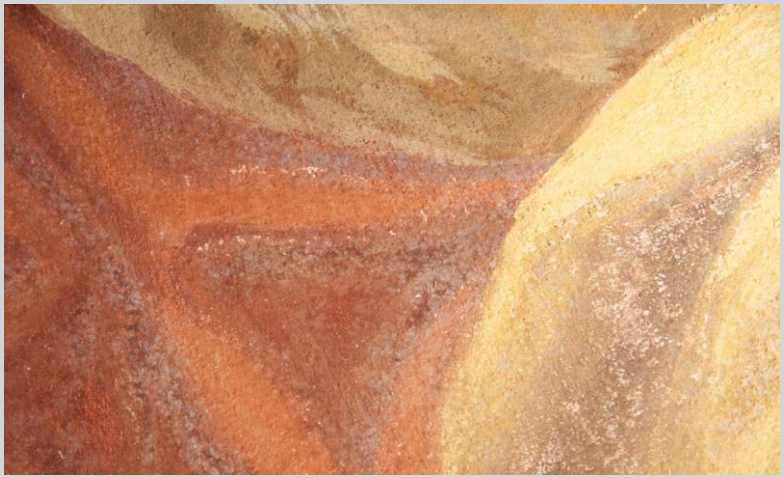
POROVNÁNÍ VÁPENNÝCH NANOSUSPENZÍ PRO KONSOLIDACI NÁSTĚNNÉ MALBY

Projekt realizovaný v rámci Studentské grantové soutěže Univerzity Pardubice



Jan Vojtěchovský, Lenka Slouková

Ateliér restaurování a konzervace nástěnné malby a sgrafita

Fakulta restaurování Univerzity Pardubice

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. Tímto může být například použití směsi vápenné suspenze v kombinacích s konsolidanty na bázi esterů kyseliny křemičité nebo ředění suspenzí v technickém etanolu namísto v etanolu absolutním (98%), jak doporučují výrobci.

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 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.

Zkoumané konsolidační prostředky

Vápenné nanosuspenze:

- IBZ – SALZCHEMIE GMBH & CO. KG
  - CaLoSiL E-25
- CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER LO SVILUPPO DEI SISTEMI A GRANDE INTERFASE
  - CSGI E
  - CSGI 1P
- ZENTRUM FÜR BUCHERHALTUNG GMBH
  - ZFB 703i
  - ZFB 734e
- MBN NANOMATERIALIA SPA
  - MBN Nf070

Konsolidanty na bázi esterů kyseliny křemičité:

- REMMERS
  - KSE 300HV
  - KSE 100
  - KSE 300E

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

- Sedimentace byla sledována u všech vybraných typů vápenných suspenzí.
- Byla zaznamenávána rychlost a průběh usazování pevné složky ve směsi.
- Byly porovnávány neředěné vápenné suspenze a směsi v koncentraci 5g $Ca(OH)_2$ /1l rozpouštědla.
- Byla porovnávána stabilita suspenzí v absolutním a technickém etanolu.

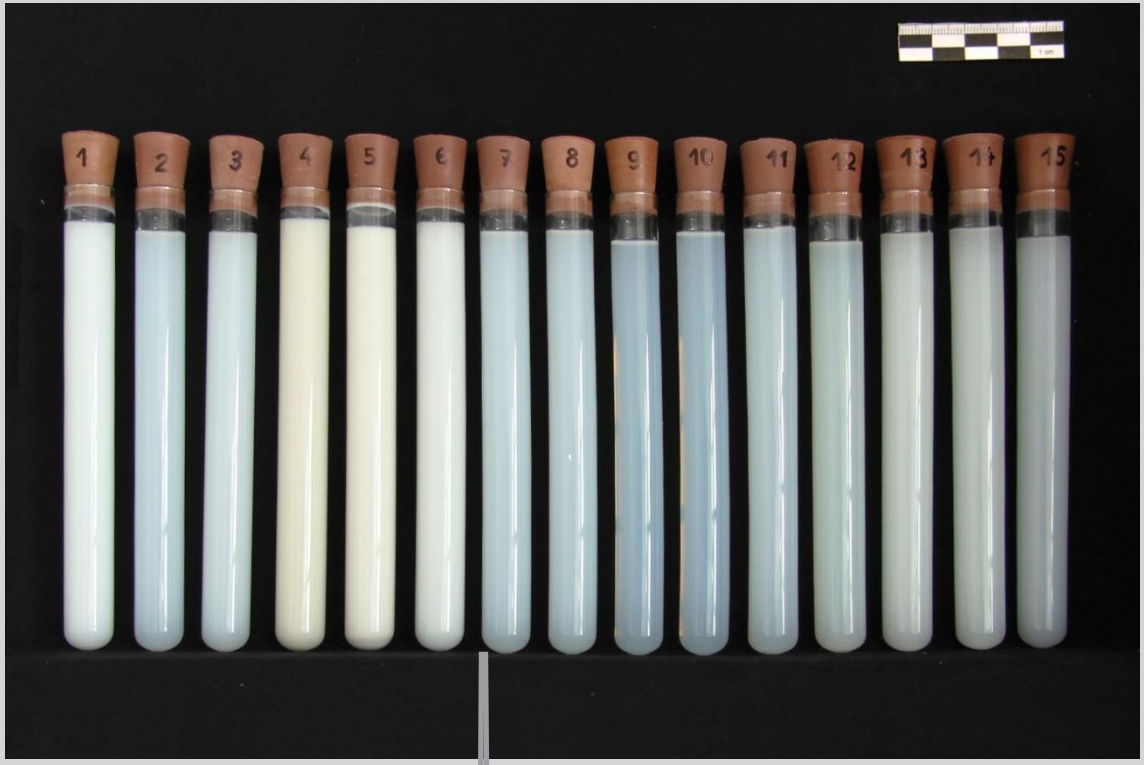
Soupis a označení směsí ve zkumavkách

	Název suspenze	Množství $Ca(OH)_2$ v suspenzi	Ředidlo suspenze
1	CaLoSiL® E25	30,28 g/l	-
2	CSGI E	11,35 g/l	-
3	CSGI 1P	10,75 g/l	-
4	ZFB 703i	77,64 g/l	-
5	ZFB 734e	153,2 g/l	-
6	MBN Nf070	19,32 g/l	-
7	CaLoSiL® E25	5 g/l	98% etanol
8	CaLoSiL® E25	5 g/l	Technický etanol

	Název suspenze	Množství $Ca(OH)_2$ [g/l]	Ředidlo suspenze
9	CSGI E	5 g/l	98% etanol
10	CSGI E	5 g/l	Technický etanol
11	CSGI 1P	5 g/l	Propanol
12	ZFB 703i	5 g/l	Izopropanol
13	ZFB 734e	5 g/l	98% etanol
14	ZFB 734e	5 g/l	Technický etanol
15	MBN Nf070	5 g/l	Izopropanol

