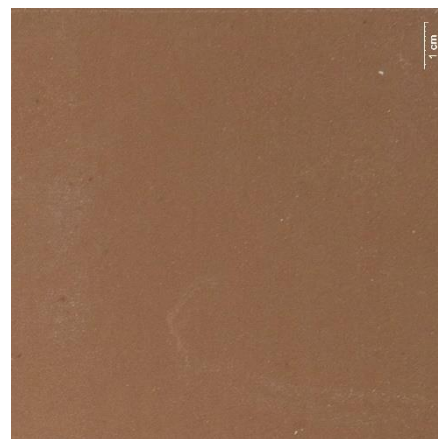
SMĚS 1:1

Aplikace: 25.4.2014

Počet cyklů: 2x

Vlhčení: bez H₂O

Množství: 3 ml
(1,5 + 1,5)



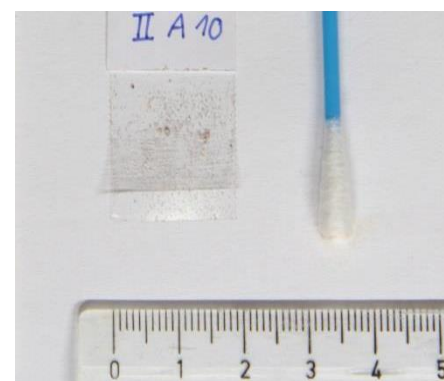
Pole A10 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

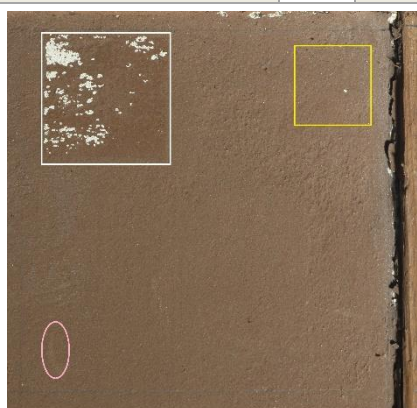
bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB
mikroskopu



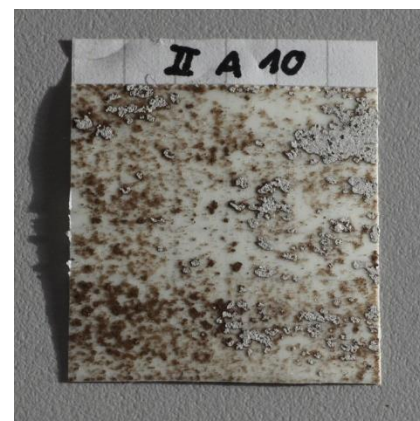
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

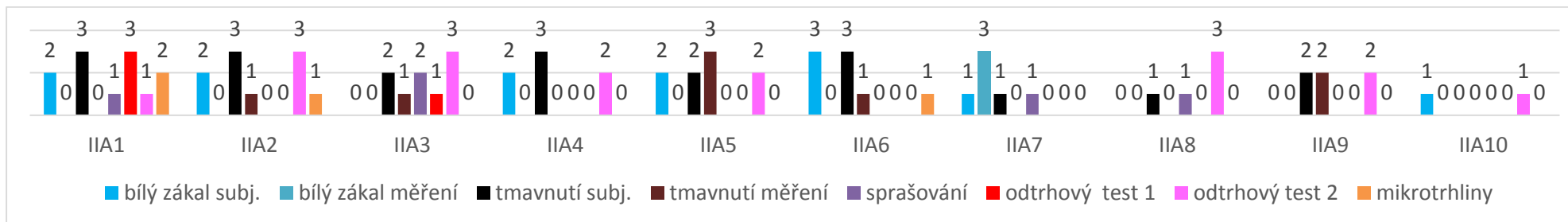
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou
tyčinkou



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel II, řada A



Graf 6: Hodnocení nežádoucích efektů na panelu II, v polích 1 -10 řady A

V prvních pěti polích, ve kterých byly testovány suspenze ředěné na 5 a 10 g/l, avšak ve větším počtu aplikací, došlo k negativním projevům ve vizuálních změnách (bílý zákal) a kupodivu i v nižších účincích zpevnění. Je možné, že zde opět nepříznivě působí voda, která byla nanesena po každé aplikaci prostředku. Pouze CSGI P (5 g/l) vykazuje větší míru zpevnění a přibližně stejnou intenzitu bílého zákalu jako u zkoušek na panelu I. Velice dobrých výsledků je dosaženo mísením vápenných suspenzí s produktem KSE 300HV, zejména u CaLoSiLu E25 (10 g/l) a produktu výrobce MBN. Zkouška A7 je kvůli kompaktnímu bělavému zákalu opakována v řadě E.

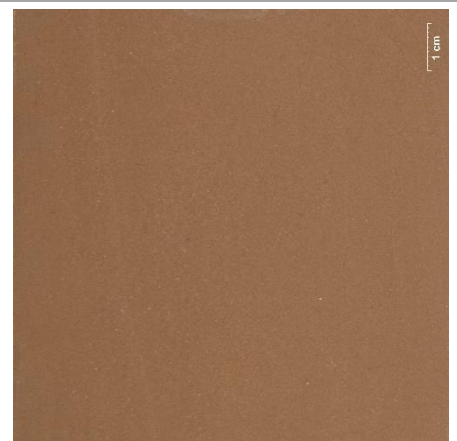
3.2.6. Zkoušky na panelu II – řada B



V polích 1 až 8 jsme aplikovali kombinaci tří složek ve směsi. S vápennou suspenzí v koncentraci 10 g/l jsme mísili KSE 100 a KSE 300HV v různých poměrech směsi. Smísením těchto dvou typů organokřemičitanů bylo dosaženo nižší koncentrace.

V ostatních polích (9 a 10) jsme zkoušeli další možnosti zpevňování směsmi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité v poměru 1:1.

II B1		
KSE 100 + KSE 300 HV + CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol	} } SMĚS 1:1:1	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



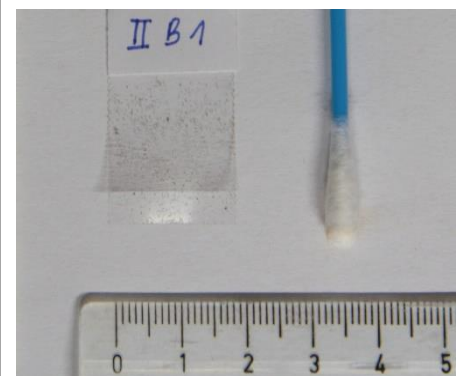
Pole B1 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku		
---	--	--

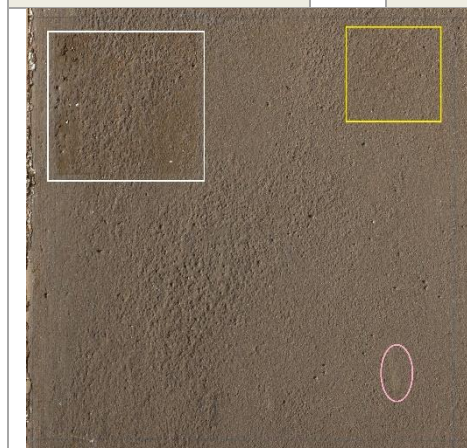
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



Zvětšení pomocí PC USB
mikroskopu



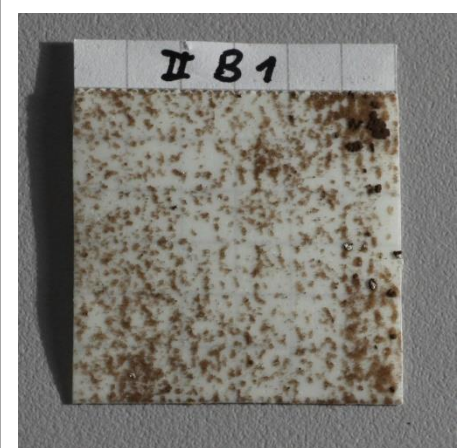
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

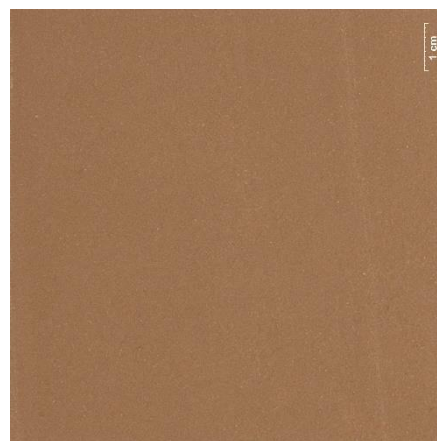
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

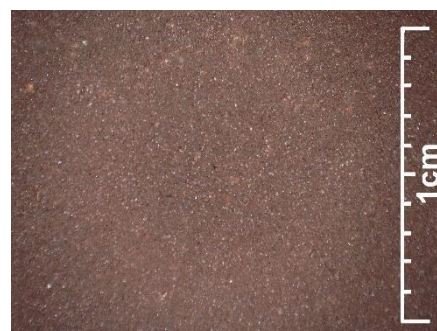


Odtrhový test II

II B2		
KSE 100 + KSE 300 HV + CSGI E 10g/l 98% etanol	} SMĚS 1:1:1	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



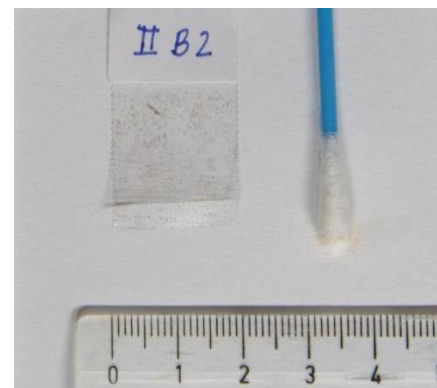
Pole B2 po zpevnění



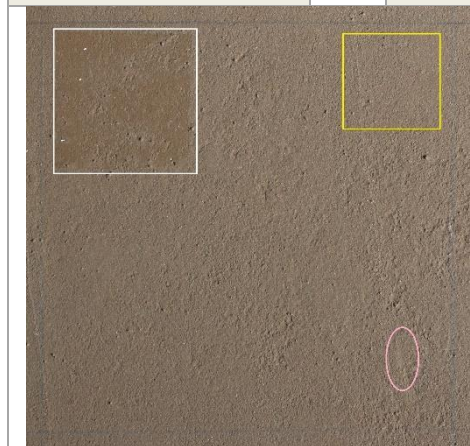
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

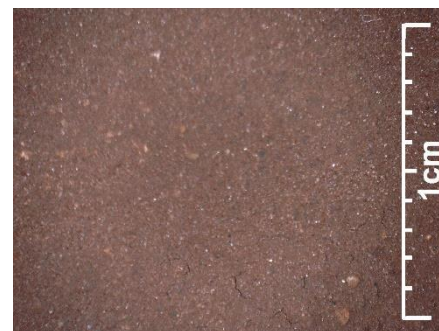
II B3		
KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	} } } SMĚS 1:1:1	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 0,8 ml



Pole B3 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
---	--	--	--

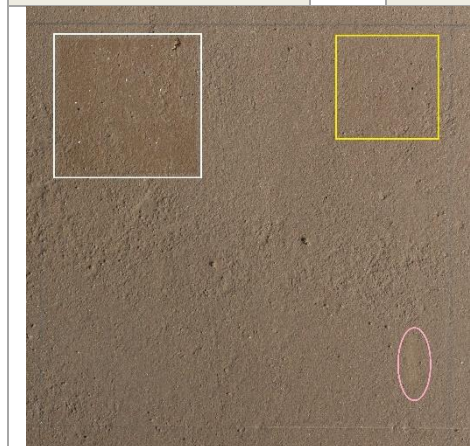
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	2



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



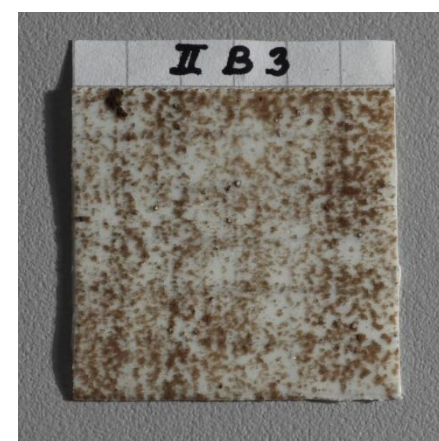
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

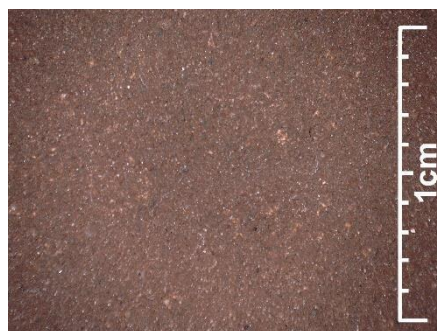


Odtrhový test II

II B4		
KSE 100 + KSE 300 HV + MBN Nf070 10g/l 98% etanol	} } SMĚS 1:1:1	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml



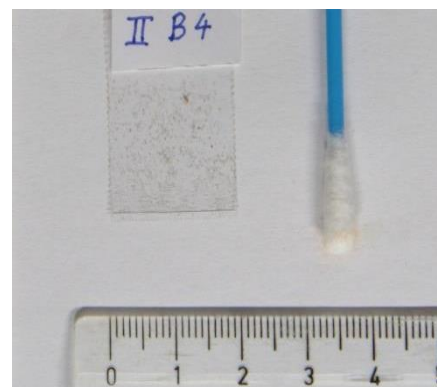
Pole B4 po zpevnění



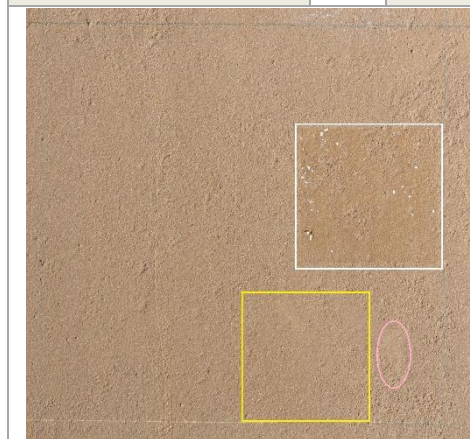
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

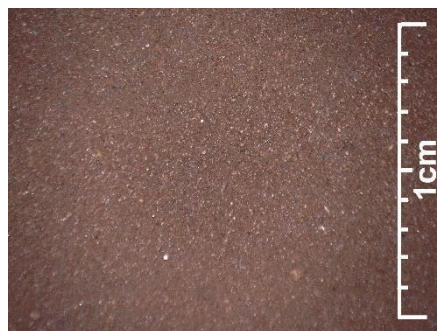
II B5		
KSE 100 + KSE 300 HV + CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol	} SMĚS 1:1:2	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml



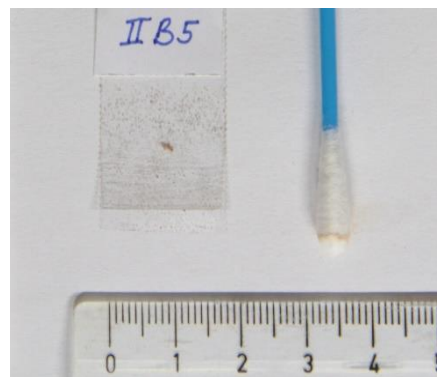
Pole B5 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku		
---	--	--

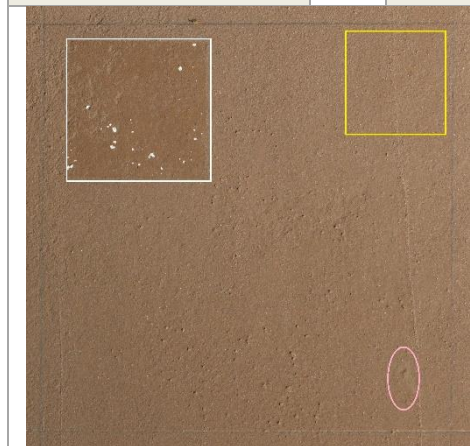
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II B6		
KSE 100 + KSE 300 HV + CSGI E 10g/l 98% etanol	SMĚS 1:1:2	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



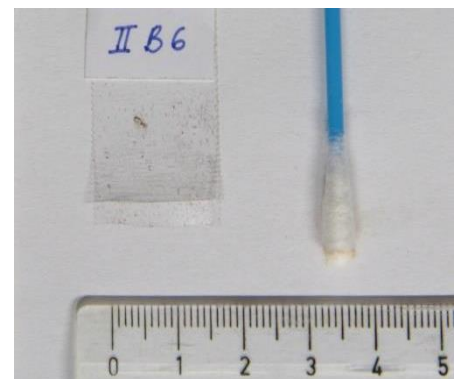
Pole B6 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku		
---	--	--

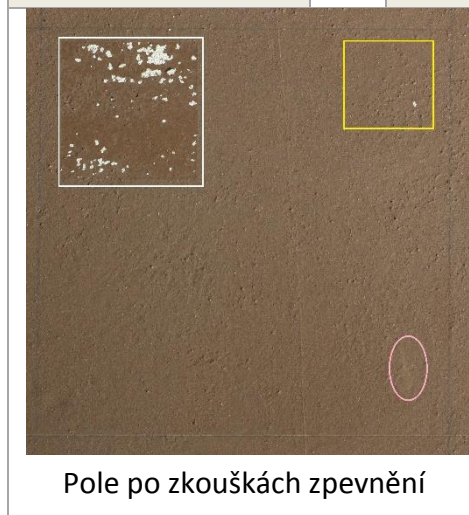
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



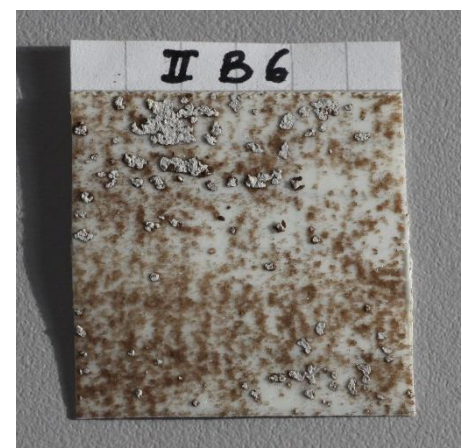
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II B7		
KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	} SMĚS 1:1:2	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



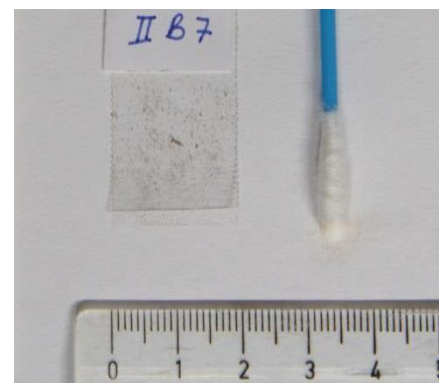
Pole B7 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

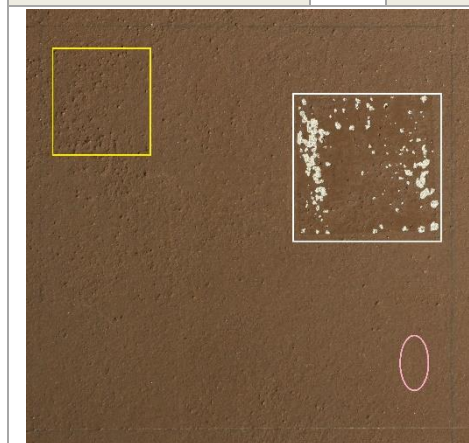
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

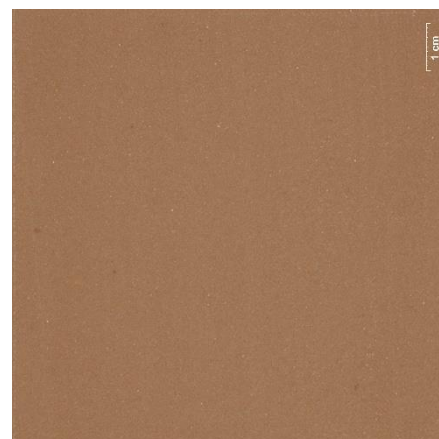
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

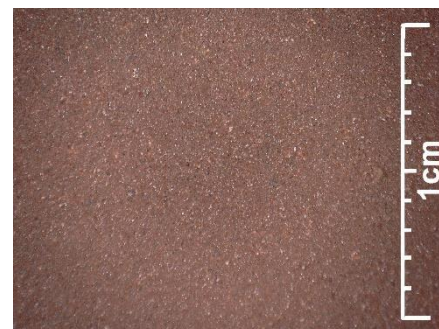
II B8		
KSE 100 + KSE 300 HV + MBN Nf070 10g/l 98% etanol	} SMĚS 1:1:2	Aplikace: 25. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



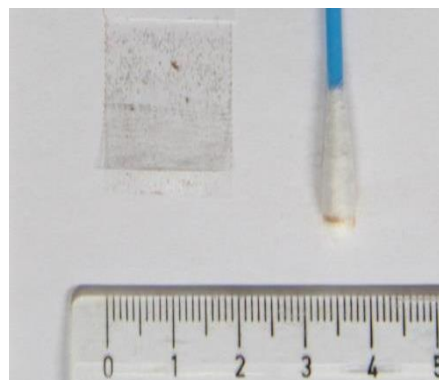
Pole B8 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

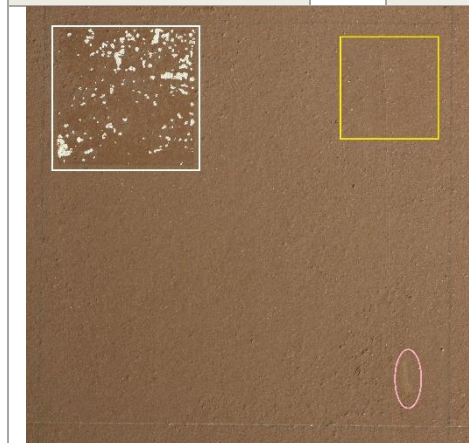
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



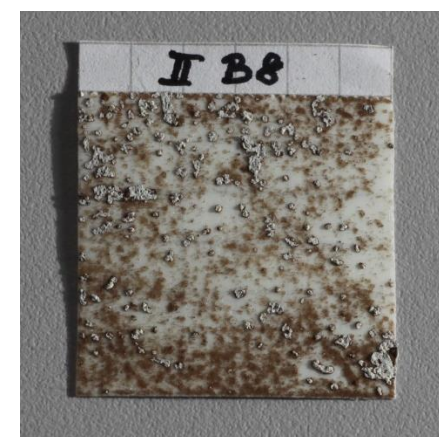
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

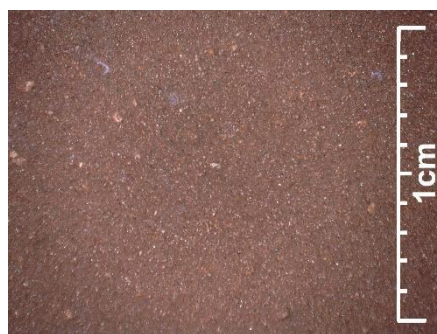


Odtrhový test II

II B9		
ZFB 703i 10g/l 98% etanol + KSE 300	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1 ml



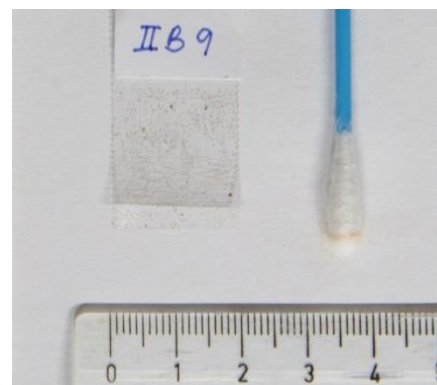
Pole B9 po zpevnění



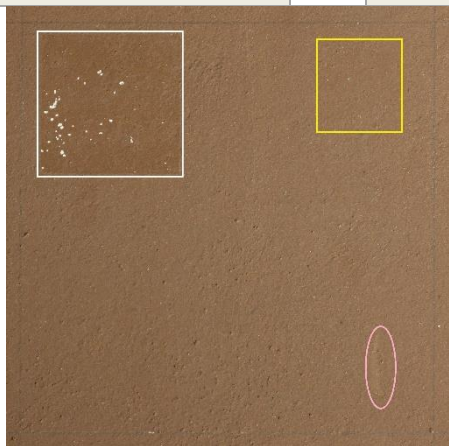
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odrh. test I
- Bílá** Odrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

II B10

ZFB 703i

10g/l 98% etanol

+

KSE 300

SMĚS 1:1

Aplikace: 25. 4. 2014

Počet cyklů: 2x

Vlhčení: bez H₂O

Množství: 3 ml (1 + 2)



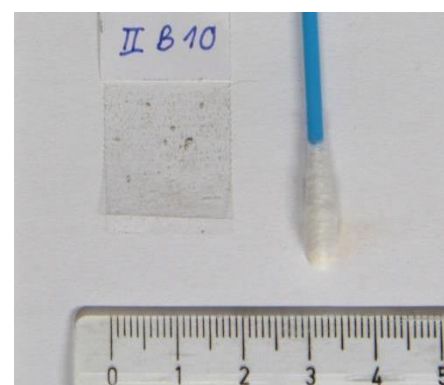
Pole B10 po zpevnění



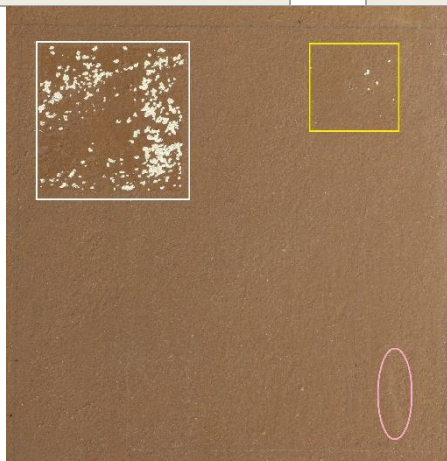
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	2
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



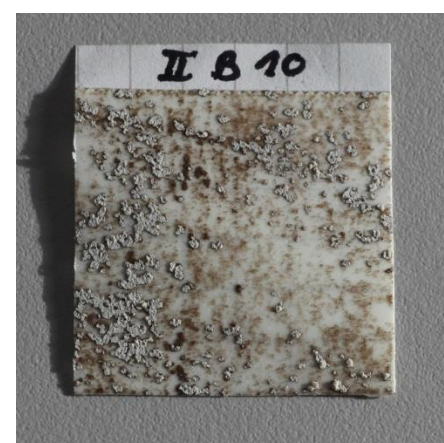
Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I

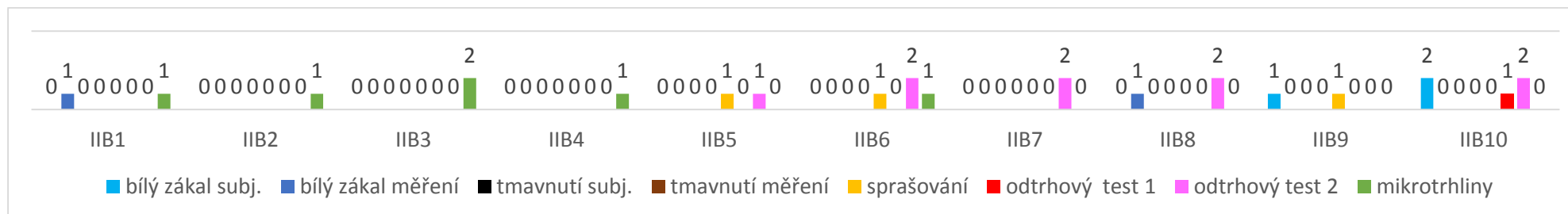
Bílá Odtrh. test II

Růžová Stěr vatovou
tyčinkou



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel II, řada B



Graf 7 Hodnocení nežádoucích efektů na panelu II, v polích 1 -10 řady B

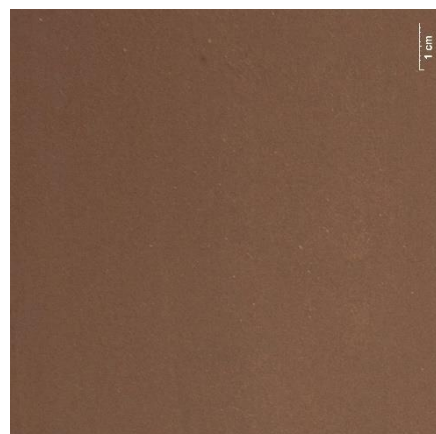
Konsolidační účinky tříložkových směsí v řadě B (vápenná suspenze, KSE 100 a KSE 300HV) lze ve všech zkouškách hodnotit jako vynikající či velmi dobré. Co se týče estetických změn, pouze u směsí s produktem ZFB 703i dochází bílému zákalu a mikrotrhlinám v barevné vrstvě.

3.2.7. Zkoušky na panelu II – řada C

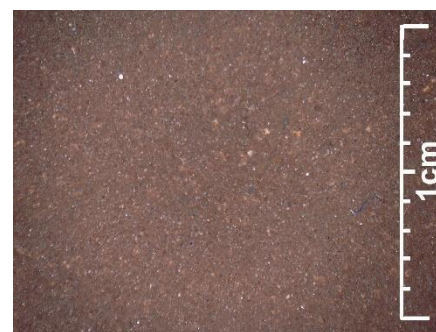


V polích 1-8 jsme pokračovali v kombinaci tří složek ve směsi. S vápennou suspenzí (10 g/l) jsme mísili organokřemičitany v různých poměrech směsi. Namísto KSE 300HV je v této řadě zkoušen produkt KSE 300, čímž došlo k porovnání těchto dvou prostředků pro použití v praxi. V polích 9 a 10 jsme porovnávali možnosti zpevnování dvousložkových směsí vápenných suspenzí a KSE 300 v poměru 1:1.

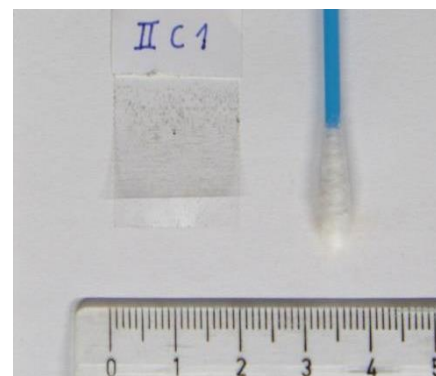
II C1			
KSE 100 + KSE 300 HV + CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol	} }	SMĚS 1:1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml
Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1
		Legenda: <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> Žlutá Odtrh. test I </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> Bílá Odtrh. test II </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> Růžová Stěr vatovou tyčinkou </div>	
Pole po zkouškách zpevnění			
		Odtrhový test II	



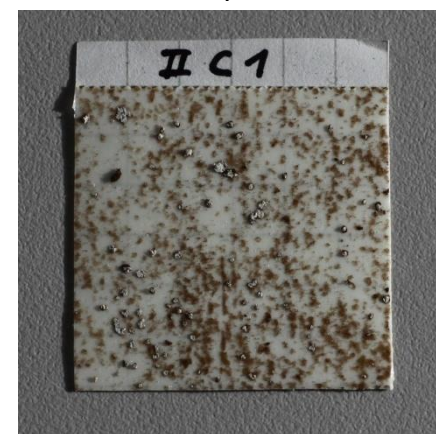
Pole C1 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



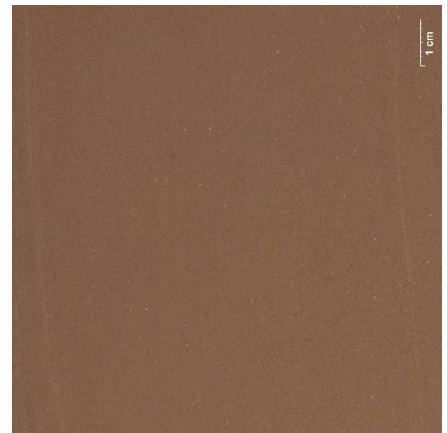
Odtrhový test II

II C2

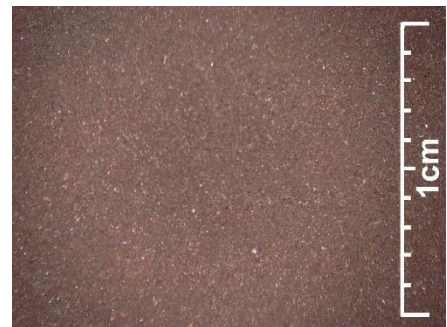
KSE 100
+
KSE 300 HV
+
CSGI E
10g/l 98% etanol

SMĚS 1:1:1

Aplikace: 25.4.2014
Počet cyklů: 1x
Vlhčení: bez H₂O
Množství: 1,5 ml



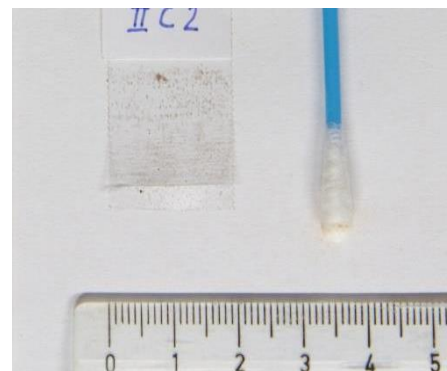
Pole C2 po zpevnění



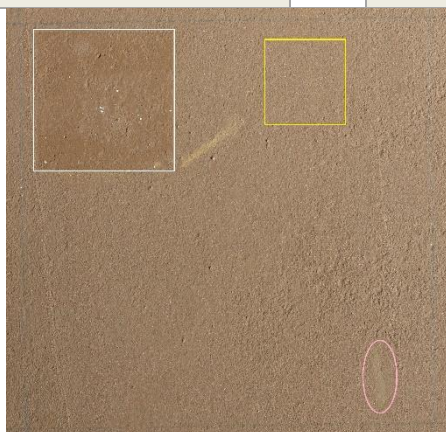
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



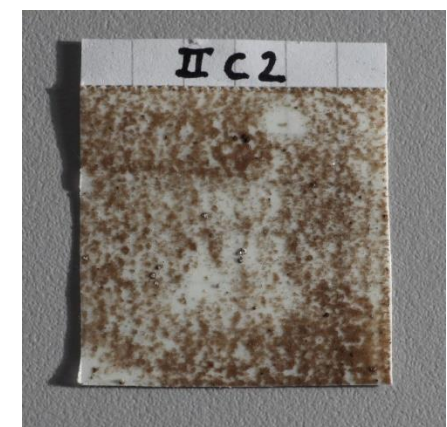
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I
Bílá Odtrh. test II
Růžová Stěr vatovou
tyčinkou



Odtrhový test II

II C3

KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	} SMĚS 1:1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml
--	-----------------	---



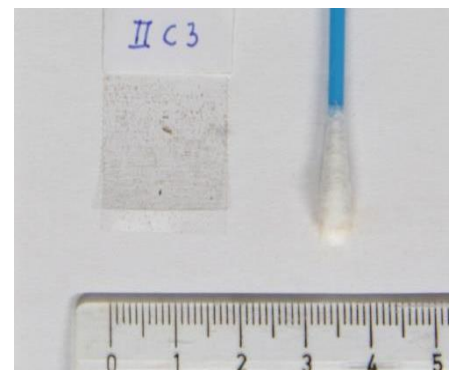
Pole C3 po zpevnění



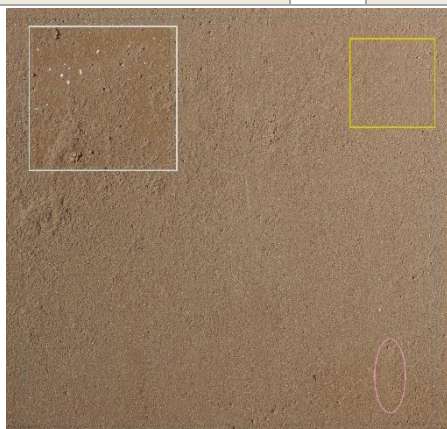
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



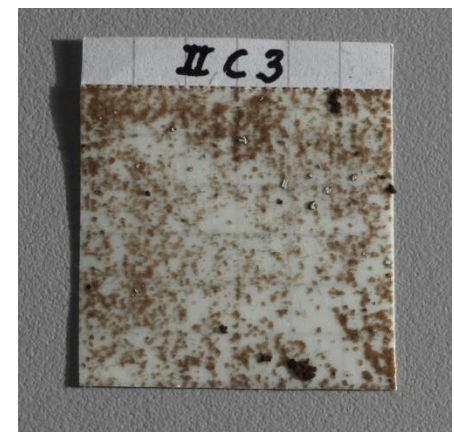
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II C4

KSE 100 + KSE 300 HV + MBN Nf070 10g/l 98% etanol	SMĚS 1:1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1 ml



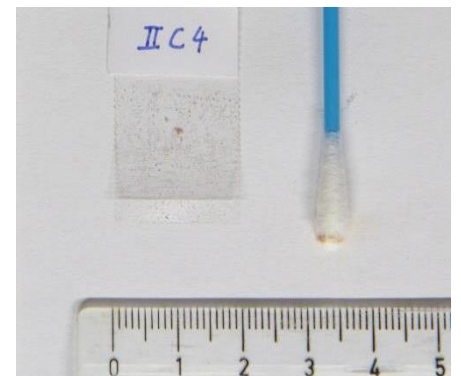
Pole C4 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

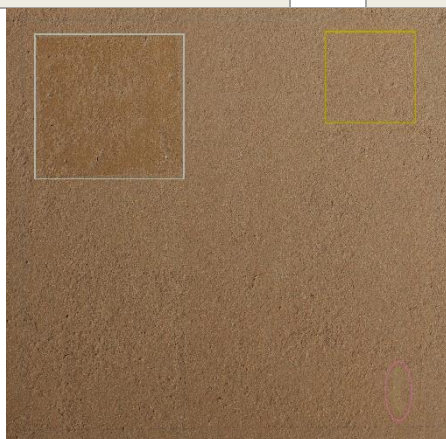
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB
mikroskopu