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

1. den

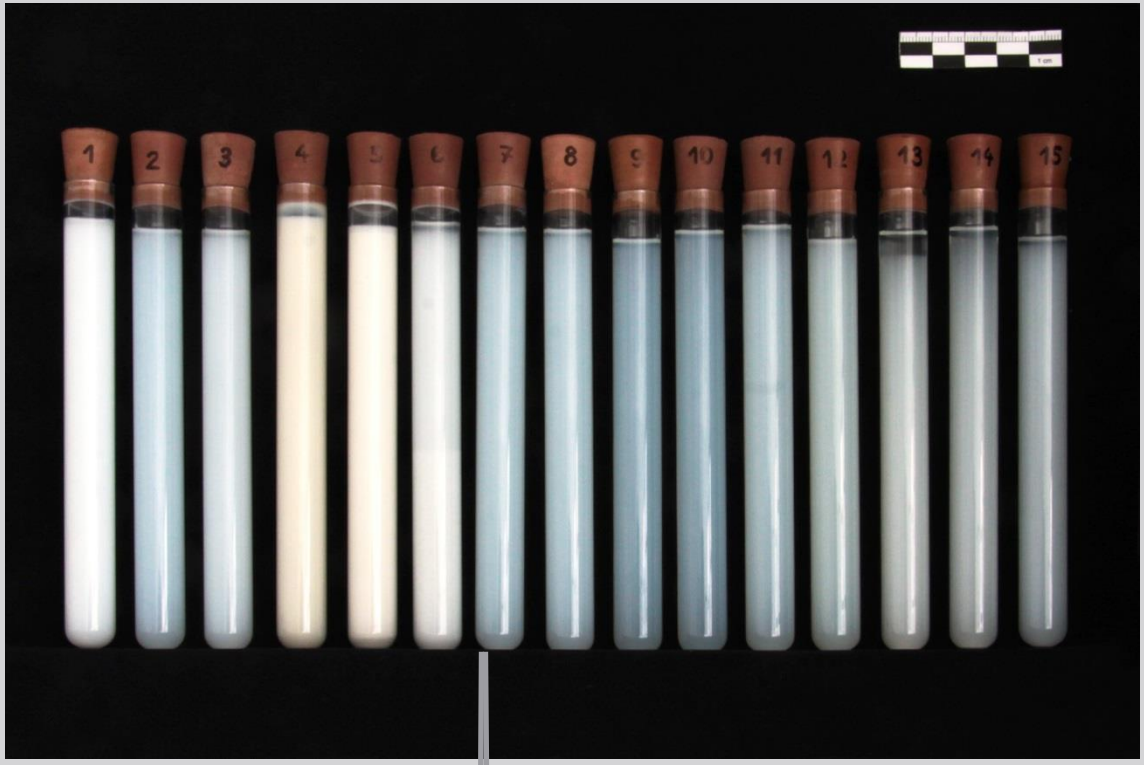


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

2. den

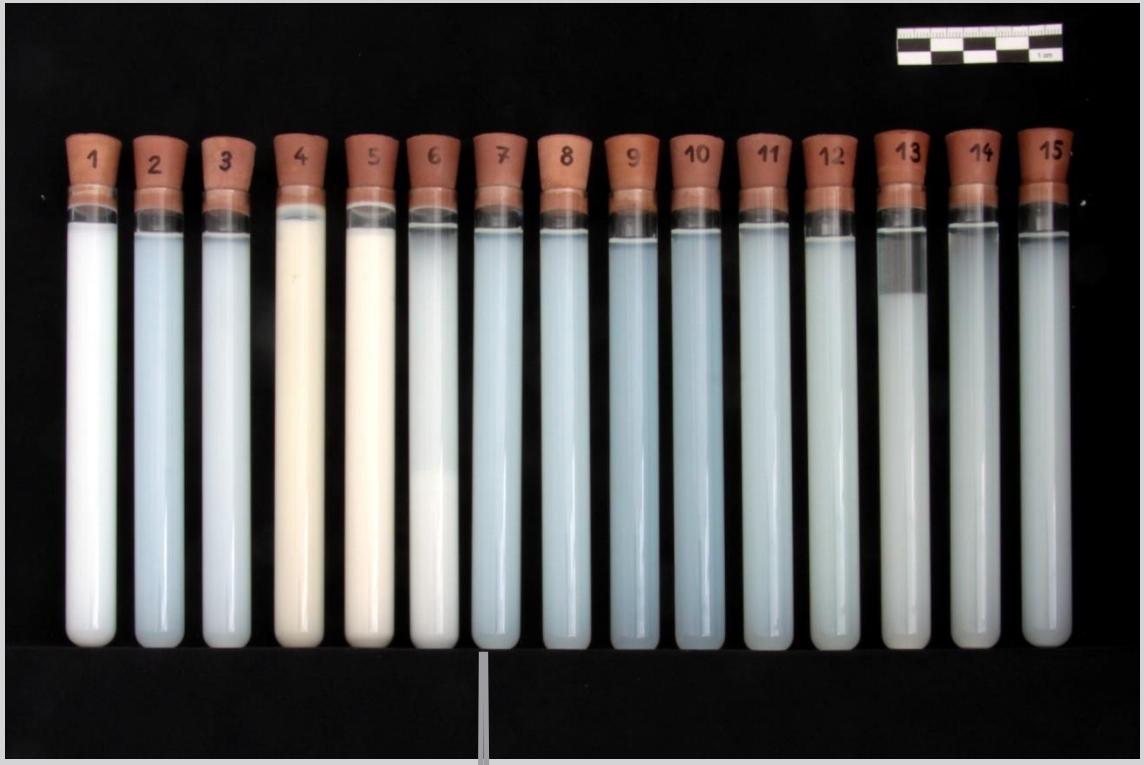


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

3. den

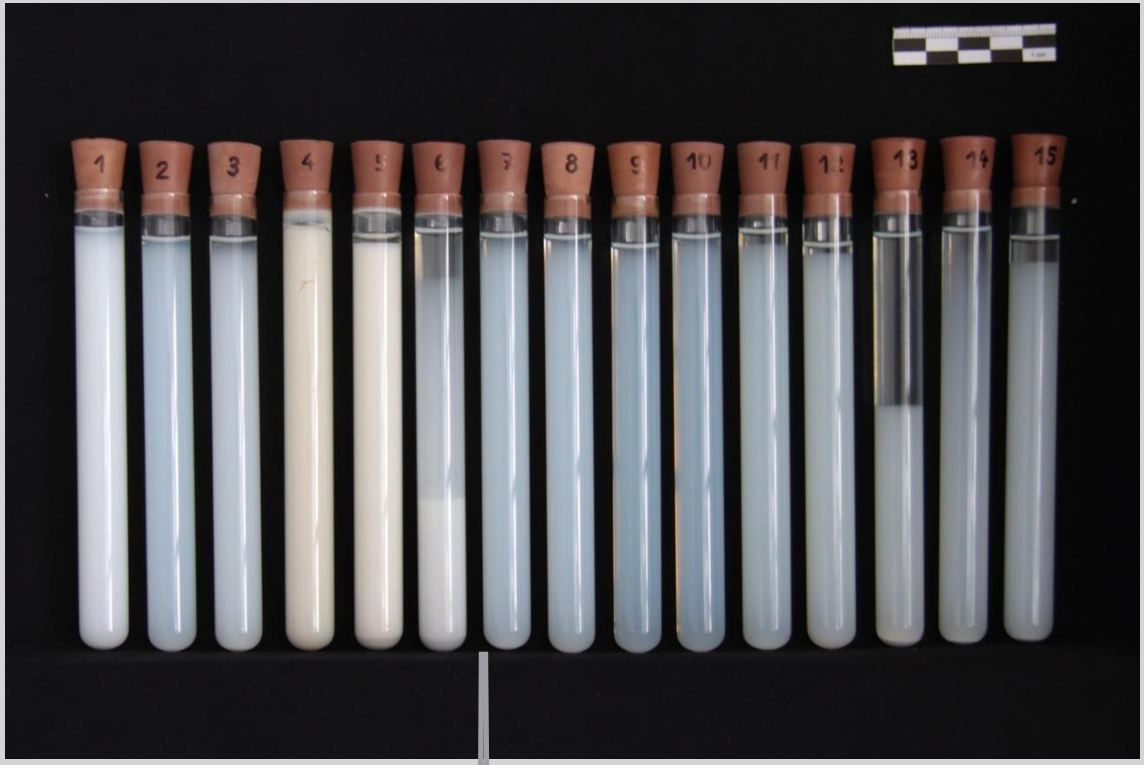


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

6. den

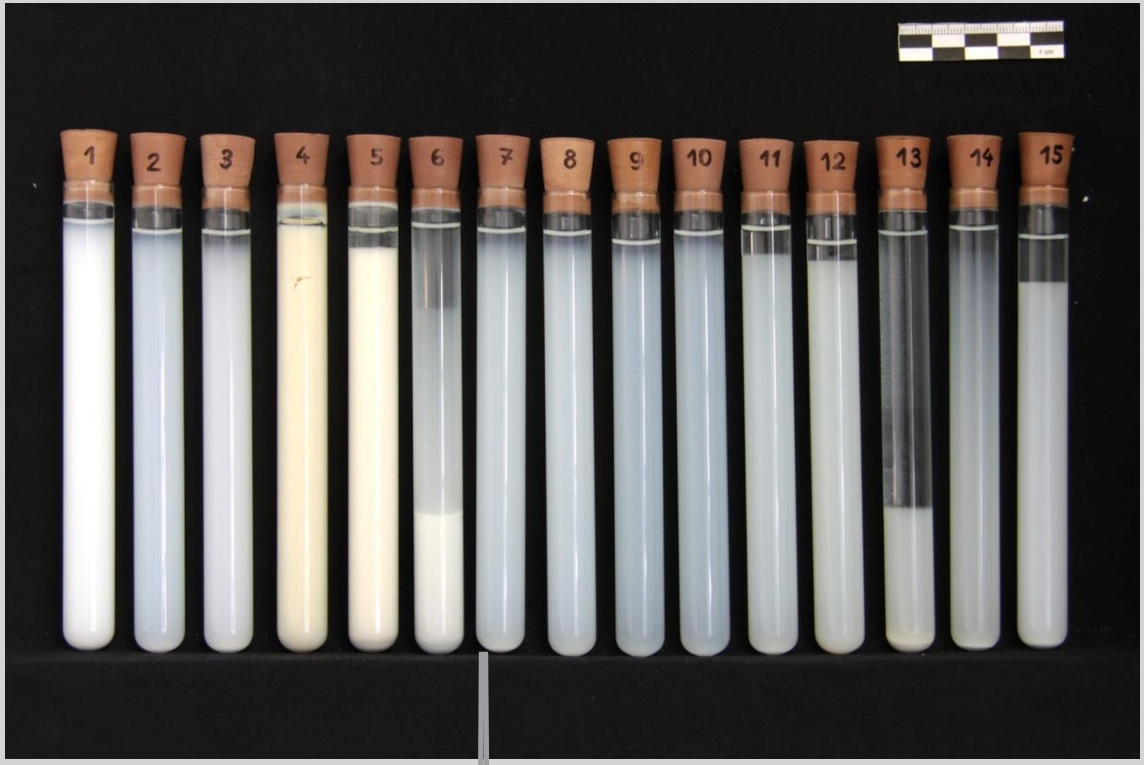