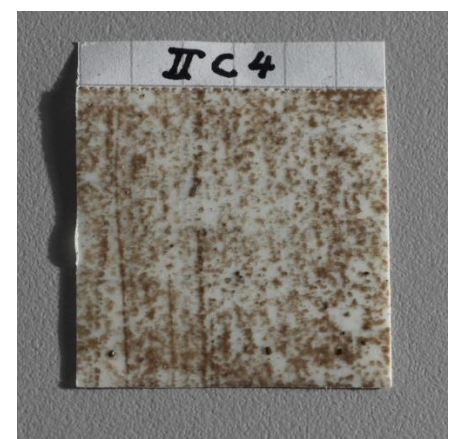
Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



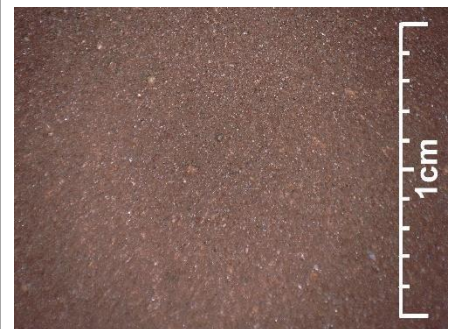
Odrhový test II

II C5

KSE 100 + KSE 300 HV + CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol	SMĚS 1:1:2	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,2 ml



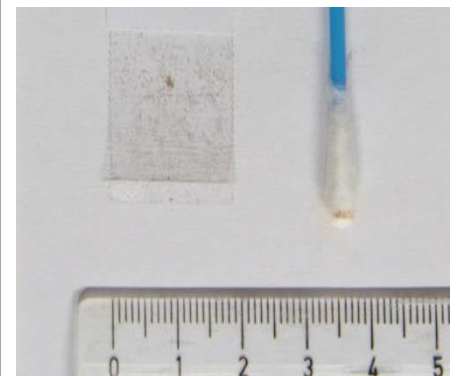
Pole C5 po zpevnění



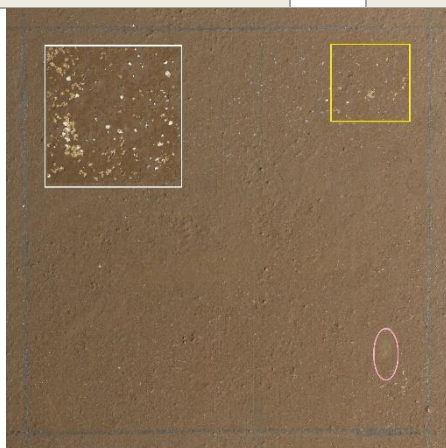
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



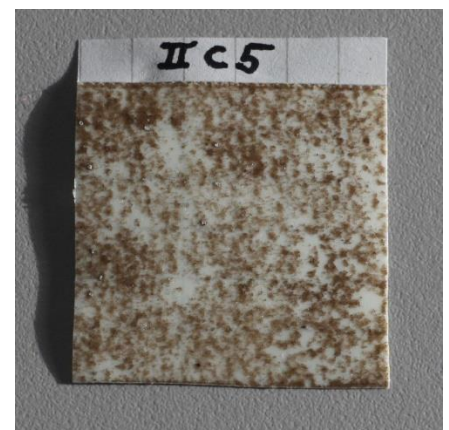
Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

II C6

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
CSGI E
10g/l 98% etanol

SMĚS 1:1:2

Aplikace: 25.4.2014
Počet cyklů: 1x
Vlhčení: bez H₂O
Množství: 1,5 ml



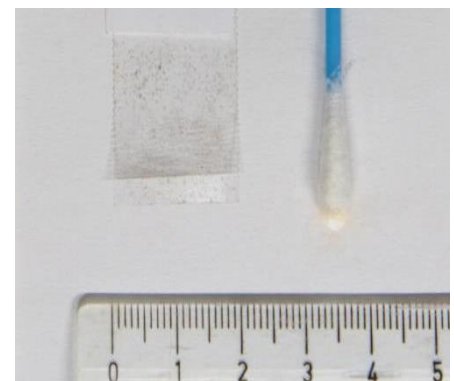
Pole C6 po zpevnění



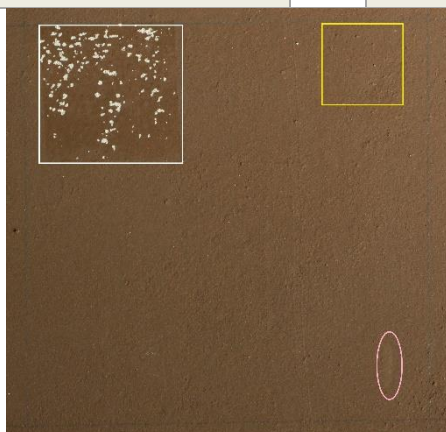
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



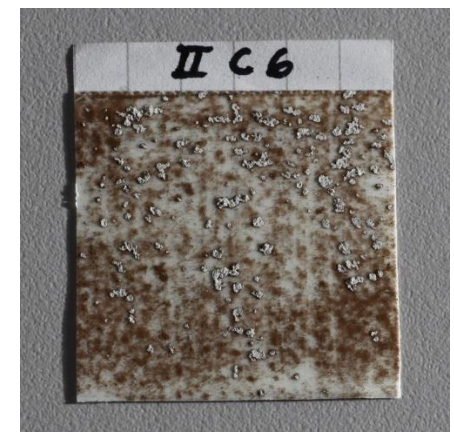
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

Žlutá Odtrh. test I
Bílá Odtrh. test II
Růžová Stěr vatovou
tyčinkou



Odtrhový test II

II C7

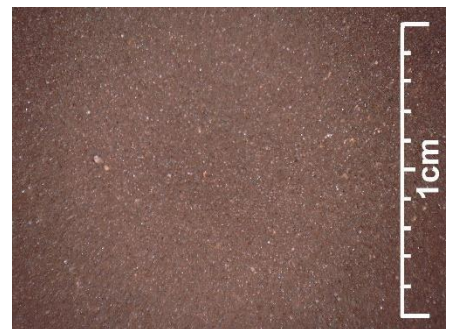
KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	} } }	SMĚS 1:1:2	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml
--	-------------	------------	---



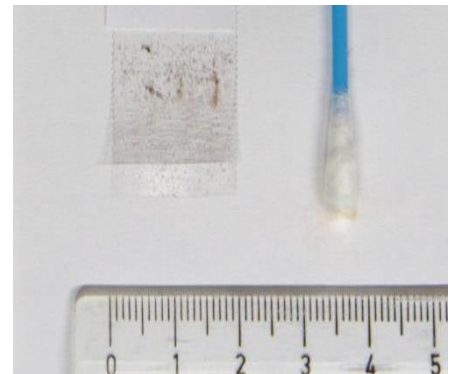
Pole C7 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

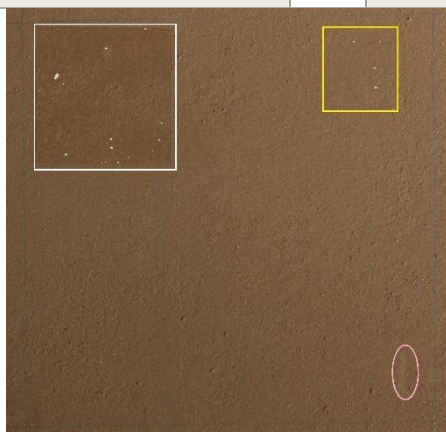
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB
mikroskopu



Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

II C8

KSE 100 + KSE 300 HV + MBN Nf070 10g/l 98% etanol	SMĚS 1:1:2	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,6 ml



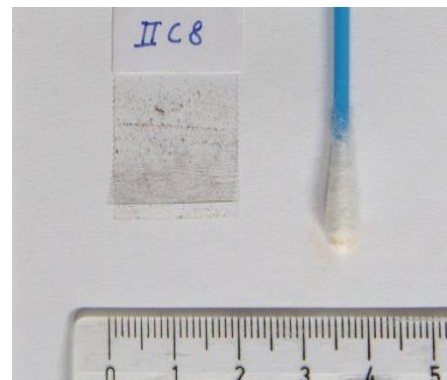
Pole C8 po zpevnění

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

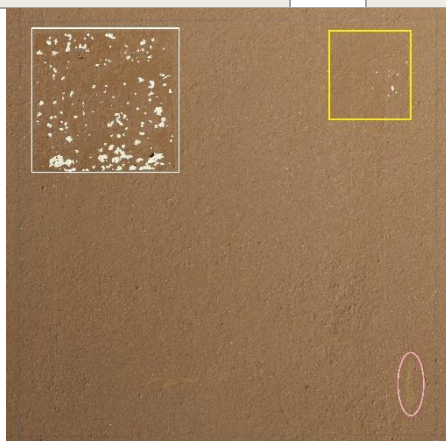
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

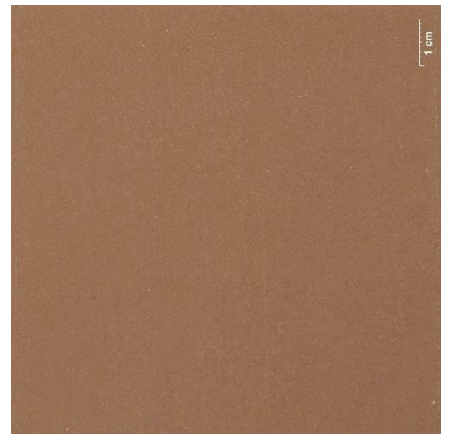
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II C9		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml



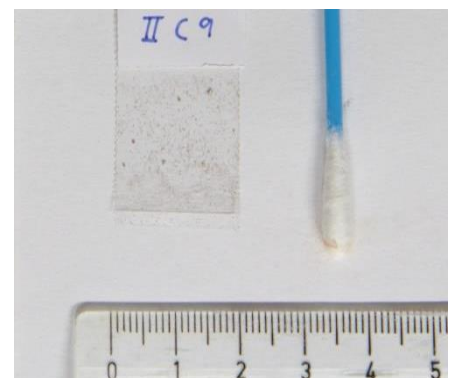
Pole C9 po zpevnění



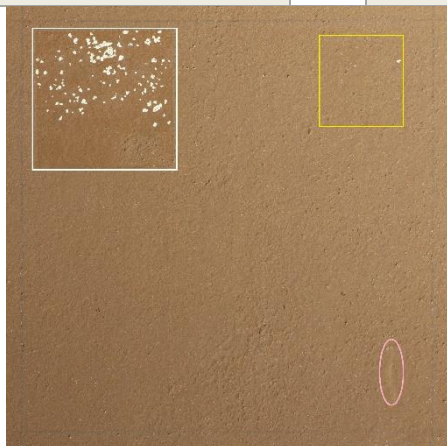
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



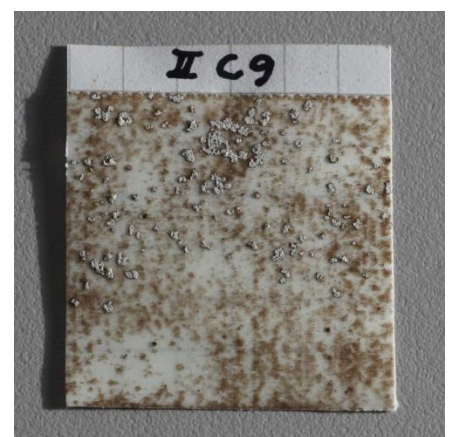
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II C10		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300	SMĚS 1:1	Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2,7 ml (2,3 + 0,4)



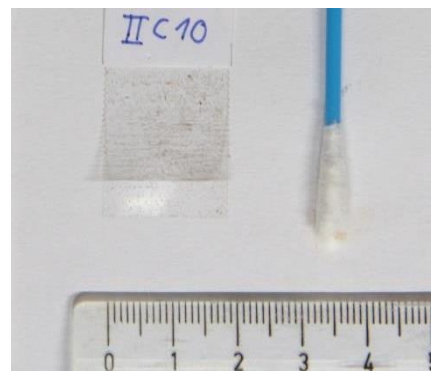
Pole C10 po zpevnění



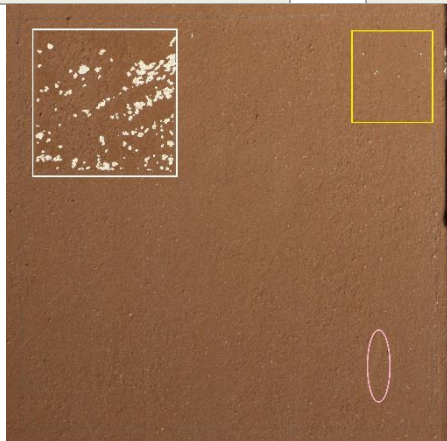
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



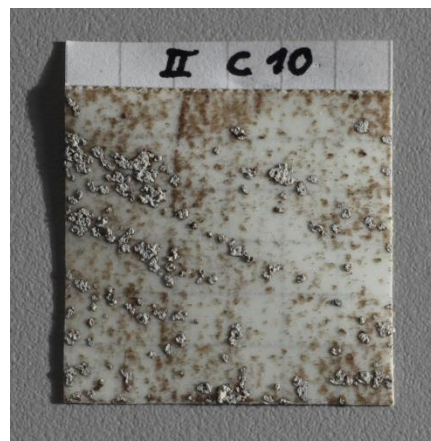
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

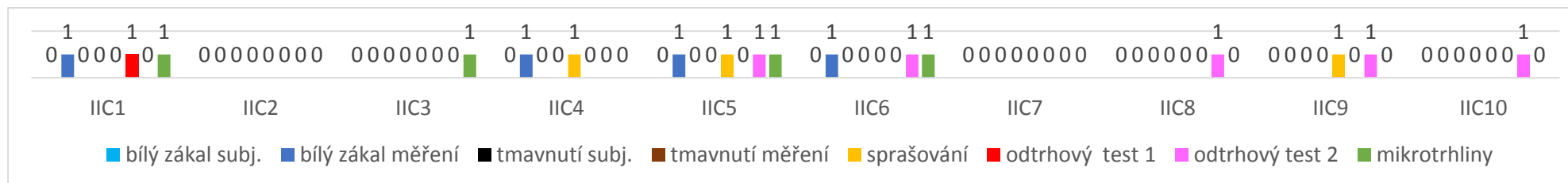
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel II, řada C



Graf 8: Hodnocení nežádoucích efektů na panelu II, v polích 1 -10 řady C

V polích 1 až 8 v řadě C byly porovnávány výsledky zpevňování tříslložkových směsí, avšak namísto KSE 300HV byl použit produkt KSE 300. Prokazatelně se tyto prostředky v tomto užití od sebe neliší, stabilita i míra zpevnění se jeví jako přibližně stejná.

3.2.8. Zkoušky na panelu II – řada D



V polích 1 až 4 a 9 jsme zkoušeli další možnosti zpevňování směsmi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité v poměru 1:1.

V polích 5 až 7 jsme aplikovali kombinaci tří složek ve směsi. S vápennou suspenzí v koncentraci 10 g/l jsme mísili organokřemičitany KSE 100, KSE 300HV v různých poměrech směsi. Po této směsi byly ve 2-4 kolech naneseny ještě samostatné vápenné suspenze v koncentraci 5 g/l. Na konci každého kola bylo pole vlhčeno destilovanou vodou, abychom zabránili tvorbě bílého zákalu.

V poli 8 jsme zkoušeli vrstvenou aplikaci esterů kyseliny křemičité a vápenné suspenze. Nejprve byl nanesen prostředek KSE 100, další vrstvu tvoří KSE 300HV a nakonec byla aplikována suspenze CaLoSiL® E25 (5 g/l) ve dvou kolech.

II D1		
MBN Nf070 10g/l 98% etanol + KSE 300	SMĚS 1:1	Aplikace: 6.5.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml



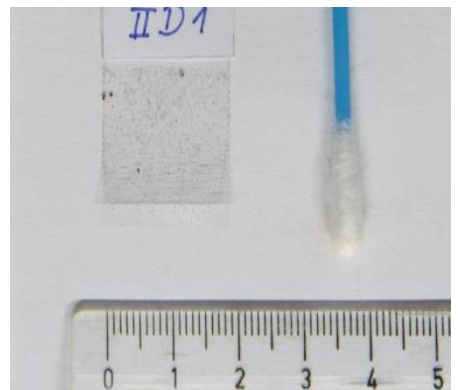
Pole D1 po zpevnění



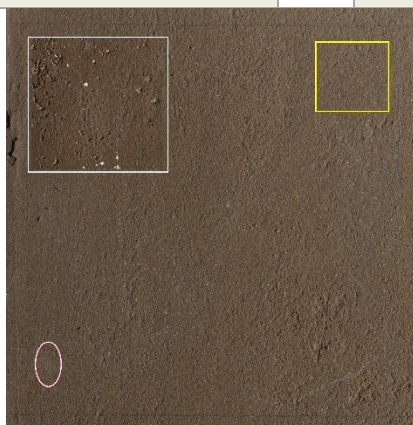
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



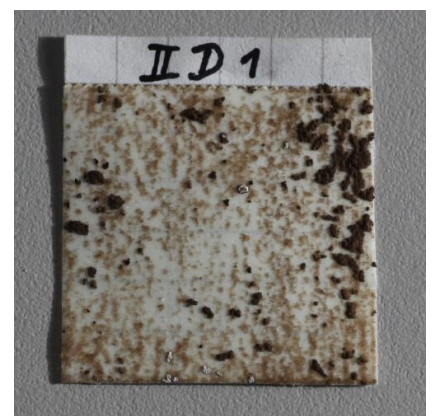
Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

II D2

MBN Nf070

10g/l 98% etanol

+

KSE 300

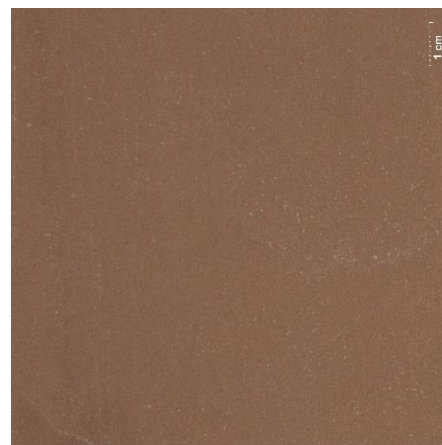
SMĚS 1:1

Aplikace: 6.5.2014

Počet cyklů: 2x

Vlhčení: bez H₂O

Množství: 2,8 ml (1,5 + 1,3)