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

9. den

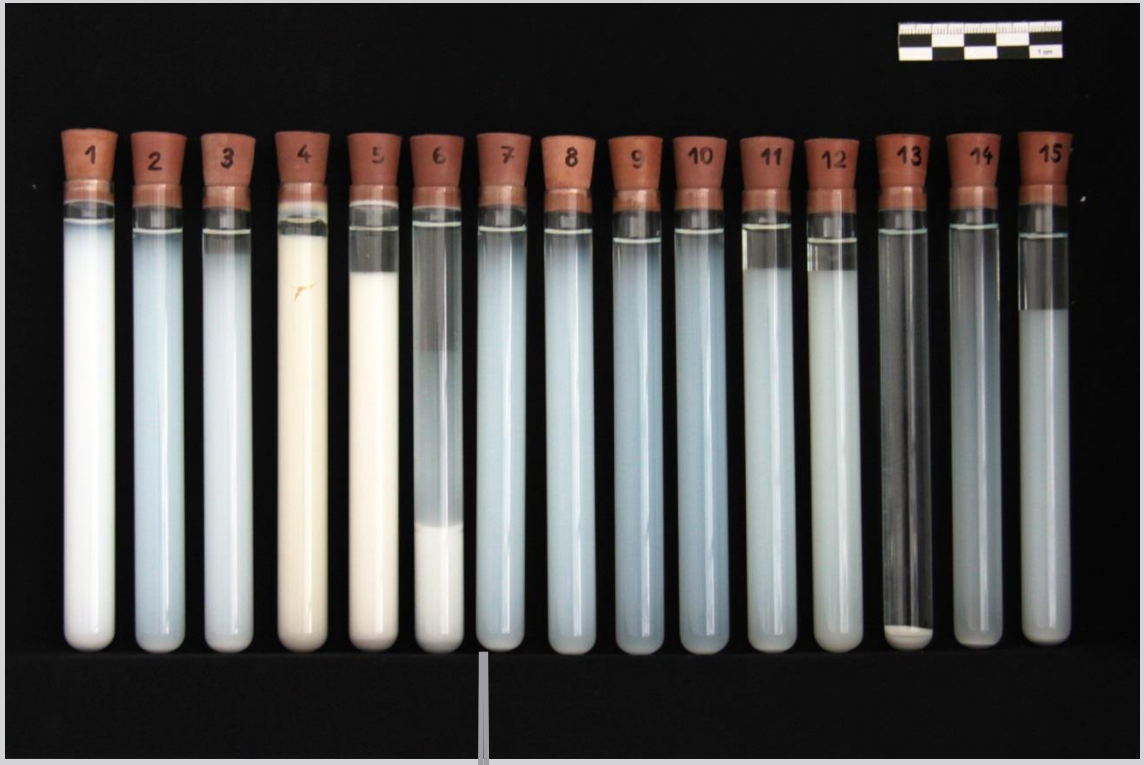


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

12. den

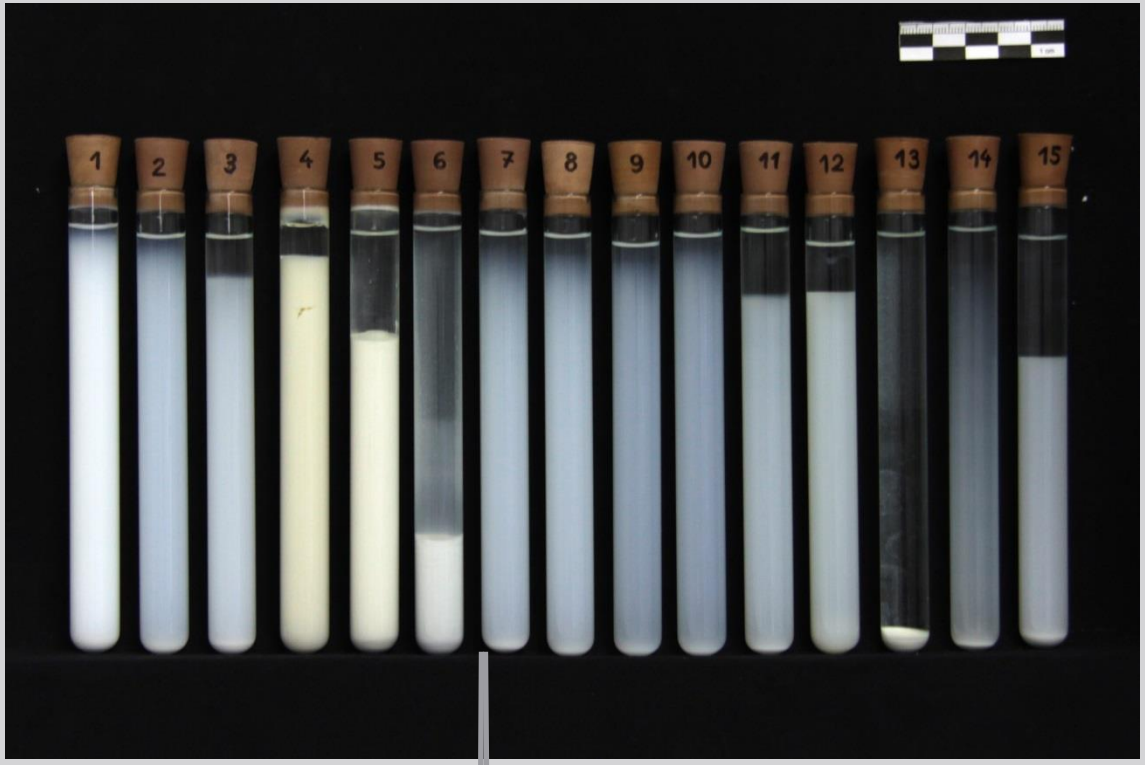


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

3. týden

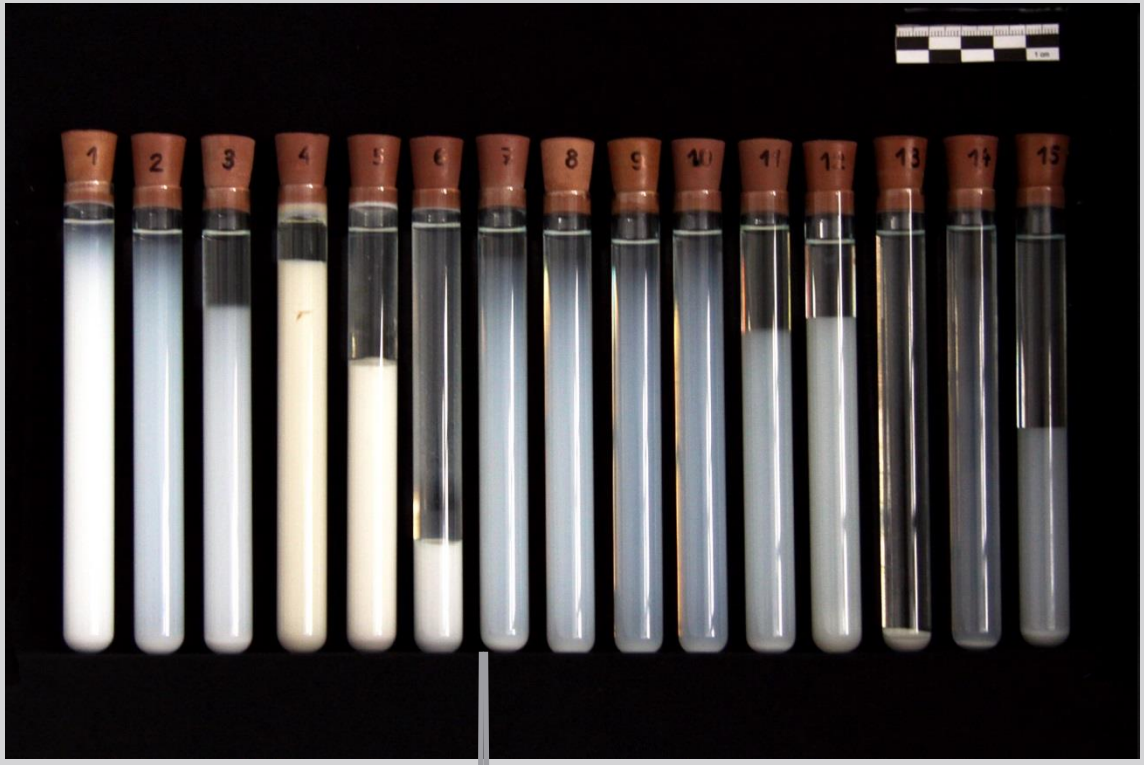


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

4. týden

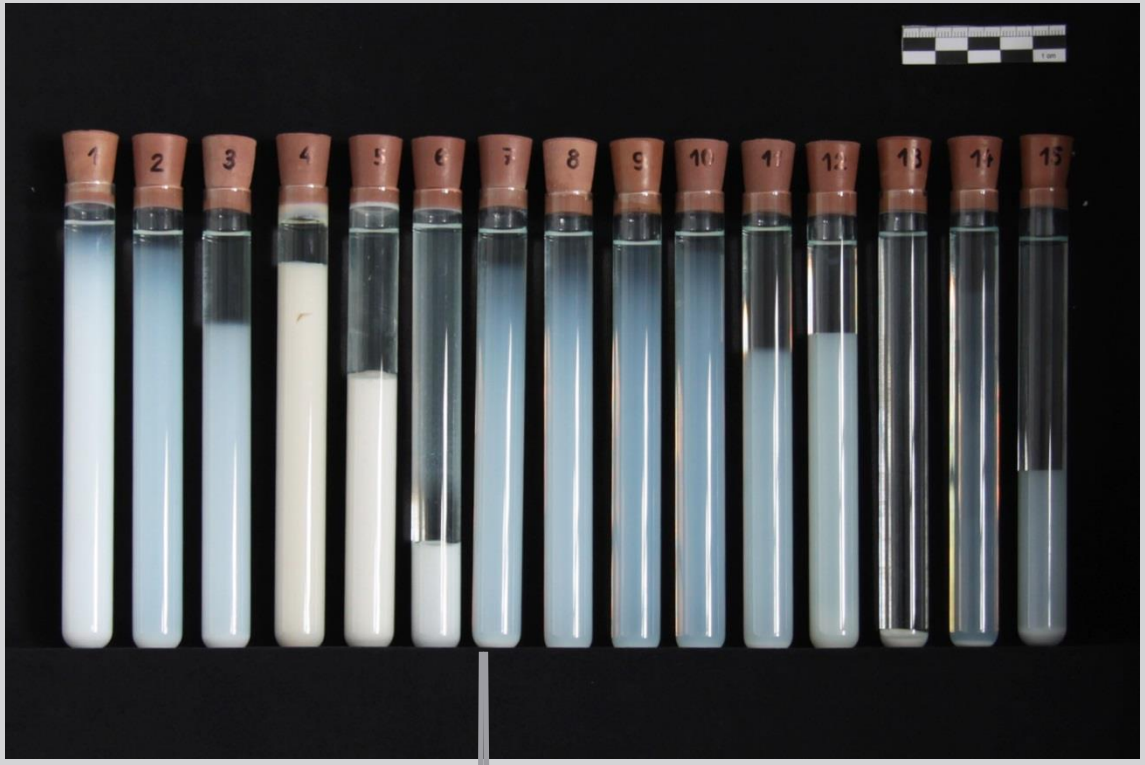