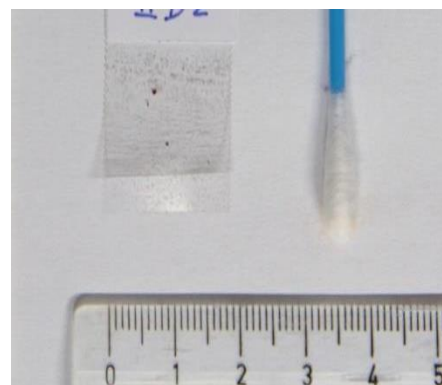
Pole D2 po zpevnění



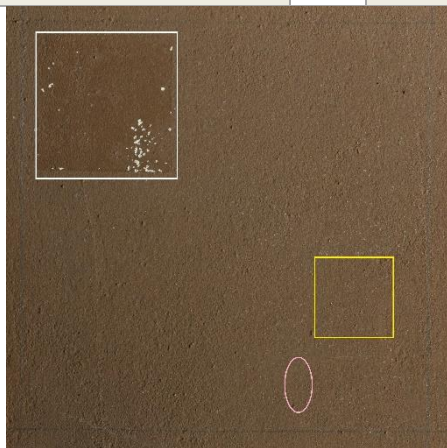
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



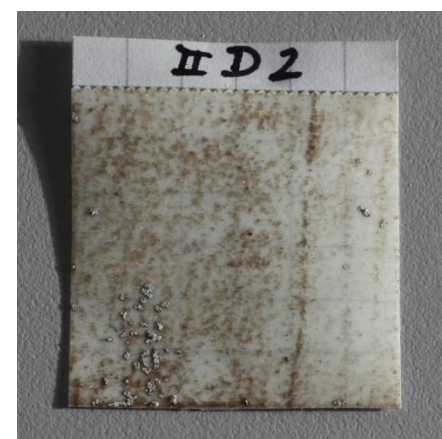
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

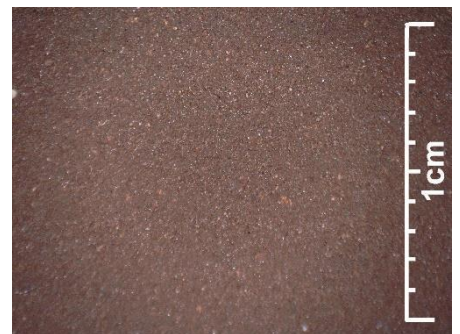


Odtrhový test II

II D3		
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 300	SMĚS 1:1	Aplikace: 6.5.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,3 ml



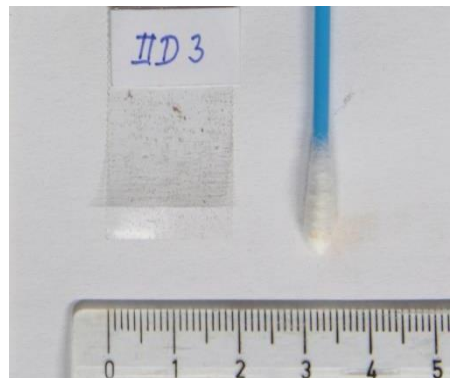
Pole D3 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



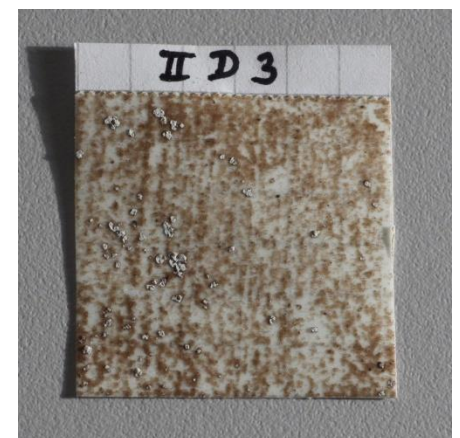
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II D4	
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 300	SMĚS 1:1 Aplikace: 25.4.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 4,2 ml (1,7+2,5)



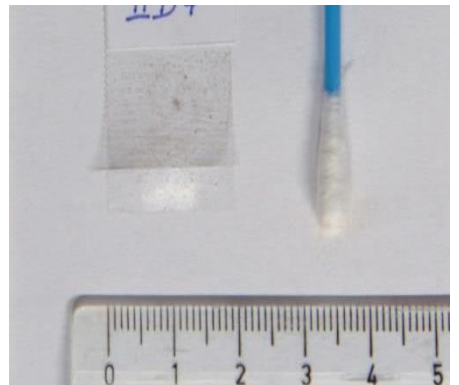
Pole D4 po zpevnění



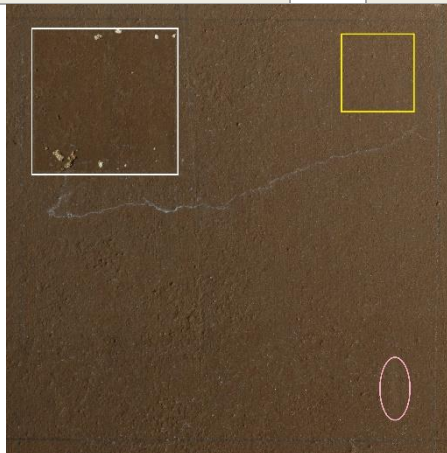
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	2	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



Odrhový test I



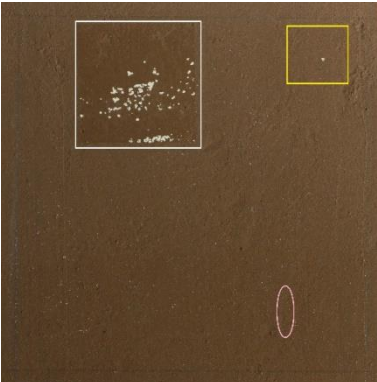
Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odrh. test I
- Bílá** Odrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

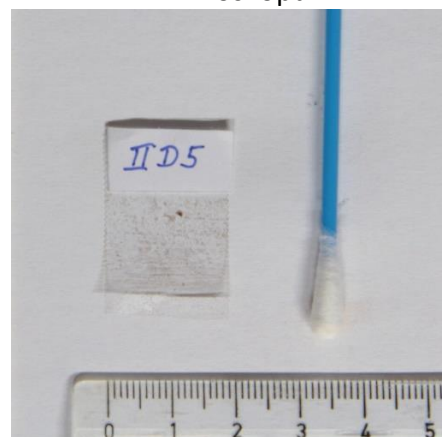
II D5			
KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	} SMĚS 1:1:2	Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,5 ml	
CaLoSiL® E25 5g/l 98% etanol		Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: 2x H ₂ O Množství: 5 ml (3+ 2)	
Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	1
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	1
 <p>Pole po zkouškách zpevnění</p>	Legenda: Žlutá Odtrh. test I Bílá Odtrh. test II Růžová Stěr vatovou tyčinkou		



Pole D5 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Odtrhový test II

II D6

KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	SMĚS 1:1:2	Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml
CSGI E 5g/l technický etanol		Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: 2x H ₂ O Množství: 4 ml (2+2)



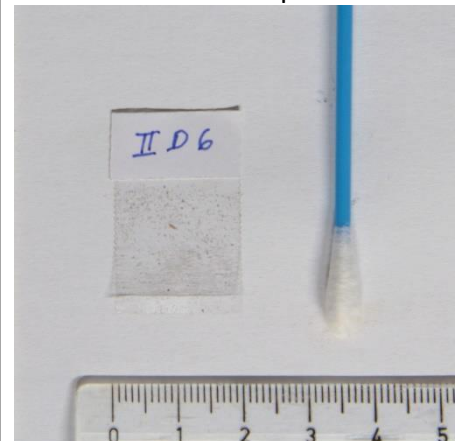
Pole D6 po zpevnění



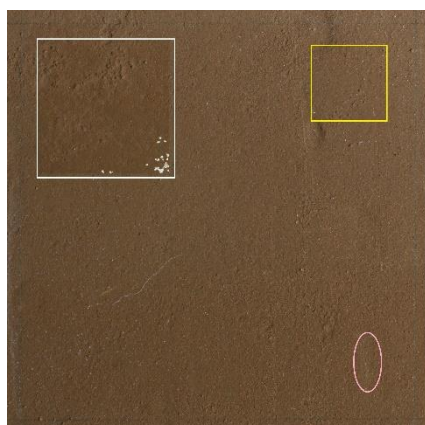
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

II D7

<p>KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol</p>	<p>SMĚS 1:1:2</p>	<p>Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H₂O Množství: 1,5 ml</p>
<p>ZFB 703i 5g/l technický etanol</p>		<p>Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: 2x H₂O Množství: 4 ml (2,5+ 1,5)</p>



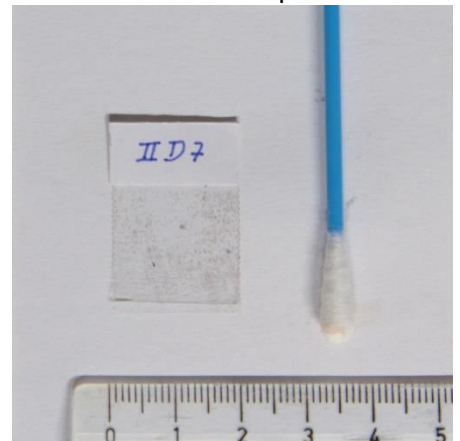
Pole D7 po zpevnění



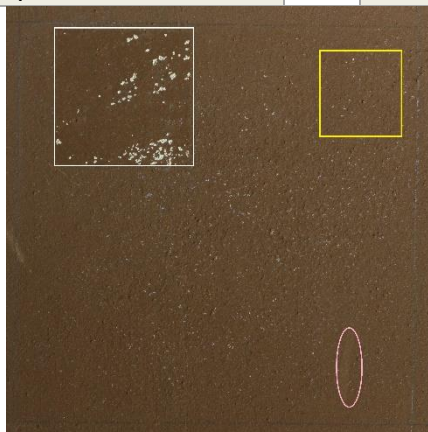
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

<p>bílý zákal vizuální pozorování</p>	<p>2</p>	<p>sprašování vizuální pozorování</p>	<p>0</p>
<p>bílý zákal měření spektrofotometrem</p>	<p>0</p>	<p>odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm²</p>	<p>0</p>
<p>tmavnutí vizuální pozorování</p>	<p>2</p>	<p>odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm²</p>	<p>0</p>
<p>tmavnutí měření spektrofotometrem</p>	<p>2</p>	<p>mikrotrhliny vizuální pozorování</p>	<p>0</p>



Odtrhový test I



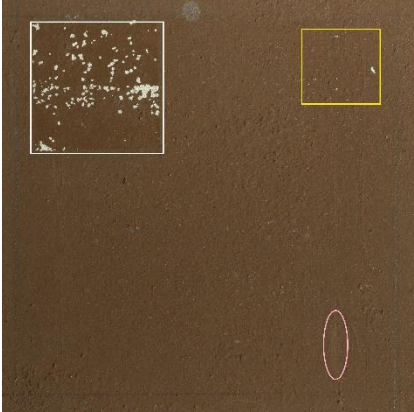


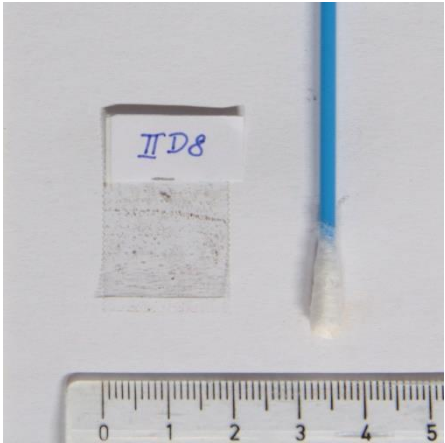
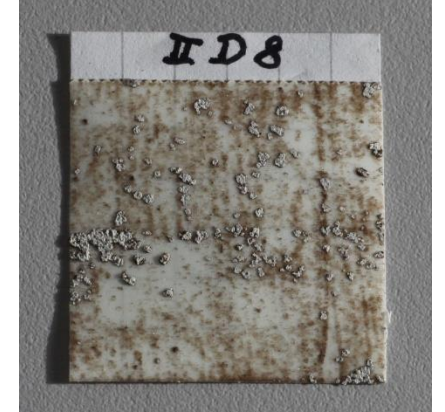
Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

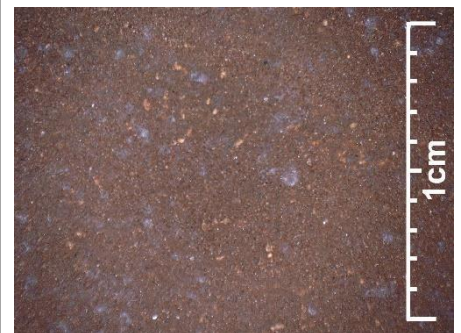
II D8			
KSE 100	Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml		
KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	SMĚS 1:1 Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml		
CaLoSiL® E25 5g/l technický etanol	Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 4x Vlhčení: 4x H ₂ O Množství: 7,7 ml (2 + 1,5 + 2 + 2,2)		
Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
 <p>Pole po zkouškách zpevnění</p>		Legenda: Žlutá Odtrh. test I Bílá Odtrh. test II Růžová Stěr vatovou tyčinkou	
		 <p>Pole D8 po zpevnění</p>	
		 <p>Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu</p>	
		 <p>Odtrhový test I</p>	
		 <p>Odtrhový test II</p>	

II D9

KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i 10g/l 98% etanol	SMĚS 1:1:2	Aplikace: 13.5.2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 4,5 ml (1 + 3,5)



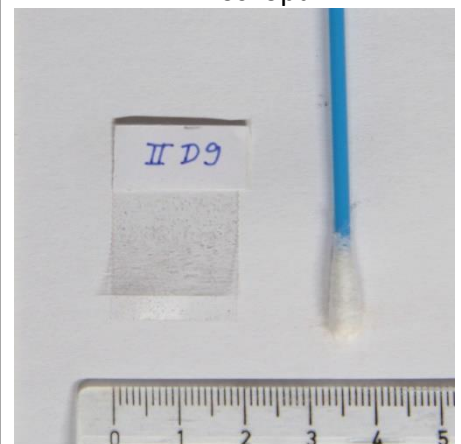
Pole D9 po zpevnění



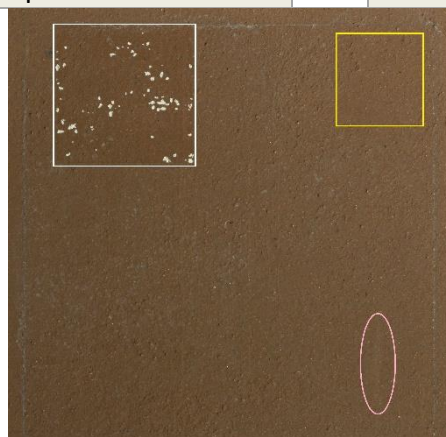
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	0	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

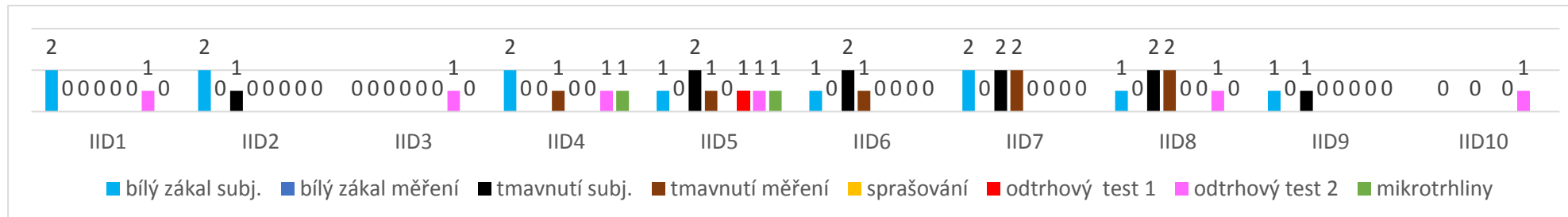
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel II, řada D



Graf 9 Hodnocení nežádoucích efektů na panelu II, v polích 1 -10 řady D

V polích 1 až 4 řady D bylo pokračováno v porovnávání použití zpevňovače KSE 300 ve dvousložkových směsích s vápennými suspenzemi. Ani zde se neprojevují výraznější rozdíly mezi produktem KSE 300HV a KSE 300. Pole 5 až 7 byly vymezeny dalšímu testování směsí esterů kyseliny křemičité s vápennými suspenzemi. Třísložková směs s větším poměrem vápenné suspenze a následným opakovaným dozpevňováním čistou vápennou suspenzí (5 g/l) vykazuje velmi dobrou míru zpevnění. Nevýhodou jsou však vizuální změny – tvorba slabého bílého zákalu a tmavnutí. Bílému zákalu nebylo možno se vyvarovat ani pravidelným vlhčením po každém kole aplikace.

3.2.9. Zkoušky na panelu II – řada E



V polích 1 a 2 jsme opakovali zkoušky z polí A6 a A7 pro jejich překvapivě špatný výsledek.

V polích 3 až 5 jsme aplikovali směsi vápenných suspenzí s prostředkem na bázi esterů kyseliny křemičité KSE 300HV. Na tuto vrstvu byla po zaschnutí nanášena další směs vápenné suspenze s prostředkem KSE 100 pro zajištění vyšší míry pevnosti.

V polích 6-8 jsme aplikovali směsi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité v poměru 1:1. Po této směsi byly ve 4 kolech nanášeny ještě samostatné vápenné suspenze (5 g/l).

II E1		
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml (1+1)



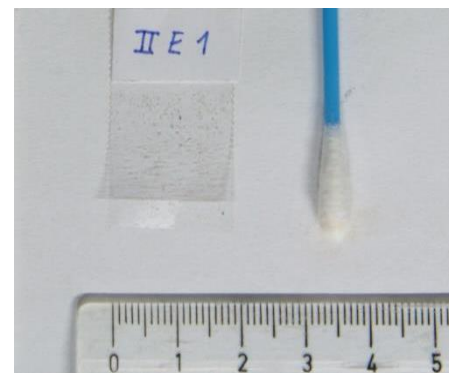
Pole E1 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



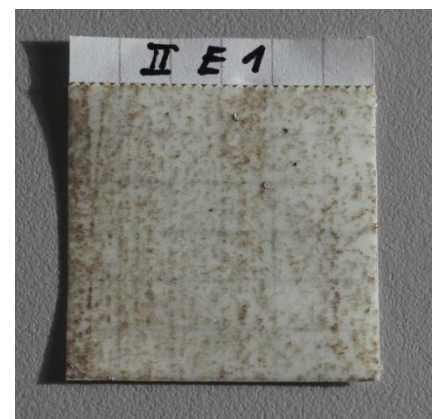
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II E2		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 2x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 3,5 ml (2 + 1,5)



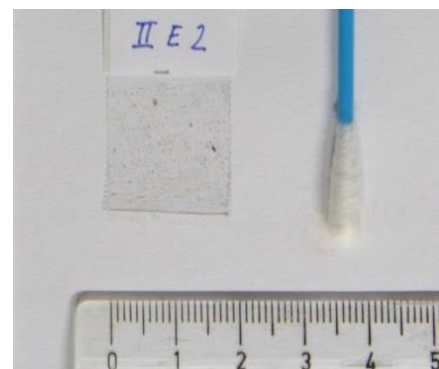
Pole E2 po zpevnění



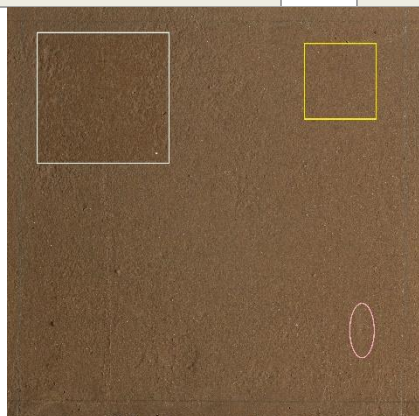
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	2	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

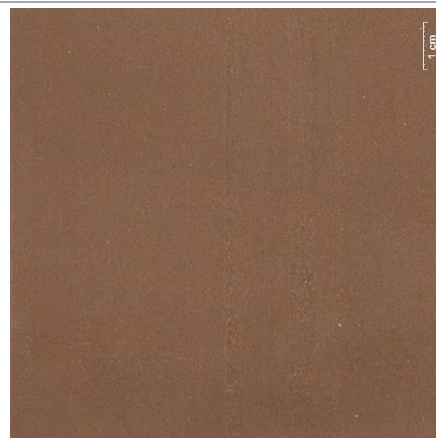
Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

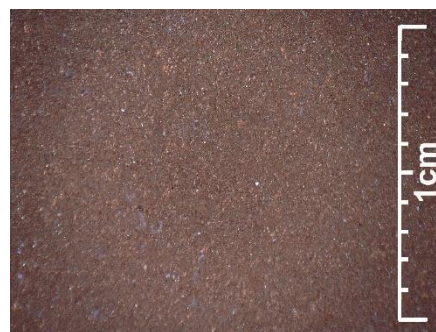


Odtrhový test II

II E3	
ZFB 703i 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1 Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1 ml
ZFB 703i 10g/l 98% etanol + KSE 100	SMĚS 1:1 Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,3 ml



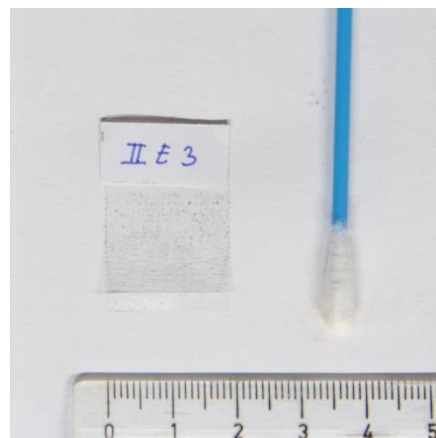
Pole E3 po zpevnění



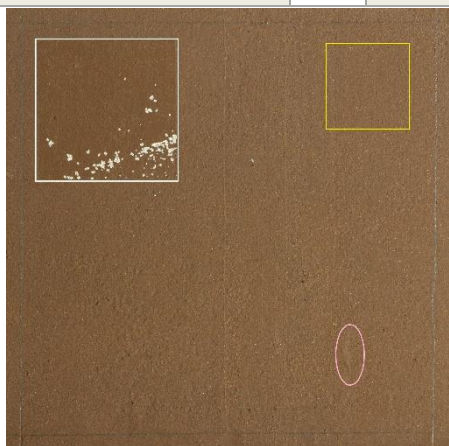
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



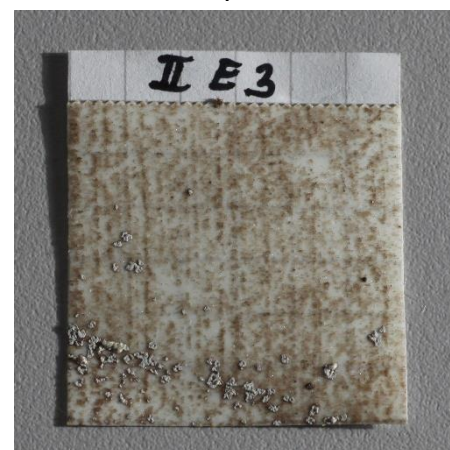
Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II E4		
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,7 ml
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 100		Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 0,5 ml



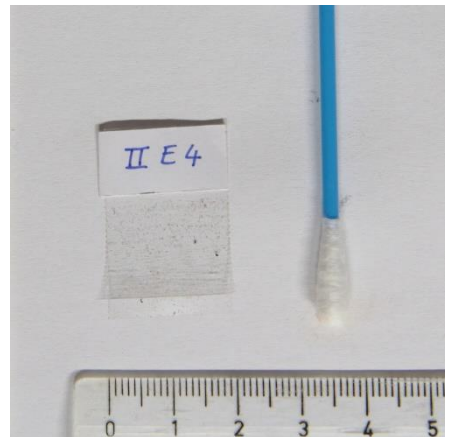
Pole E4 po zpevnění



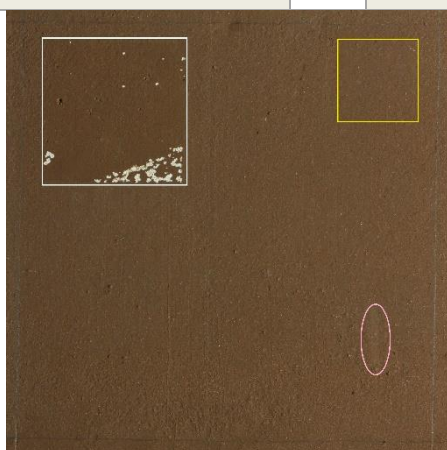
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	3	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	3	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou

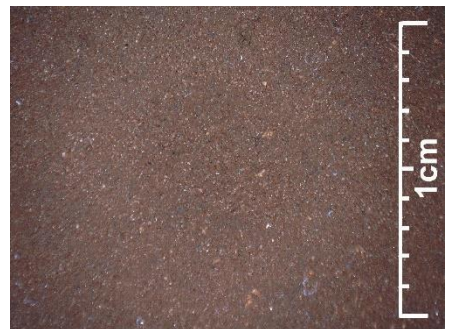


Odtrhový test II

II E5		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 28.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1 ml
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 100		Aplikace: 28.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1 ml



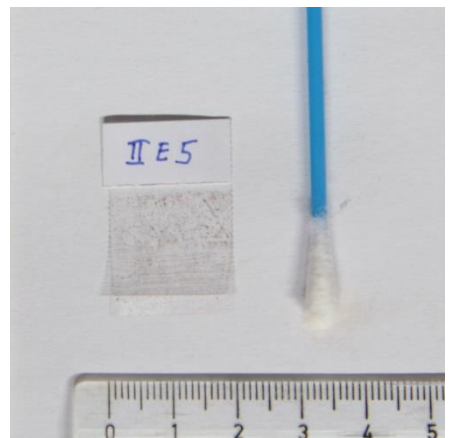
Pole E5 po zpevnění



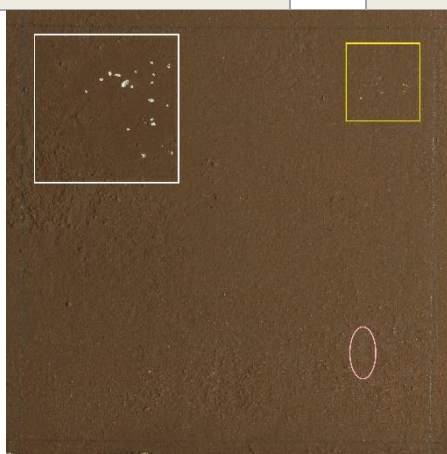
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	3	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	1	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	2	mikrotrhliny vizuální pozorování	1



Odrhový test I



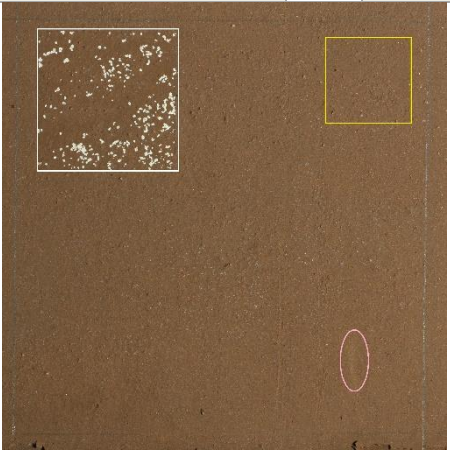
Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odrh. test I
- Bílá** Odrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odrhový test II

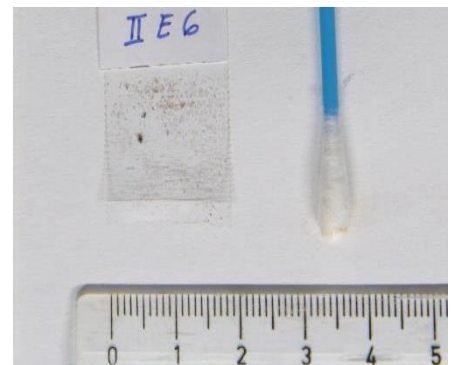
II E6			
ZFB 703i 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 28.4.2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml	
ZFB 703i 5g/l technický etanol		Aplikace: 28.4.2014 Počet cyklů: 4x Vlhčení: 4x H ₂ O Množství: 6,8 ml (1,8 + 1 + 2,5 + 1,5)	
Změny zaznamenané po aplikaci prostředku			
bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	1
bílý zákal měření spektrofotometrem	2	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0
		Legenda: Žlutá Odtrh. test I Bílá Odtrh. test II Růžová Stěr vatovou tyčinkou	
Pole po zkouškách zpevnění			



Pole E6 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu



Odtrhový test I



Odtrhový test II

II E7		
CSGI E 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 1,3 ml
CSGI E 5g/l technický etanol		Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 4x Vlhčení: 4x H ₂ O Množství: 5,7 ml (1,7 + 1,5 + 1 + 1,5)



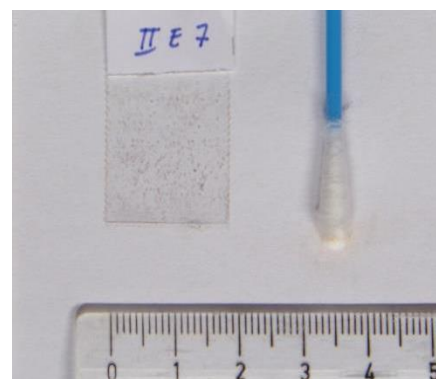
Pole E7 po zpevnění



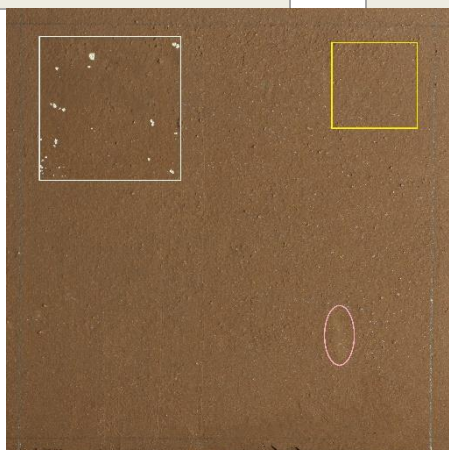
Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	3	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	1	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II E8		
CaLoSiL® E25 10g/l 98% etanol + KSE 300 HV	SMĚS 1:1	Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 1x Vlhčení: bez H ₂ O Množství: 2 ml
CaLoSiL® E25 5g/l 98% etanol		Aplikace: 28. 4. 2014 Počet cyklů: 4x Vlhčení: 4x H ₂ O Množství: 5,4 ml (1,5 + 1,4 + 1 + 1,5)



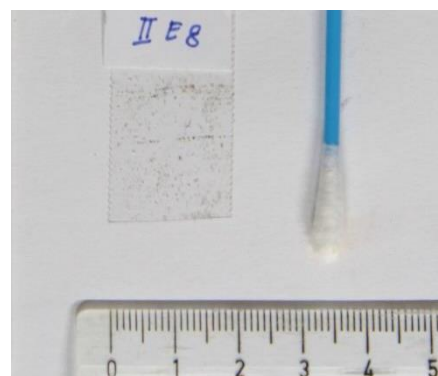
Pole E8 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

bílý zákal vizuální pozorování	1	sprašování vizuální pozorování	0
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	0
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Odtrhový test I



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



Odtrhový test II

II E9, E10 a D10

STANDARD

Nezpevněno

Změny zaznamenané po aplikaci prostředku

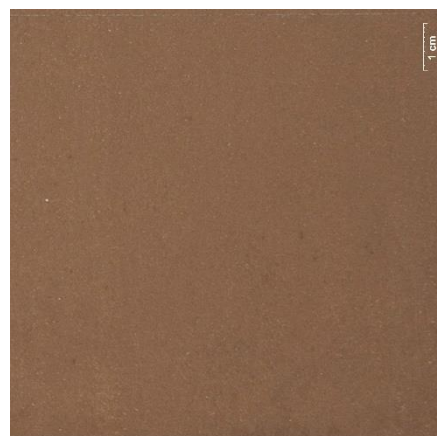
bílý zákal vizuální pozorování	0	sprašování vizuální pozorování	2
bílý zákal měření spektrofotometrem	1	odtrhový test I množství odtrženého materiálu na 4 cm ²	0
tmavnutí vizuální pozorování	0	odtrhový test II množství odtrženého materiálu na 9 cm ²	1
tmavnutí měření spektrofotometrem	0	mikrotrhliny vizuální pozorování	0



Pole po zkouškách zpevnění

Legenda:

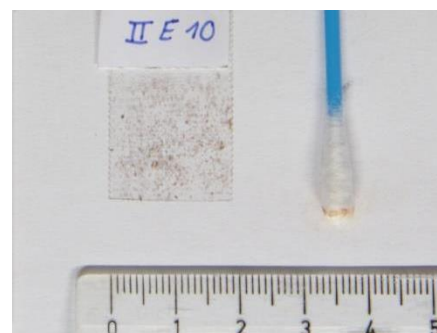
- Žlutá** Odtrh. test I
- Bílá** Odtrh. test II
- Růžová** Stěr vatovou tyčinkou



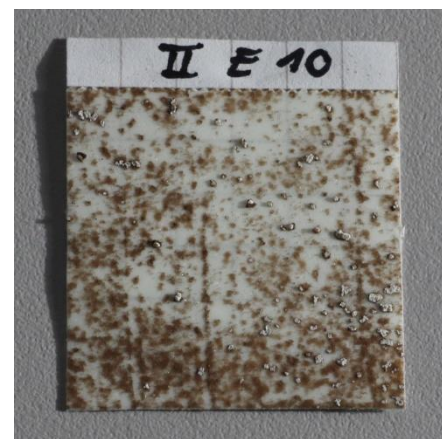
Pole E10 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

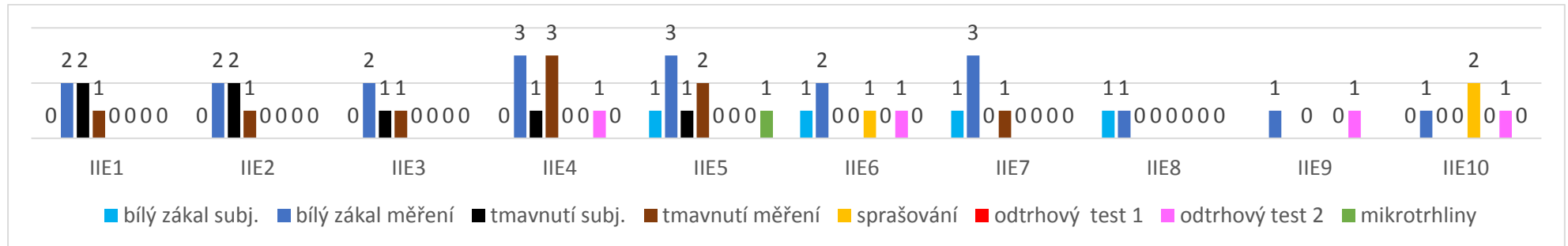


Odtrhový test I



Odtrhový test II

Souhrnné výsledky posouzení vizuálních změn a míry zpevnění - panel II, řada E



Graf 10 Hodnocení nežádoucích efektů na panelu II, v polích 1 -10 řady E

Výborné zpevňující účinky, ale značné ztmavnutí lze zaznamenat u zkoušek 1 a 2 v řadě E, jež byly opakováním nezdařilých zkoušek A6 a A7. Zkouška A7, na které byl vytvořen kompaktní bělavý zákal, byla provedena 4 dny starou směsí. U nové zkoušky v poli E2 byla směs namíchána bezprostředně před použitím a ke tvorbě zákalu již zde nedošlo. Ačkoli se směs jeví i po několika dnech dobře mísitelná, není vhodné ji skladovat a používat už po několika hodinách od namíchání. V polích 3 až 8 v řadě E bylo pokračováno v aplikování dvousložkových směr organokřemičitanu s vápennou suspenzí a jejich kombinováním s čistou vápennou suspenzí či další dvousložkovou směsí. Kromě mírného až středního tmavnutí dosahují velmi dobrých výsledků. Odtrhový test na nezpevněném vzorku (standard) ukázal, že jeho výsledky mohou být značně zavádějící, protože nedošlo k téměř žádnému odběru materiálu.

3.3. Studium a hodnocení mikrostruktury

Zkoumání mikrostruktury konsolidovaných vzorků bylo provedeno pomocí rastrovací elektronové mikroskopie. Pro studium byly vybrány zástupci jednotlivých hlavních typů zpevňovacích systémů – aplikace vápenné nanosuspenze v několika cyklech, postupná aplikace prostředků na bázi esterů kyseliny křemičité a vápenné nanosuspenze a směs obou zmíněných zpevňovacích prostředků.

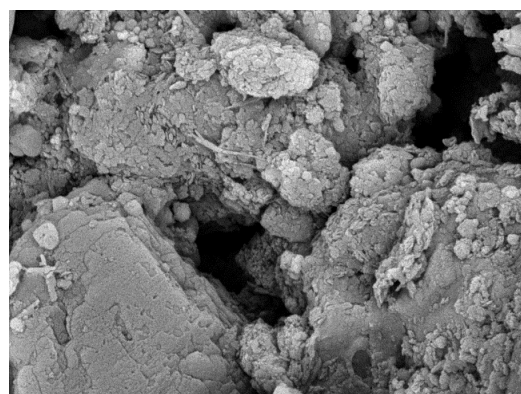
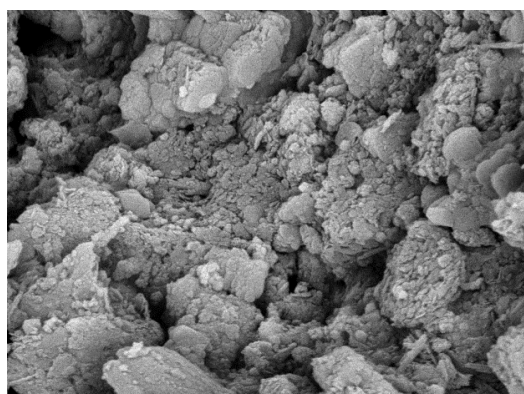
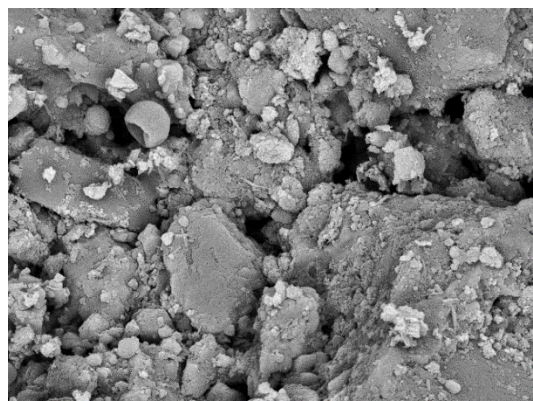
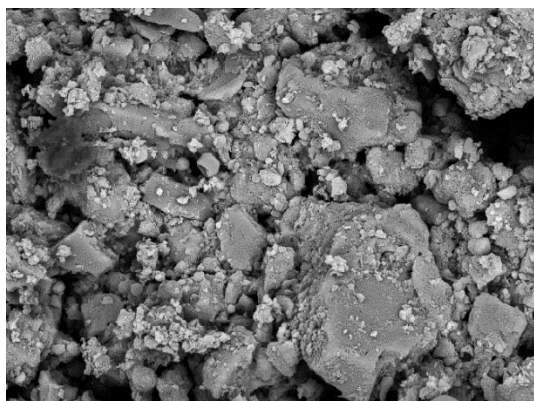
K tomuto účelu byl využit elektronový mikroskop Mira 3 LMU (Tescan) s analytickým systémem Bruker Quantax 2000. Měření bylo provedeno na připravených úlomcích simulace barevné vrstvy ve vysokém vakuu v režimu sekundárních elektronů (SE) a zpětně odražených elektronů (BSE). Vzorky byly před pozorováním pokoveny zlatem. Cílem zkoumání mikrostruktury bylo zjištění distribuce konsolidantu v porézním systému zpevňovaného substrátu, mikrostruktura výsledného pojiva a vzájemné srovnání změn v porézním systému substrátu po konsolidaci. Pro mikroskopické studium byly využity vzorky odebrané ze zkušebních panelů.