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

5. týden

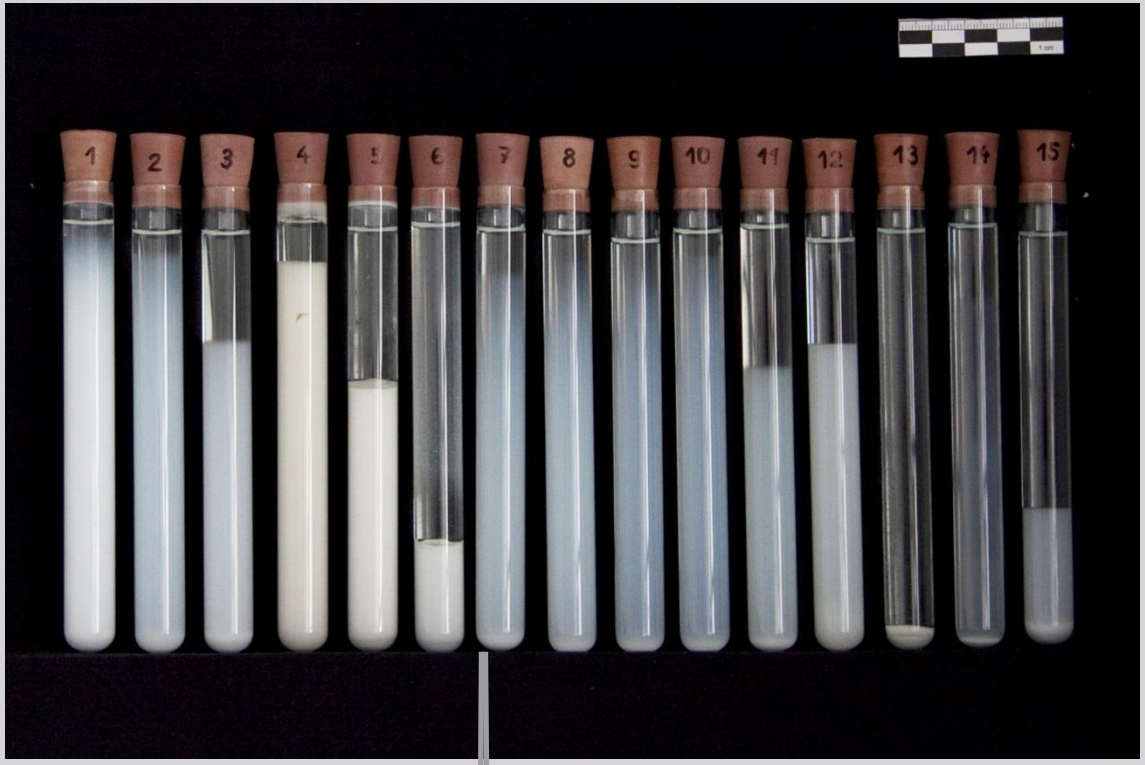


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

6. týden

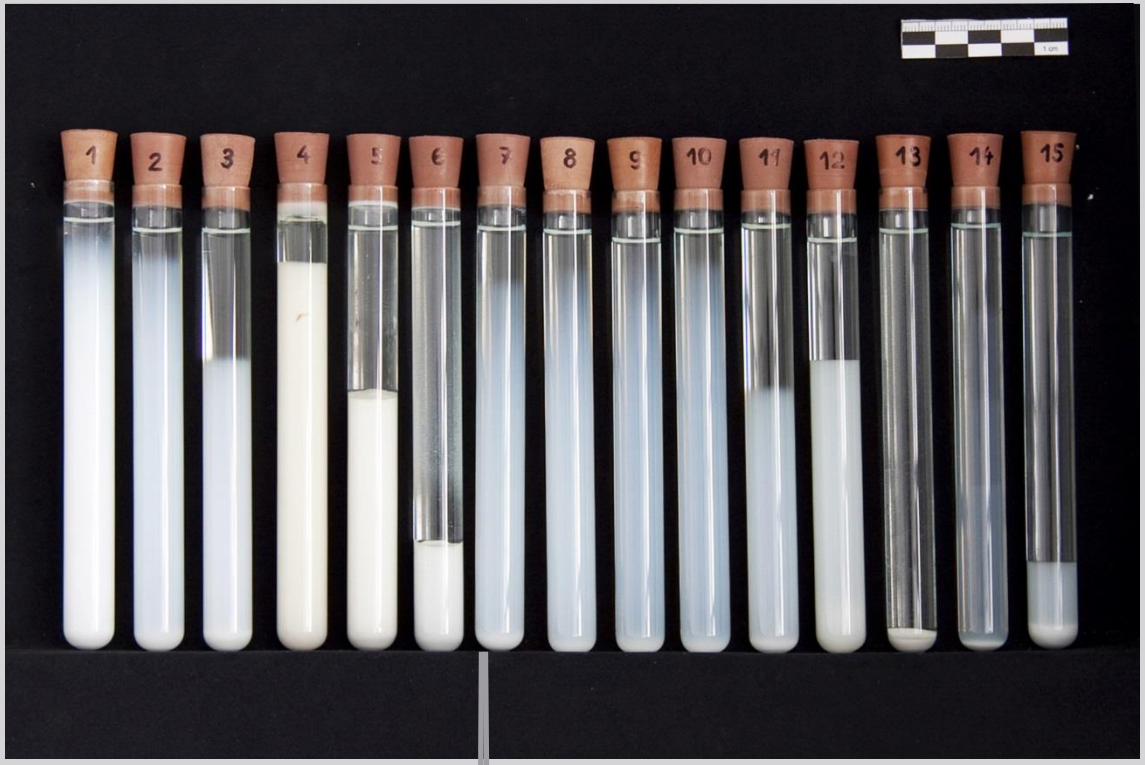


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

7. týden

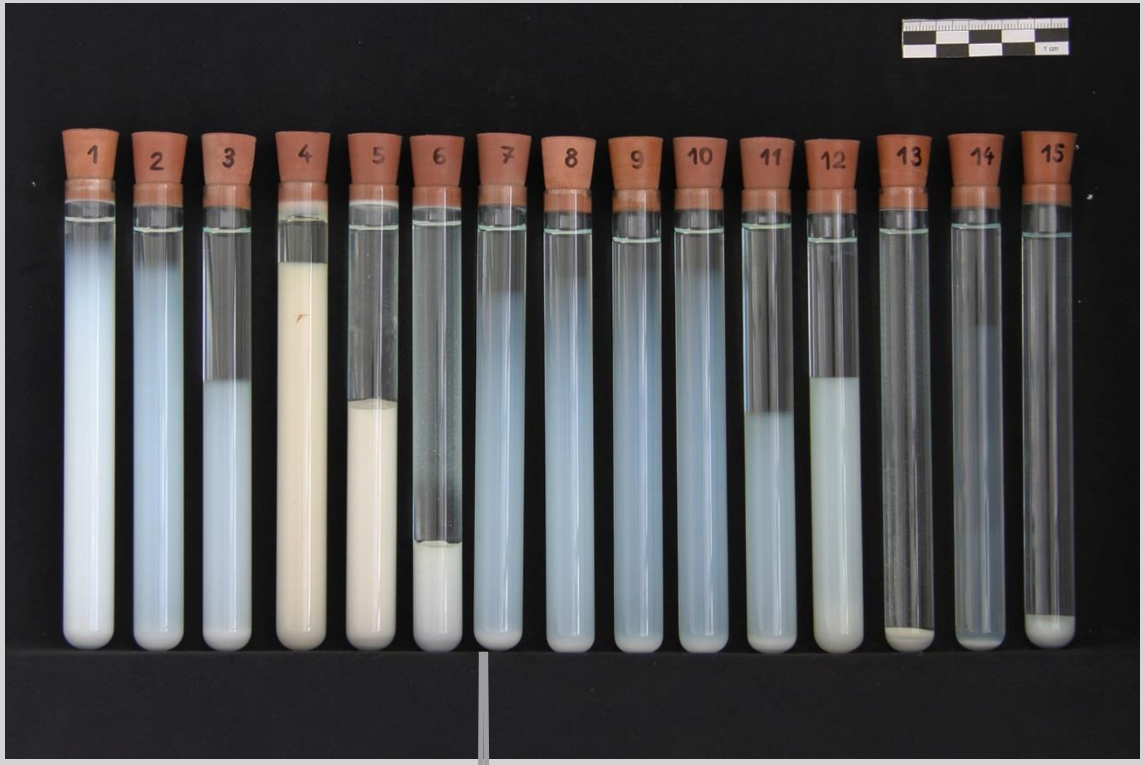


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

8. týden

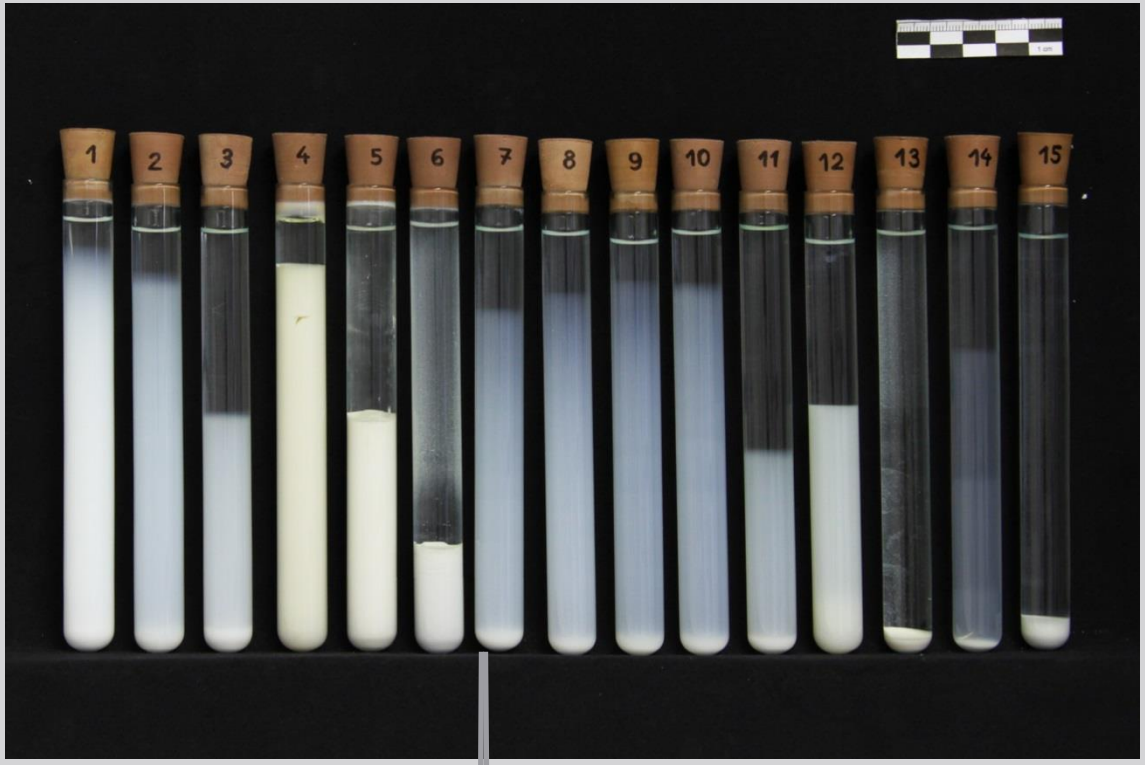


Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky I)

9. týden



Suspenze neředěné

Suspenze v koncentraci 5g/l

Pozorování sedimentace suspenzí (zkumavky II)

- Porovnávána byla sedimentace u vápenných suspenzí a jejich směsí s estery kyseliny křemičité.
- Porovnávána byla stabilita suspenzí v 98% a technickém etanolu.

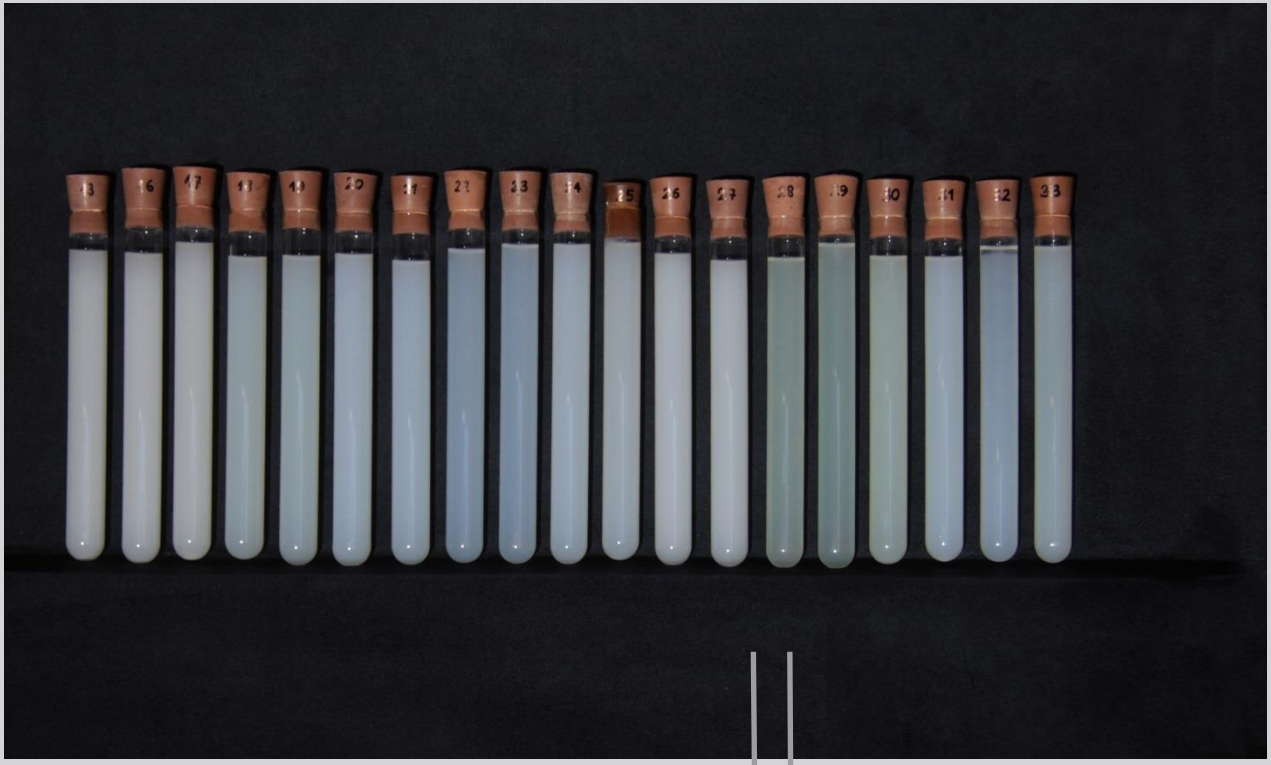
Soupis a označení směsí ve zkumavkách

	Název suspenze	Množství $Ca(OH)_2$ v suspenzi	Ředidlo suspenze
13	ZFB 734e	5 g/l	98% etanol
16	ZFB 734e	5 g/l	Technický etanol
17	ZFB 734e	5 g/l	Isopropanol
18	ZFB 703i	5 g/l	98% etanol
19	ZFB 703i	5 g/l	Technický etanol
20	CaLoSiL® E25	5 g/l	Technický etanol
21	CaLoSiL® E25	5 g/l	Isopropanol
22	CSGI E	5 g/l	Technický etanol
23	CSGI E	5 g/l	Isopropanol
24	CSGI 1P	5 g/l	98% etanol
25	CSGI 1P	5 g/l	Technický etanol
26	MBN Nf070	5 g/l	98% etanol
27	MBN Nf070	5 g/l	Technický etanol