3.3.1. Výsledky zkoumání

IB9

vápenná nanosuspenze

CaLoSil E25 zředěný technickým etanolem
na koncentraci 5 g Ca(OH)₂/l,
6 cyklů aplikace

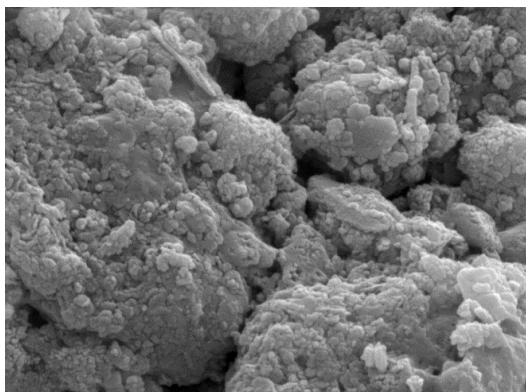
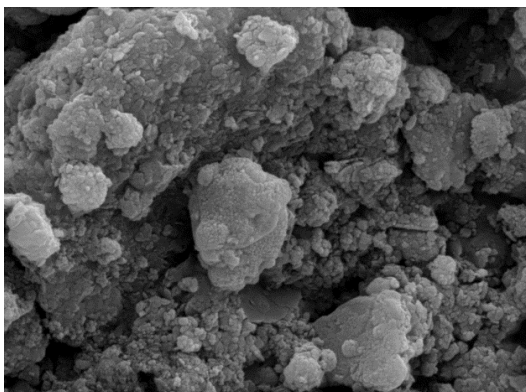
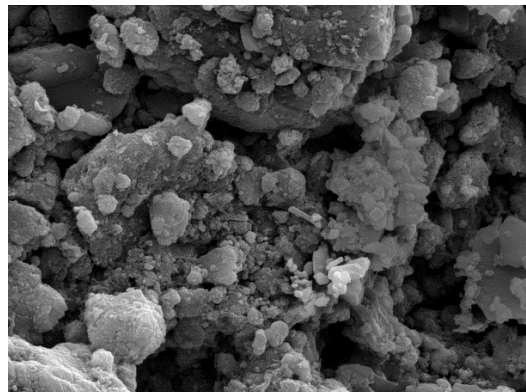
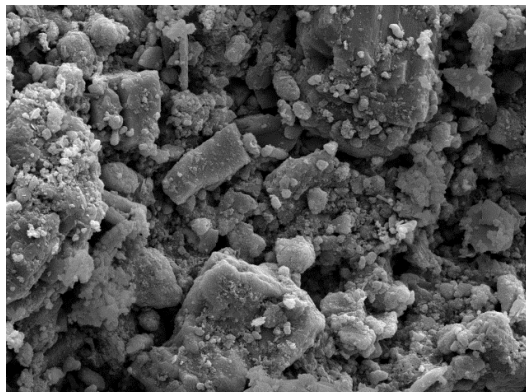


Mikrostruktura vzorku je vysoce porézní. Vzájemný kontakt zrn je převážně dotykový (nedochází k výraznějšímu vyplnění prostoru mezi zrna novým pojivem). Na základě studia mikrostruktury a prvkové analýzy nelze jasně odlišit nové pojivo od zpevňovaného substrátu. Lze předpokládat, že konsolidace významně neovlivní fyzikální vlastnosti jako je nasákavost a paropropustnost.

IC9

Vápenná nanosuspenze

CaLoSil E25 zředěný technickým etanolem
na koncentraci 10 g Ca(OH)₂/l,
3 cykly aplikace



Mikrostruktura vzorku je velmi podobná jako u vzorku IB9. I v tomto případě nelze jednoznačně rozlišit nové pojivo od zpevnovaného substrátu. Vzhledem k vysoké porozitě lze opět předpokládat zachování fyzikálních vlastností jako nasákavost či paropropustnost.

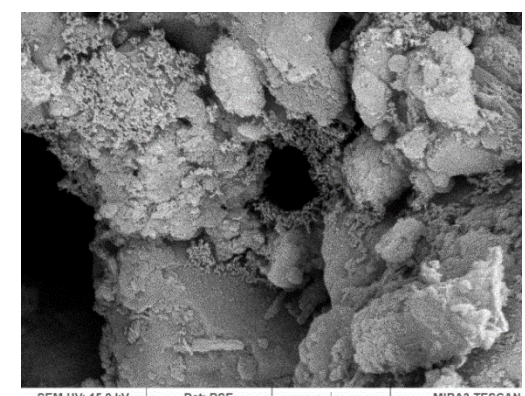
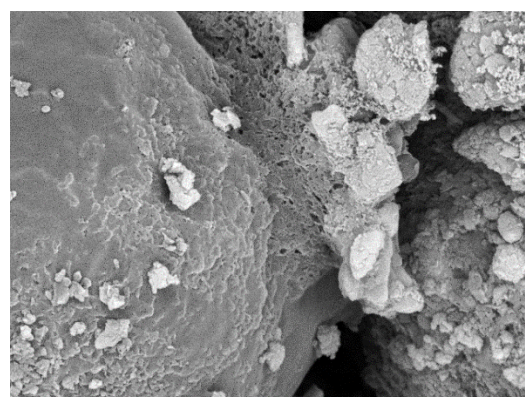
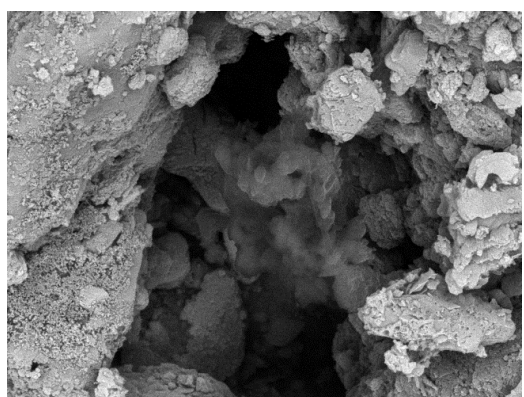
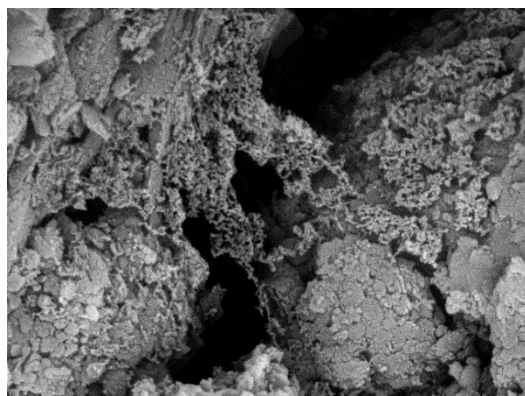
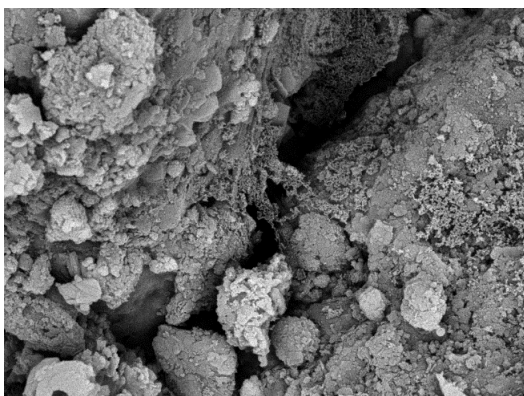
IE1

Postupná aplikace prostředků na bázi esterů kyseliny křemičité a vápenné nanosuspenze

1 x KSE 100

1 x KSE 300HV

1 x CaLoSil E25 zředěný technickým etanolem na koncentraci 10 g Ca(OH)₂/l

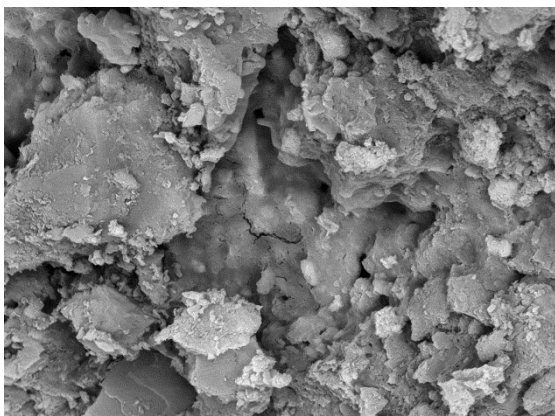


Mikrostruktura vzorku je vysoce porézní. Nové pojivo, které lze odlišit od zpevňovaného substrátu vzhledem k jeho struktuře, se ukládá na stěnách pórů a vyplňuje také kontaktní zóny mezi jednotlivými zrny. Mikrostruktura samotného konsolidantu je většinou mikroporézní a vytváření gelových ostrůvků typických pro organokřemičité konsolidanty byl pozorováno pouze ojediněle. Nelze jednoznačně určit, zda nedochází k překrytí již vytvořené gelové struktury vzniklé reakcí samotného organokřemičitanu deponováním vápenné nanosuspenze na povrchu gelu. Podobně jako u předcházejících vzorků lze předpokládat, že některé fyzikální vlastnosti jako paropropustnost a nasákavost nejsou konsolidací výrazněji ovlivněny.

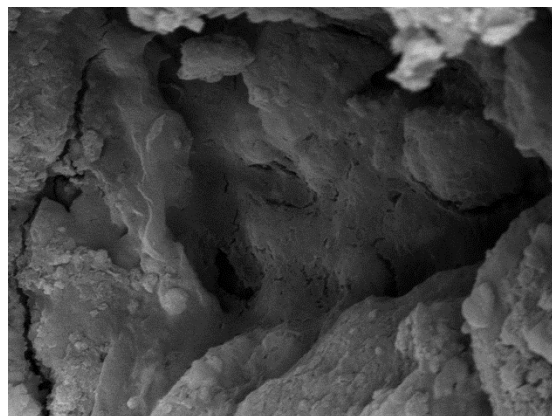
ID6

Směs vápenné nanosuspenze a prostředku na bázi esterů kyseliny křemičité

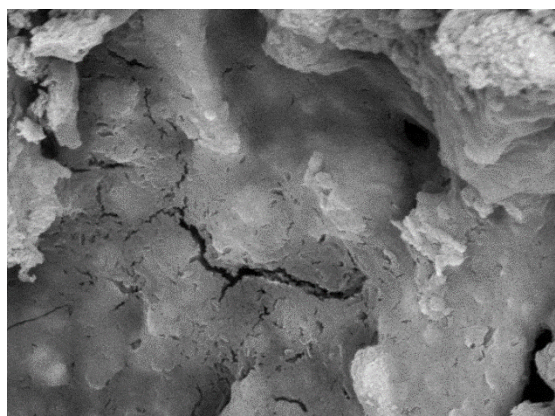
CaLoSil E25 zředěný technickým etanolem
na koncentraci 10 g Ca(OH)₂/l
+ KSE 300HV v poměru 1:1 (obj.)



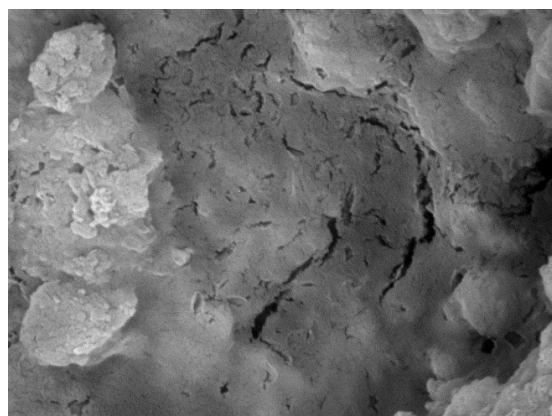
SEM HV: 15.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 10.0 kx WD: 15.28 mm 5 μm IE1



SEM HV: 15.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 25.0 kx WD: 15.29 mm 2 μm IE1



SEM HV: 15.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 30.0 kx WD: 15.29 mm 2 μm IE1



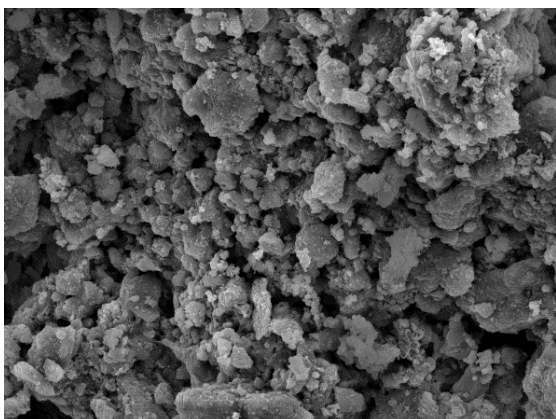
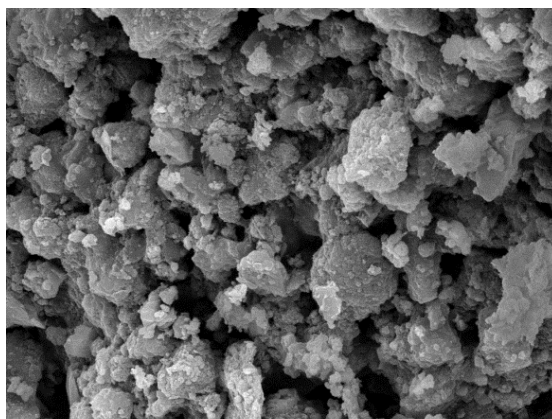
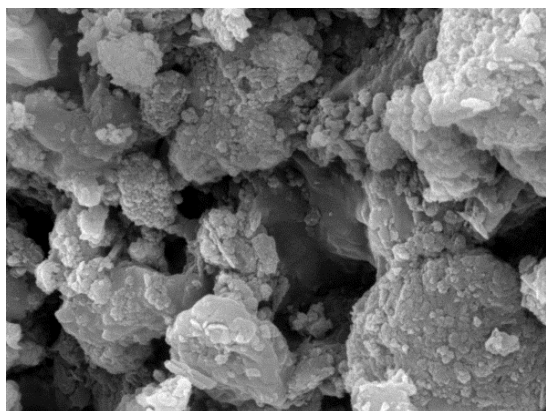
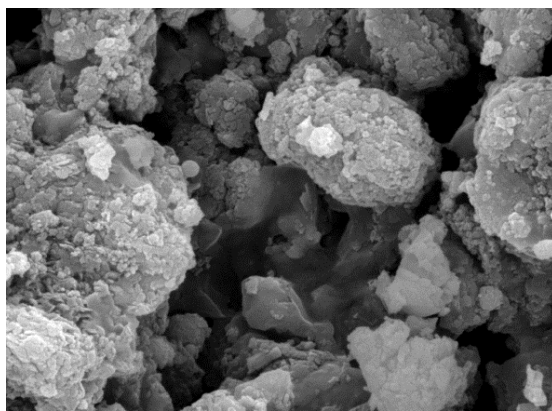
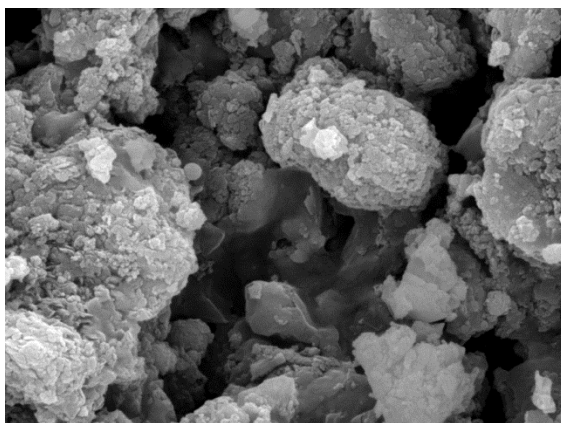
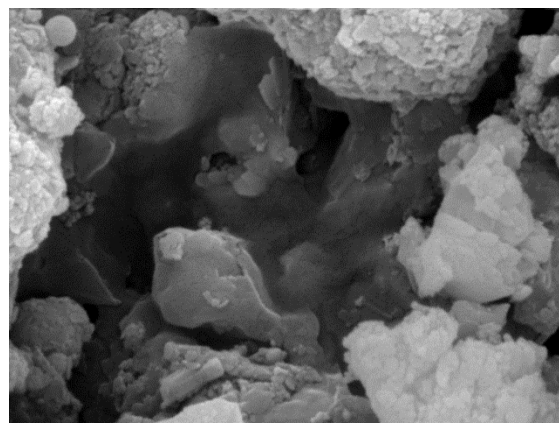
SEM HV: 15.0 kV Det: BSE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 45.0 kx WD: 15.29 mm 1 μm IE1

Mikrostruktura vzorku je vysoce porézní. Nové pojivo, které lze odlišit od zpevňovaného substrátu vzhledem k jeho struktuře, se ukládá na stěnách pórů a vyplňuje také kontaktní zóny mezi jednotlivými zrny. Struktura nového pojiva odpovídá struktuře gelů, přičemž samotný gel má početné mikropraskliny (vzniklé pravděpodobně smršťováním gelu). V porovnání s ostatními vzorky je celková mikrostruktura i vzájemné propojení zrn novým pojivem kompaktnější. Lze předpokládat, že na rozdíl od postupné aplikace organokřemičitých prostředků a vápenných nanosuspenzí dochází vlivem smísení obou prostředků k lepšímu vzájemnému propojení, respektive i k možné reakci. Podobně jako u předcházejících vzorků lze vzhledem k vysoké porozitě předpokládat pouze velmi malé ovlivnění fyzikálních vlastností jako nasákavost a paropropustnost.

ID8Postupná aplikace prostředků
na bázi esterů kyseliny křemičité

1 x KSE 100

1 x KSE 300HV

SEM HV: 15.0 kV Det: SE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 5.00 kx WD: 20.45 mm 10 µm I D 8SEM HV: 15.0 kV Det: SE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 10.0 kx WD: 20.45 mm 5 µm I D 8SEM HV: 15.0 kV Det: SE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 25.0 kx WD: 20.34 mm 2 µm I D 8SEM HV: 15.0 kV Det: SE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 25.0 kx WD: 20.34 mm 2 µm I D 8SEM HV: 15.0 kV Det: SE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 25.0 kx WD: 20.34 mm 2 µm I D 8SEM HV: 15.0 kV Det: SE MIRA3 TESCAN
SEM MAG: 45.0 kx WD: 20.34 mm 1 µm I D 8

Mikrostruktura vzorku je vysoce porézní. Nové pojivo, které lze odlišit od zpevňovaného substrátu vzhledem k jeho struktuře i složení, se ukládá na stěnách pórů a vyplňuje také kontaktní zóny mezi jednotlivými zrnky. Vytváří typické gelové ostrůvky charakteristické pro organokřemičité konsolidanty. Tyto ostrůvky jsou poměrně kompaktní s minimálním počtem prasklin; jsou dobře propojené s okolními částicemi (nebylo pozorováno oddělování gelu od povrchu částic).

3.3.2. Vyhodnocení pozorování

Ze snímků mikrostruktury vyplývá, že každá z výše popsaných skupin vykazuje odlišnou mikrostrukturu nového pojiva. Obecně lze konstatovat, že pojivo se ukládá na stěnách pórů i v kontaktních zónách mezi zrny substrátu a vytváří tak nové propojení, respektive můstky mezi těmito zrny. Na rozdíl od gelů vznikajících vytvrzováním organokřemičitých konsolidantů, je struktura gelů vznikajících kombinací či směsí více porézní, respektive obsahuje větší počet mikroprasklin. V obou případech je napojení gelu na zrna substrátu dobré a nedochází k odtrhávání gelu (nového pojiva) od těchto zrn. U vzorků konsolidovaných pouze vápennými nanosuspensemi nebylo možné jednoznačně odlišit nové pojivo od samotného substrátu. Je to dáno jednak složením nového pojiva, které je chemicky totožné s částicemi přítomnými v substrátu (CaCO_3) a pravděpodobně i jeho mikrostrukturou, která je vysoce porézní. Obecně lze tvrdit, že pórovitost substrátu simulujícího degradovanou barevnou vrstvu není v důsledku konsolidace ani v jednom případě zásadně ovlivněna. Proto lze předpokládat, že ani fyzikální vlastnosti související s pórovitostí, jako paropropustnost nebo nasákavost nebudou v důsledku konsolidace významně pozměněny.

3.4. Závěrečné zhodnocení testování na zkušebních panelech

Jak v rámci objektivních metod, tak i v rámci metod subjektivních lze nalézt rozdílné projevy jednotlivých prostředků. Je poměrně zajímavé, že metody subjektivní ukazují často logičtější výsledky než metody objektivní. To je možné konstatovat především u hodnocení míry zpevnění, kdy oba odtrhové testy neprokázaly dostatečnou rozlišovací schopnost pro adekvátní zpevnění.

Co se týče metod aplikace, již v počátku testování se na zpráškovatělou barevnou vrstvu osvědčilo použití nejjemnějšího rozprašovače. Nanesení nerovnoměrného nebo většího množství zpevňovače či vody (jako následného ošetření), vedlo v mnoha případech k degradaci barevné vrstvy. Zpravidla se jednalo o tmavnutí a ztráty adheze barevné vrstvy k podkladu.

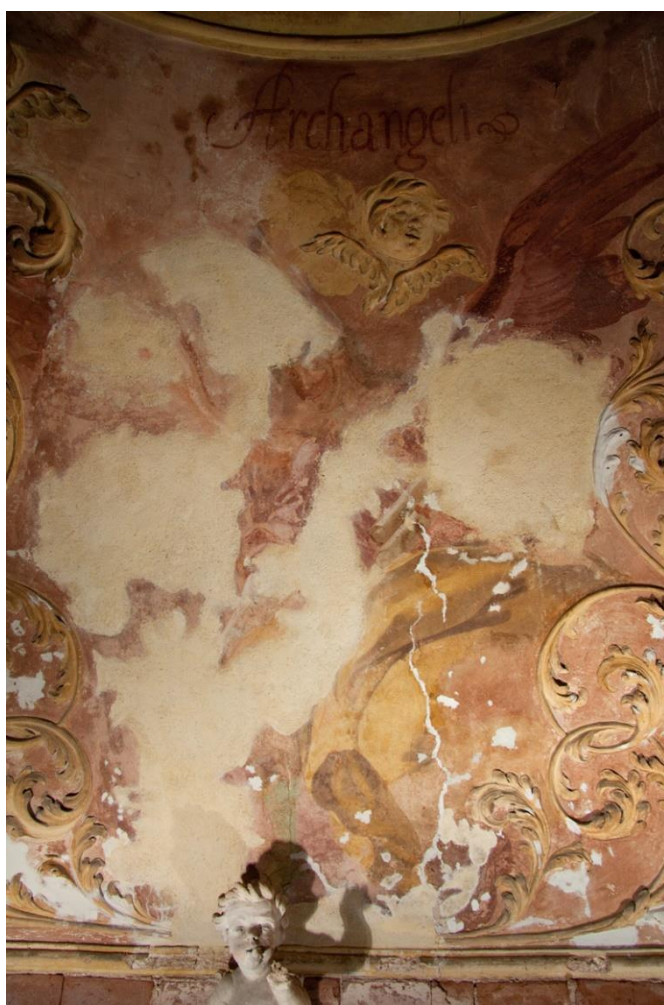
V rámci pozorování estetických dopadů konsolidace byla zaznamenána široká škála intenzity a tónů bílého zákalu, který je pravděpodobně nejvíce ovlivněn množstvím a velikostmi částic $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v suspenzi. Podle výsledků provedených zkoušek lze ale konstatovat, že je možné bílý zákal výrazně redukovat následným vlhčením vodou. To napovídalo, že vznik zákalu souvisí buď se zpětnou migrací $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s vypařujícím se nosičem či s jiným krystalickým uspořádáním $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v případě zvlhčení. Bílý zákal a jeho detailní projevy (u různých suspenzí často velmi odlišné) jsou dobře pozorovatelné na snímcích pořízených pomocí USB mikroskopu.

Dále bylo pozorováno i tmavnutí způsobené následnou aplikací vody (změna

struktury povrchu?) i působením konsolidantů na bázi esterů kyseliny křemičité. To se projevovalo především u vícekrokových aplikací, kdy byl povrch přezpevněn a lokálně docházelo k pnutí barevné vrstvy a vzniku mikrotrhlin. Vznik mikrotrhlin se nicméně objevoval i při nadměrném vlhčení vodou.

Při pozorování mikrostruktury pomocí rastrovací elektronové mikroskopie byly zaznamenány zajímavé poznatky o struktuře kombinovaných aplikací či směsí esterů kyseliny křemičité a vápenných nanosuspenzí. Obě technologie vykazují specifické struktury se znaky tvorby gelu přemostujícího můstky mezi zrny zpevňovaného substrátu, avšak s mírně odlišnou strukturou od čistě křemičitého gelu. Gel jeví tendenci tvořit více mikropraskliny, avšak minimálně v případě směsi organokřemičitanu a vápenné nanosuspenze se zdá distribuce ve zpevňovaném substrátu rovnoměrnější a přemostění mezi zrny substrátu častější. Zdá se, že právě směsi těchto dvou anorganických zpevňovačů by mohly být řešením konsolidace velmi degradovaných substrátů.

4. ZKOUŠKY KONSOLIDAČNÍCH PROSTŘEDKŮ NA REÁLNÉ NÁSTĚNNÉ MALBĚ



Obr. 26: Pohled na západní část kaple sv. Isidora v Křenově a kruchtu, kde vy minulosti docházelo k masivnímu zatékání dešťové vody a ztrátě barevné vrstvy a omítek.
Autor: J. Švadlenka, 2003

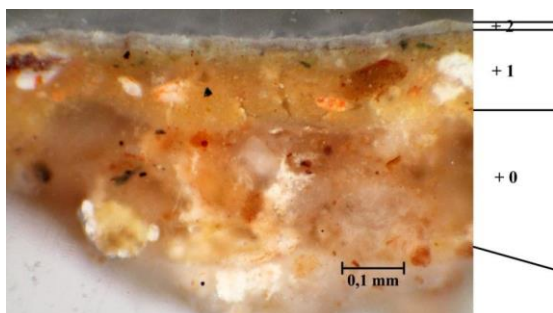
Obr. 27: Výjev s označením *Archangeli* v západní části klenby kaple sv. Isidora v Křenově, stav před zásahem a zkouškami v roce 2014

4.1. Problematika barevné vrstvy na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově

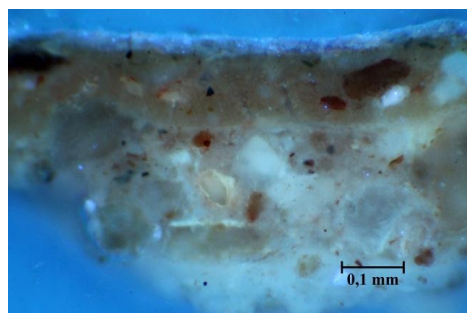
Tento výzkum se zaměřil na hledání vhodného zpevňovacího prostředku nástěnných maleb na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově. Před zvolením vhodného konsolidačního prostředku je důležité obeznámit se se stavem omítek a barevné vrstvy, znát jejich složení a pokusit se zjistit příčinu jejich poškození. Proto zde následuje popis stavu omítek a barevné vrstvy, i když se popisu nástěnných maleb věnuje restaurátorský průzkum v praktické části této práce.

Cihlové zdivo kupole bylo omítnuto cca 2-4 cm silnou vrstvou načervenalé jádrové omítky, jejíž povrch byl zpracován do hladšího, utaženějšího povrchu. Arriccio je poměrně dobře soudržné se zdivem. Jeho barevnost je způsobena vyšším podílem zrn načervenalých živců a patrně také přítomností sloučenin železa. Heterogenní částice písku jsou pravděpodobně pojeny vzdušným vápnem. Dále jsou zde dva druhy intonaca – jemnozrnné, světle béžové s hladším povrchem a načervenalé, které obsahuje křemenná zrna, živec a horninové úlomky.⁴¹

U vrstvy intonaca dochází ke ztrátě přilnavosti k podkladu. Ta se projevuje na rozsáhlých plochách klenby odpouknutím intonaca od jádrové omítky a vytvářením dutin. V nejkritičtějších místech dochází k tvorbě puchýřů a odpadávání omítky od podkladu v celé vrstvě.



Obr.28: Optická mikroskopie v bílém světle. Vzorek jemného béžového inonaca s arricciem. Autor: Petra Lesniaková⁴²



Obr.29: Optická mikroskopie v UV světle. Vzorek jemného béžového inonaca s arricciem. Autor: Petra Lesniaková⁴³

K drolení omítek dochází v místech největšího zasolení a zatékání dešťové vody. Ta zatékala do stavby intenzivně zejména v poslední čtvrtině 20. století. Voda a vlhkost v objektu způsobily migraci vodorozpustných solí. V prostoru kaple byla zjištěna přítomnost dusičnanů a síranů.⁴⁴ Na klenbě se vyskytují tmavé mapy, které jsou oproti okolí působí výrazně vlhčím dojmem. Lokálně jsou v jejich sousedství plochy naopak

⁴¹ Lesniaková P., *Chemicko-technologický průzkum nástrovní malby Devíti kůrů andělských, klenba hřbitovní kaple sv. Isidora v Křenově*, 2014

⁴² Lesniaková P. (cit. pozn. 40)

⁴³ Ibidem

⁴⁴ Studenti FRUPa, *Restaurátorský průzkum nástěnné malby, štuková výzdoba a omítky interiéru kaple sv. Isidora v Křenově*, březen 2012

suché s bělavým zákalem, které jsou rovněž způsobené zasolením. V pokročilém stádiu zasolení dochází k šupinatění barevné vrstvy a nejtěžší případy se zde projevují tvorbou tmavé síranové krusty a postupným rozpadem materiálu.⁴⁵

V letech 2005-2006 byly malby konsolidovány a fixovány v rámci zajišťovacího zákroku. V existující restaurátorské dokumentaci však není zmínka o použitých konsolidačních prostředcích ani o jejich koncentracích.^{46,47} Z ústního kontaktu s restaurátory se nicméně podařilo zjistit, že k penetraci omítek byla použita akrylátová disperze *Hydrogrund*. Na fixaci barevné vrstvy zde byl aplikován prostředek *Mowiol*, který je na bázi ve vodě rozpustného polyvinylalkoholu. Na přelepy byl údajně použit organotýn pojený *Lovosou*, která je tvořena vodorozpustnou methyldihydroxycelulosou.⁴⁸ Fixační prostředek byl lokálně nanesen ve větším množství, takže tvoří lesklé stékance a místy působí pnutí a šupinatění barevné vrstvy. Z chemicko-technologického průzkumu provedeného Fakultou restaurování UPa v roce 2014 vyplývají o fixačním prostředku obdobné informace: „Na povrchu nástěnné malby se v některých místech vyskytují plochy s vyšším leskem nebo posunutým barevným odstínem, jejichž příčinou je přítomnost polymerních fixativ. Fixativa, která jsou rozpustná ve vodě a z některých částí malby je lze sloupnout, jsou tvořena polyvinylalkoholem (PO1, PO5). Ostatní předpokládané druhotné polymerní vrstvy se nepodařilo identifikovat.“⁴⁹

⁴⁵ VANĚČEK, I. *Nástěnné malby*. VŠCHT Praha 1997, s. 42

⁴⁶ HAMSÍKOVÁ R., KAŠPAR J. *Restaurátorská zpráva. Vyhodnocení stavu malířské a sochařské výzdoby kaple*. 2015, kopie je součástí textové přílohy této diplomové práce

⁴⁷ HAMSÍKOVÁ R., HAMSÍKOVÁ D., *Restaurátorská zpráva, II. etapa v roce 2006, fresky J.K. Handkeho v klenbě hřbitovní kaple sv. isidora v Křenově*. 2006, kopie je součástí textové přílohy této diplomové práce

⁴⁸ KOCIÁNOVÁ I. (cit. v pozn. 2), s. 126-131

P. Hamsíková uvedla, že na hloubkovou injektáž snad použily *Hydrogrund* a na plošnou fixáž vodnou disperzi *Mowilith* ve formě polyvinylalkoholu. Protože se *Mowilith* vyskytuje pouze ve formě polyvinylacetátu, jedná se spíše o prostředek *Mowiol*, který svým složením odpovídá polyvinylalkoholu.

⁴⁹ LESNIAKOVÁ P., *Chemicko-technologický průzkum nástrovní malby Devíti kůrů andělských - Klenba hřbitovní kaple sv. Isidora v Křenově*, Katedra chemické technologie Fakulty restaurování, Litomyšl, 2014, s. 39



Obr. 30: Detail zpráškovatělé barevné vrstvy na štuku hlavy andílka. Napravo od štuku se nachází lesklé skvrny po fixážním prostředku použitém v letech 2005-2006



Obr. 31: Detail části většího tmelu z let 2005-2006, který zasahoval do obličejové partie Archanděla. Při okrajích byl tmel roztírán a vznikl tak rezistentní bílý zákal. Barevná vrstva byla celoplošně degradovaná působením vodorozpustných solí.

4.2. V minulosti zkoušené konsolidanty barevné vrstvy nástrojných malby sv. Isidora v Křenově

Ivona Kociánová v rámci diplomové práce i projektu *NANOFORART* testovala různé metody a podmínky aplikace vápených nanosuspenzí. K tomu byly vytvořeny zkušební panely s degradovanou barevnou vrstvou. Pomocí přidané mramorové moučky k pigmentu byla imitována technika nástěnné malby, tzv. kalkmalerei.

Na zkušebních panelech byly testovány vápenné suspenze vyvinuté institucemi *CSGI*, *ZFB* a *MBN* v rámci projektu *NANOFORART*. Zkoušeny a porovnávány byly spolu s komerční nanosuspenzí *CaLoSiL*[®] a vápennou vodou. Vybrané typy nanosuspenzí, esterů a solí kyseliny křemičité byly zkoušeny samostatně. Pro testování konsolidantů na reálné nástěnné malbě byly nakonec vybrány prostředky s nejlepšími výsledky. Laboratorním zkoumáním se prokázaly jako vhodné vápenné nanosuspenze *CaLoSiL E25*, *CSGI 1P35* a *ZFB 695p*. Estery kyseliny křemičité byly vyloučeny z časových důvodů. Jak studentka ve své dokumentaci uvádí: „*Plošným použitím křemičitých prostředků, zejména Sytonu X30 a Sebosilu S, by mohlo dojít k výraznějšímu uzavření povrchu a snížení nasákavosti malby. V případě organokřemičitanu KSE 300 HV by se stal povrch minimálně na tři týdny hydrofobní, což pro potřeby našeho restaurování (mokrého čištění aj.) bylo nežádoucí*“.⁵⁰

O způsobu a podmínkách aplikace je zaznamenáno: „*Vápenné nanosuspenze byly aplikovány při průměrné 75% relativní vzdušné vlhkosti a za teploty, která neklesla pod 7°C. Testovány byly základní způsoby aplikace (sprejování jemně rosící stříčkou, natírání štětcem přes japonský papír a polévání pomocí stříkačky). Vlastnosti konsolidantů byly sledovány při různých koncentracích. Do experimentu jsme zahrnuli různé metody aplikace např. následné rosení vodou nebo zakrývání konsolidovaného místa vodným záblem. Prostředky, které byly aplikovány v několika kolech, byly znovu nanášeny přibližně po pěti minutách, měřítkem technologické pauzy byl odpar rozpouštědla*“.⁵¹

Nejlépe se při testování osvědčila aplikace konsolidantu rozprašovačem, který umožnil rovnoměrné nanášení v rámci papírové šablony. U aplikace štětcem přes japonský papír nebo injekční stříkačkou byl citlivý povrch mechanicky namáhán. Dále studentka porovnávala vlhkostní podmínky. Na základě pozorování se pokusila vyjádřit vliv vlhkosti na tvorbu bílého zákalu. Vyšší relativní vlhkost zpomaluje odpar rozpouštědla, a tudíž omezuje či brání tvorbě bílého zákalu. Na tvorbu bílého zákalu má vliv schopnost penetrace. Když se konsolidant zdržuje delší dobu na povrchu malby, téměř vždy dochází k tvorbě zákalu.⁵² Dalším zajímavým zjištěním je vliv vlhčení po aplikaci. Rosení po aplikaci konsolidantu a po odparu jeho rozpouštědla zamezuje vzniku bílého zákalu a rovněž zlepšuje (podle provedených zkoušek několikanásobně více než bez vlhčení) penetraci prostředku do hloubky materiálu. Naopak předvlhčení vodou nebo isopropanolem mělo jednoznačně negativní účinek. „*Předvlhčením*

⁵⁰ KOCIÁNOVÁ (viz pozn. 2), s. 91

⁵¹ Ibidem, s. 92

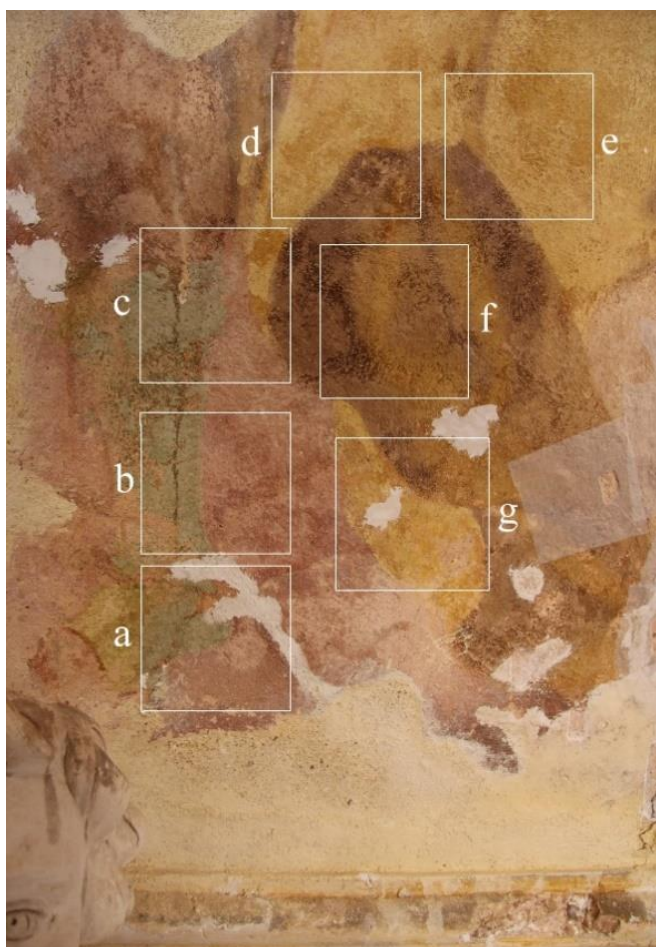
⁵² Ibidem, s. 57-58

pravděpodobně dochází k uzavření porézního systému, protože zákal na povrchu se vytvořil ve všech případech ve větší míře než bez předvlhčení. Vysvětlením také může být nízká stabilita těchto systémů v přítomnosti vody, která způsobuje vznik shluků a sedimentaci částic při kontaktu s vodou (v tomto případě ihned na povrchu).⁵³

4.3. Testování vybraných vápenných nanosuspenzí a jejich směsí s estery kyseliny křemičité na barevné vrstvě v Křenově

Konsolidační prostředky, které při zpevňování barevné vrstvy na zkušebních panelech jeví nejlepší výsledky, byly dále testovány na skutečné nástěnné malbě. Vhodné prostředky byly vybírány na základě subjektivního posouzení vizuálních změn a míry zpevnění.

Oproti zkušebnímu panelu, na kterém byla barevná vrstva aplikována rovnoměrně, se na reálné nástěnné malbě střídají soudržná místa s lokálně zpráškovatělou barevnou vrstvou. Některé nezpevněné plochy tvoří malé, několikacentimetrové ostrůvky. Proto bylo nutné při aplikaci prostředku kontrolovat savost materiálu a přebytečné množství konsolidantu odsávat. V opačném případě by mohlo docházet k tvorbě zákalu. Konsolidant byl nanesen postříkem pomocí jemného rozprašovače až do stavu nasycení substrátu.



Obr. 32: Zkoušky zpevňování vápennými suspenzemi (a – e) a jejich směsmi s KSE 300HV (f, g)

⁵³ KOCIÁNOVÁ (viz pozn. 2), s. 9

	Stav barevné vrstvy	Složení a poměr složek směsi		Počet kol aplikace + vlhčení vodou	Míra zpevnění	Vizuální vlastnosti
a	zpráškovatělá, puchýře	CaLoSiL E-25 5g/l - technický líh		aplikace:6x + H ₂ O:6x	znatelné zpevnění	nedochází ke změně barevnosti
b	zpráškovatělá, puchýře	CaLoSiL E-25 10g/l - technický líh		aplikace:3x + H ₂ O: 3x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti
c	zpráškovatělá, puchýře	CSGI E 5g/l - technický líh		aplikace:6x + H ₂ O: 6x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti
d	zpráškovatělá	ZFB 703i 5g/l - technický líh		aplikace:6x + H ₂ O: 6x	slabě zpevněno	nedochází ke změně barevnosti
e	zpráškovatělá	ZFB 734e 5g/l - technický líh		aplikace:6x + H ₂ O: 6x	nezpevněno	slabý bílý zákal
f	zpráškovatělá	CSGI E 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti
g	zpráškovatělá	CaLoSiL E-25 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti

Tab. 24: Zkoušky zpevnování na nástěnné malbě

Ozn.	Stav barevné vrstvy	Složení a poměr složek směsi		Počet kol aplikace + vlhčení vodou	Míra zpevnění	Vizuální vlastnosti
h	šupinující, zpráškovatělá	CaLoSiL E-25 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x	znatelné zpevnění	silný bílý zákal
		CaLoSiL E-25 10g/l - absolutní líh + KSE 100	směs 1:1	aplikace: 1x		
i	šupinující, zpráškovatělá	CaLoSiL E-25 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x	znatelné zpevnění	nedochází ke změně barevnosti
		CaLoSiL E-25 5g/l - absolutní líh		aplikace: 2x		
j	šupinující, zpráškovatělá	CaLoSiL E-25 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 2x	nezpevněno	slabý bílý zákal
k	šupinující, zpráškovatělá	CaLoSiL E-25 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV + KSE 100	směs 1:1:1	aplikace: 1x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti

Tab. 25: Zkoušky zpevňování na nástěnné malbě v Křenově



Obr. 33: Označení míst ve výjevu *Archangeli*, na kterých jsou testované konsolidační prostředky

	Stav barevné vrstvy	Složení a poměr složek směsi		Počet kol aplikace vlhčení vodou	Míra zpevnění	Vizuální vlastnosti
l	zpráškovatělá	ZFB 703i 10g/l - absolutní líh	směs 1:1	aplikace 1x	nezpevněno	slabý bílý zákal
		ZFB 703i 5g/l - absolutní líh		aplikace:2x + H ₂ O		
m	zpráškovatělá	ZFB 703i 10g/l - absolutní líh	směs 1:1	aplikace: 1x	nezpevněno	slabý bílý zákal
		ZFB 703i 1 10g/l - absolutní líh	směs 1:1	aplikace: 1x		
n	šupinující, zpráškovatělá	CSGI E 10g/l – absolutní líh	směs 1:1	aplikace 1x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti
		CSGI E 5g/l - absolutní líh		aplikace:2x + H ₂ O		
o	šupinující, zpráškovatělá	CSGI E 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x	nezpevněno	slabý bílý zákal
		CSGI E10g/l - absolutní líh + KSE 100	směs 1:1	aplikace: 1x		

Tab. 26: Zkoušky zpevnování na nástěnné malbě v Křenově



Obr. 34: Zkoušky směsí vápenných suspenzí a jejich směsí s KSE 300HV ve víceokrových aplikacích na nástěnné malbě v Křenově

	Stav barevné vrstvy	Složení a poměr složek směsi		Počet kol aplikace + vlhčení	Míra zpevnění	Vizuální vlastnosti
p	šupinující, zpráškovatělá	ZFB 703i, 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV + KSE 100	směs 2:1:1	aplikace: 2x	znatelné zpevnění	slabý zákal
q	šupinující, zpráškovatělá	KSE 100		aplikace: 1x	znatelné zpevnění	nedochází ke změně barevnosti
		ZFB 703i, 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x		
		CaLoSiL E-25 5g/l - technický líh		aplikace: 3x + H ₂ O		
r	šupinující, zpráškovatělá	ZFB 703i 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV + KSE 100	směs 2:1:1	aplikace: 1x	znatelné zpevnění	slabý zákal
		ZFB 703i 5g/l - technický líh		aplikace: 3x + H ₂ O		
s	šupinující, zpráškovatělá	ZFB 703i 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV + KSE 100	směs 2:1:1	aplikace: 1x	znatelné zpevnění	nedochází ke změně barevnosti
		CSGI E 5g/l - technický líh		aplikace: 3x + H ₂ O		
t	šupinující, zpráškovatělá	ZFB 703i 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV + KSE 100	směs 2:1:1	aplikace: 1x	mírné zpevnění	slabý zákal
		CaLoSiL E-25, 5g/l - technický líh		aplikace: 3x + H ₂ O		

Tab. 27: Zkoušky zpevňování na nástěnné malbě v Křenově

4.4. Vyhodnocení testování zpevňovacích prostředků na reálné malbě

Zpevňovače pro testy na nástěnné malbě v Křenově byly vybrány z aplikací, které se nejlépe osvědčily při zkouškách na panelech. Malířsky provedená a různě degradovaná barevná vrstva byla, na rozdíl od homogenního zkušebního materiálu, hůře hodnotitelná. Savost materiálu, typologie defektů a barevnost se proměňovala v rozmezí centimetrů, a proto bylo nutné hodnotit výsledky v porovnání se zkušebním panelem s větší tolerancí. Místo od místa bylo třeba nanést větší množství konsolidantu a naopak jinde okamžitě odsávat, aby nedošlo k tvorbě bílého zákalu.

Již v předcházejících testech bylo zjištěno, že nejvhodnější způsob aplikace je nanášení pomocí rozprašovače. Ve zkouškách na reálné malbě se ale ukázalo, vzhledem k extrémnímu rozvolnění barevné vrstvy, jako účinnější aplikování pomocí injekční stříkačky. Ta umožňuje, v případě silně degradovaného povrchu, nanesení dostatečného množství konsolidačního prostředku až do stavu nasycení substrátu. Zároveň je snadněji a přesněji regulovatelná na rozhraní s uzavřenějším povrchem, který vsakuje látku pomaleji.

Nejvyšší přípustná koncentrace vápenné suspenze pro zpevňování barevné vrstvy se ve zkouškách ukázala na 10g Ca(OH)₂. U méně porézních a degradovaných materiálů je vhodnější užití nižší koncentrace (5 g/l). Nástěnná malba v Křenově je však místy značně degradovaná a ukázalo se, že i větší objem vápenných suspenzí neposkytl dostatečné zpevnění barevné vrstvy. Zkoušky s čistými vápennými suspenzemi (a až e) se ukázaly být poměrně úspěšné pouze v případě *CaLoSiLu E25* (5g/l). Vzhledem k nepravidlosti povrchu ale často docházelo k přezpevnění místa, které sousedilo s místem více poškozeným, a hrozil zde vznik bílého zákalu. I z tohoto důvodu se testování postupně rozšířilo na kombinace vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité, které se osvědčilo při zkouškách na panelech. Ukázalo se, že směsi těchto dvou typů prostředků mají dobré konsolidační schopnosti za minimálních estetických změn.

Po četných zkouškách na odlišných částech klenby byly shledány jako nejvíce uspokojivé zkoušky **i**, **q** a **r**. Zkouška **i** je směs *KSE 300HV* a *CaLoSiLu E25*, po které následovalo několik kol aplikace čisté vápenné suspenze. U zkoušky **q** byl nejprve aplikován prostředek *KSE 100*, po té následuje dvousložková směs *KSE 300HV* a *ZFB703i*. Nakonec je barevná vrstva dozpevňována čistou vápennou suspenzí *CaLoSiL E25*. Zkouška **r** je na bázi tříložkové směsi organokřemičitanů se *ZFB 703i*. Následuje aplikovaná čistá vápenná suspenze v několika kolech.

5. ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ

Cílem tohoto projektu bylo seznámení se s účinky zpevňování vápenných suspenzí a organokřemičtanů na barevnou vrstvu. V rámci experimentální části byly porovnávány jednotlivé vybrané suspenze v původním neřaděném stavu a byly zkoušeny různé typy alkoholů na jejich ředění. Zásadním poznáním bylo porovnání technického a 98% etanolu. Technický líh projevil velmi dobré účinky ve stabilitě směsi (sedimentace) a rovněž při zpevňování se zdál být přinejmenším dostatečnou náhradou 98% lihu.

Na zkušebních panelech se simulovanou zpráškovatělou barevnou vrstvou byly testovány vápenné nanosuspenze a estery kyseliny křemičité. Protože si tato práce kladla za cíl najít vhodný prostředek pro zpevňování extrémně degradované nástěnné malby na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově, ukázalo se použití samotných vápenných suspenzí jako málo účinné. Proto bylo navázáno na předchozí zkušenosti kolegů z mezinárodního projektu *Stonecore*, kteří úspěšně aplikovali kombinace vápenných suspenzí a esterů kyseliny křemičité mimo jiné i na historické omítky. Po provedení testů jak na zkušebních omítkových panelech, tak i na reálné nástěnné malbě v kapli sv. Isidora se zdá, že je tato metoda efektivní ve většině zkoumaných případech.

Z provedených zkoušek v tuto chvíli vyplývá, že u aplikace směsí zmíněných prostředků (na rozdíl od vícekrokových oddělených aplikací), nedochází téměř k tmavnutí, či naopak k tvorbě bělavých zákalů. U vícekrokových aplikací, obzvláště pokud je vícekrát aplikován prostředek na bázi esterů kyseliny křemičité, může docházet k trvalému tmavnutí a přezpevnění povrchu, které ve zkouškách na panelu vedlo k vzniku mikrotrhlin.

Čistě z teoretického hlediska je použití výhradně vápenného zpevňovače na barevnou vrstvu na vápenné bázi pochopitelně vhodnější. Dalším důvodem pro opatrnost při užití organokřemičitých prostředků je i fakt, že se barevná vrstva stává po zpevnění nejen tvrdší, ale i daleko křehčí, což samozřejmě zvyšuje riziko jejího budoucího poškození. Proto je vhodné aplikovat organokřemičité prostředky jen v nejmenší nutné míře a finalizaci konsolidace provést pomocí vápenných nanosuspenzí.

6. POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY

- BAGLIONI P., GIORGI R., *Soft and hard nanomaterials for restoration and conservation of cultural heritage*, REVIEW Soft Matter, 293–303, The Royal Society of Chemistry, 2006, www.rsc.org/softmatter
- BAYER, K., MACOUNOVÁ, D., MACHAČKO, L. *Nanosuspenze hydroxidu vápenatého jako konsolidanty porézních vápenců a vápenných omítek*, In: Acta Artis Academica. Praha, 2012. *Znalost a praxe ve výtvarném umění*. Sborník 4. mezioborové konference ALMA. Akademie výtvarných umění v Praze
- DAEHNE A., HERM C., Calcium hydroxide nanosols for the consolidation of porous building materials - results from EU-STONECORE, Heritage Science 2013
- DRDÁČKÝ M., JAROSLAV LESÁK J., RESCIC S., ZUZANA SLÍŽKOVÁ Z., TIANO P., VALACH J. Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces. Materials and Structures (2012) 45
- DUNAJSKÁ, J., Tests on sustainability of consolidation treatments with CaLoSil® nanosuspensions on plaster reference samples. Litomyšl, 2012. Diplomová práce Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, Katedra chemické technologie
- HAMSÍKOVÁ, D. a HAMSÍKOVÁ, R., *Restaurátorská zpráva*, II. etapa v roce 2006 fresky J. K. Handkeho v klenbě hřbitovní kaple sv. Isidora (archiv OÚ v Křenově).
- HAMSÍKOVÁ, Radana a Jiří KAŠPAR. Křenov, hřbitovní kaple sv. Isidora: Restaurátorská
- HUCKOVÁ M., KOTLÍK P. Možnosti konzervace umělého kamene pojeného epoxidy, sborník konference Arte-fakt 2006
- KOCIÁNOVÁ, I. *Restaurování centrálního výjevu na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově*. Litomyšl, 2013. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování. Vedoucí práce Mgr. art. Jan Vojtěchovský.
- KOVAŘÍK, P., KOVAŘÍKOVÁ, J., *Hřbitovní kaple sv. Isidora – vyhodnocení současného stavu objektu*, březen 2004 (archiv OÚ v Křenově)
- KUNEŠ, P., Vliv hydroxidu vápenatého na zpevnění vápenné malty organokřemičitým esterem. Praha, 2012. Disertační práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- LESNIAKOVÁ P., Chemicko-technologický průzkum nástrovní malby Devíti kůrů andělských - Klenba hřbitovní kaple sv. Isidora v Křenově, Katedra chemické technologie Fakulty restaurování, Litomyšl, 2014
- *MBNnanomaterialia*. Nanoforart, First Annual Meeting, London 13 and 14 December 2012.

- MICHONOVÁ, D., *Zpevňování omítek vápennou vodou II*, Zprávy památkové péče, roč. 72, č. 5, 2012
- MORA, P., MORA, L., PHIPIPPOT, P. *Conservation of Wall Paintings*. ICCROM, London 1984 – překlad do českého jazyka; příčiny poruch maleb; část II.
- PIASZCZYNSKI E., MUSIELA M., ZIEGENBALG G., *The consolidation of Stone, Mortar and Plaster by Using Calcium Hydroxide Nano-Sols*. Venice 2012.
- VANĚČEK, I. *Nástěnné malby*. VŠCHT Praha 1997
- UNIVERZITA PARDUBICE, Fakulta restaurování. Restaurátorský průzkum: Nástěnné malby, štuková výzdoba a omítky interiéru kaple sv. Isidora v Křenově. Litomyšl, březen 2012.
- VOJTĚCHOVSKÝ J., SLOUKOVÁ L. *Porovnání vápenných nanosuspenzí pro konsolidaci nástěnné malby*: projekt realizovaný v rámci Studentské grantové soutěže Univerzity Pardubice. Litomyšl, 2014. Report, Digitální knihovna Univerzity Pardubice.

Databáze a internetové zdroje:

- www.alma-lab.cz (Akademická laboratoř materiálového průzkumu malířských děl; ALMA)
- www.colorsystem.com/?page_id=991&lang=en (CIE-L*A*B*-Systém)
- www.ctseurope.com (produkty, vybavení a systémy pro restaurování; C. T. S.)
- www.fotoroman.cz/glossary2/3_lab.htm
- www.getty.edu (Getty)
- www.ibz-freiberg.de (CaLoSiL[®]; IBZ Salzchemie, Freiberg/Germany)
- www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_EN.pdf (Technical Leaflet, CaLoSiL[®])
- www.mbn.it
- www.nanoforart.eu (mezinárodní projekt NANOforART)
- www.purolite.com (Česke stránky Purolite: www.purolite.cz)
- www.remmers.cz (materiály pro restaurování)
- www.stonecore-europe.eu (mezinárodní projekt STONECORE)
- www.zfb.com
- www.2020-horizon.com/NANOFORART-Nano-materials-for-the-conservation-and-preservation-of-movable-and-immovable-artworks%28NANOFORART%29-s2749.html