	Poměr směsi susp. : KSE Název suspenze	Množství $Ca(OH)_2$ v suspenzi	Ředidlo suspenze
28	Směs 1:1 CaLoSiL® E25 + KSE 300 HV	10 g/l	98% etanol
29	Směs 1:1 CSGI E + KSE 300 HV	10 g/l	98% etanol
30	Směs 1:1 ZFB 703i + KSE 300 HV	10 g/l	98% etanol
31	Směs 1:1 CaLoSiL® E25 + KSE 300 E	10 g/l	98% etanol
32	Směs 1:1 CSGI E + KSE 300 E	10 g/l	98% etanol
32b	Směs 1:1 CSGI E + KSE 300 E	10 g/l	98% etanol
33	Směs 1:1 ZFB 703i + KSE 300 E	10 g/l	98% etanol

Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

1. den

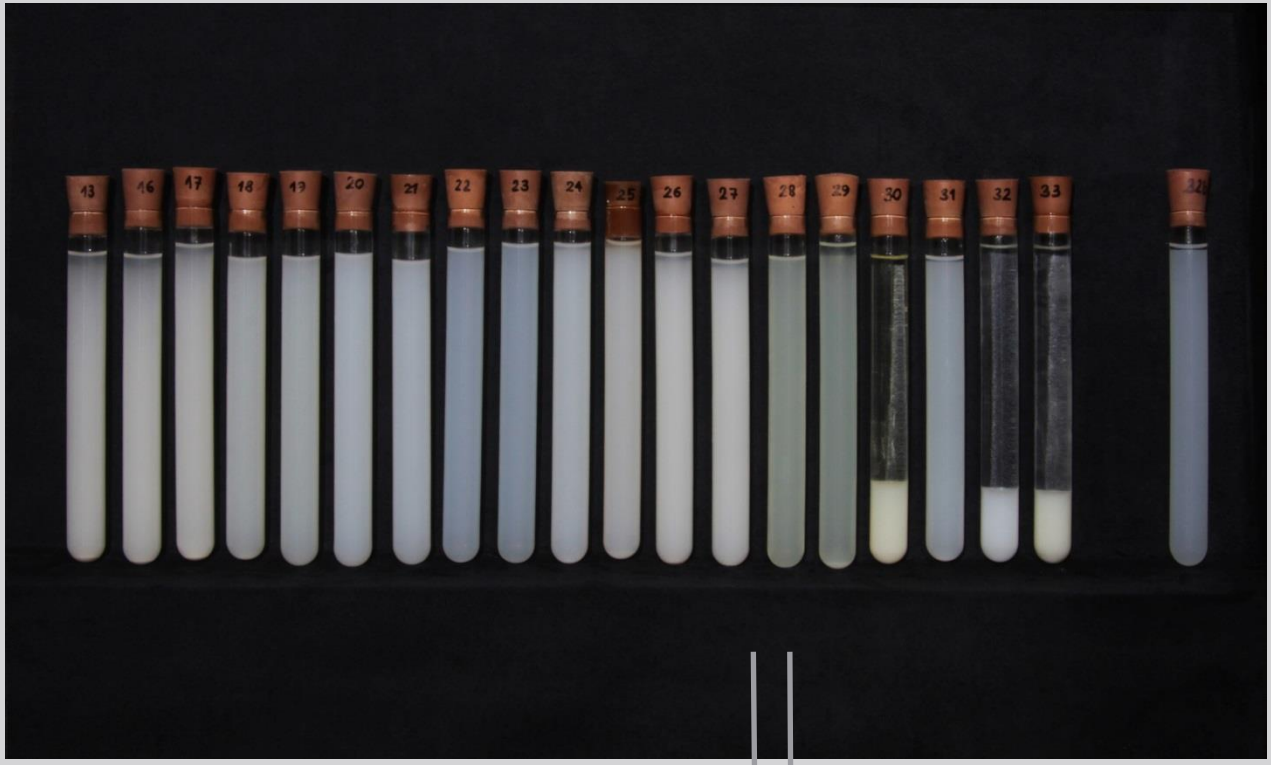


Vápenné suspenze

Směsi 1:1

Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

2. den

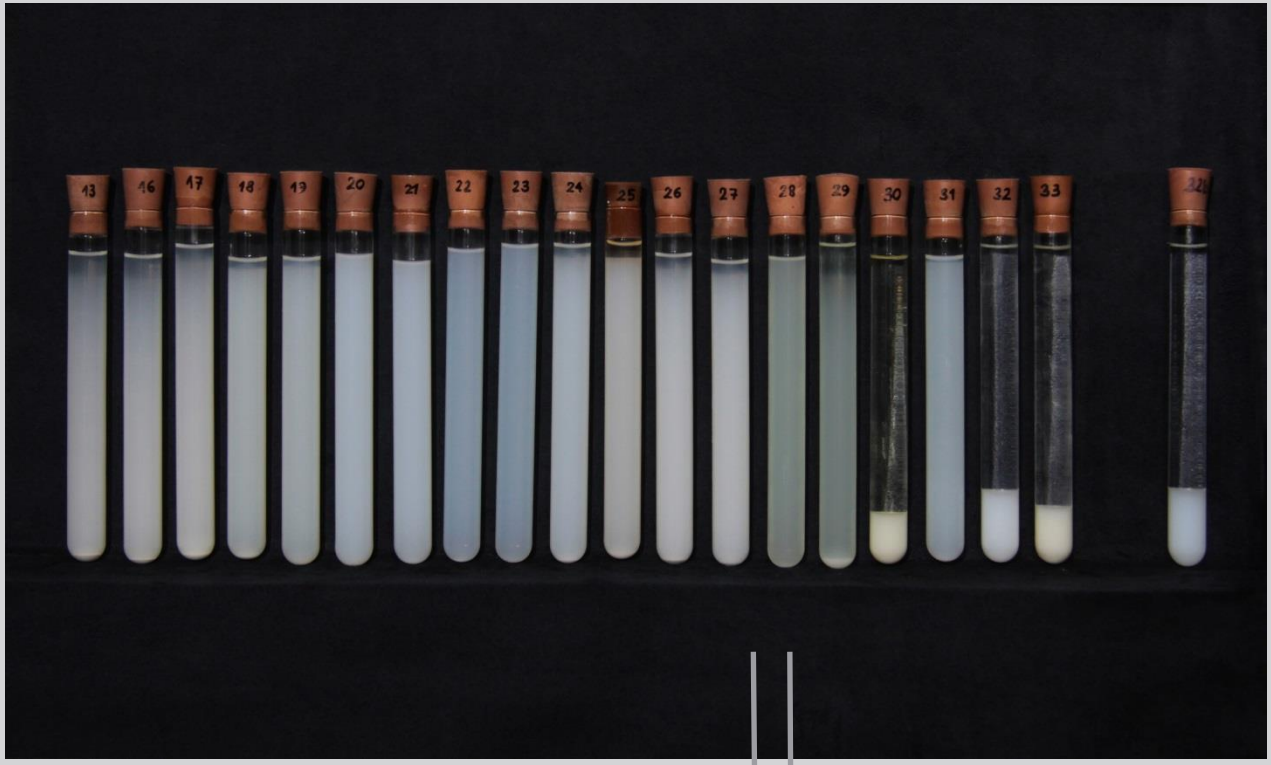


Vápenné suspenze

Směsi 1:1

Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

4. den

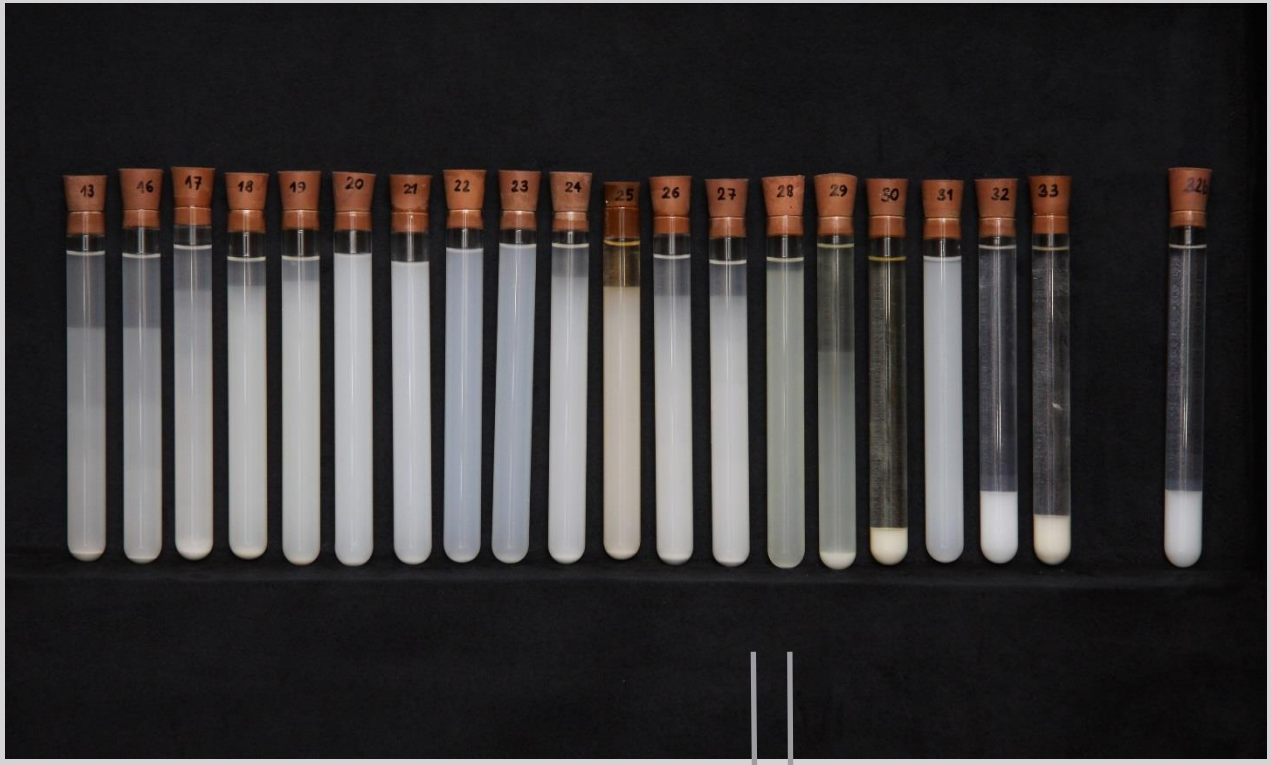


Vápenné suspenze

Směsi 1:1

Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

11. den

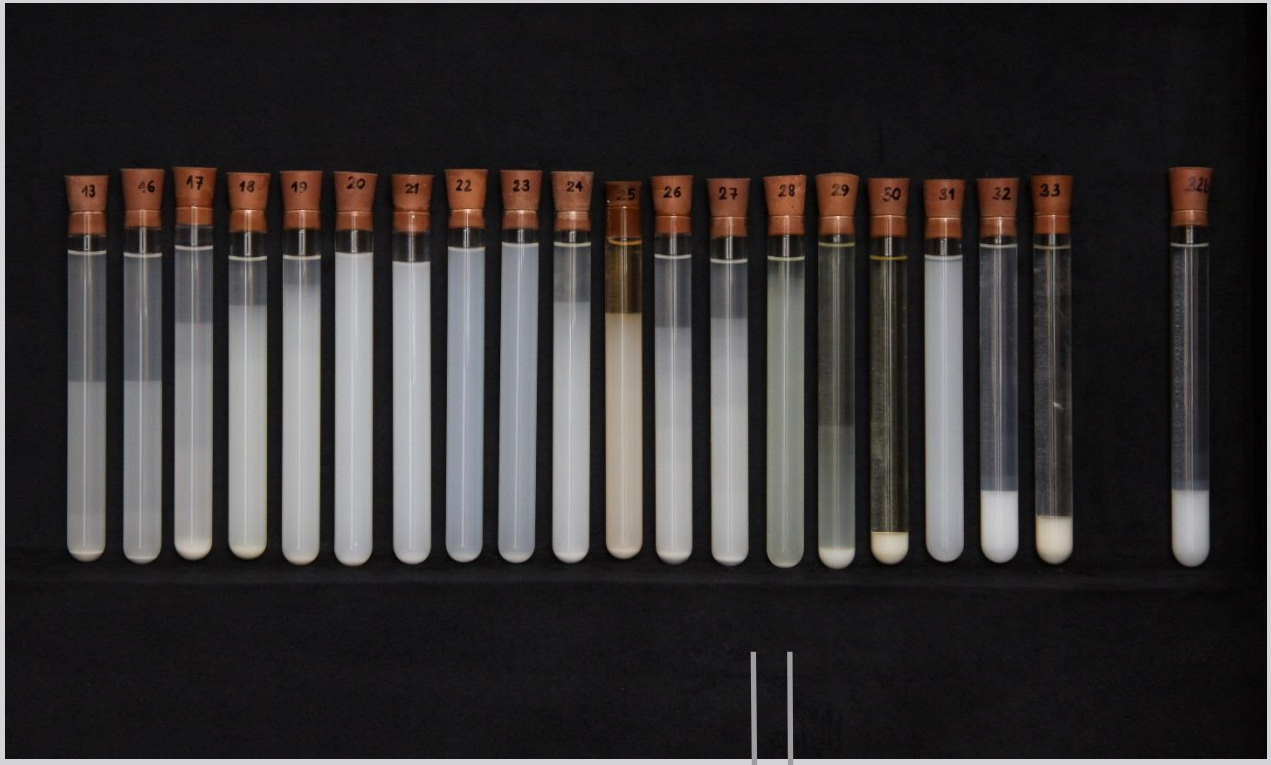


Vápenné suspenze

Směsi 1:1

Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

3. týden

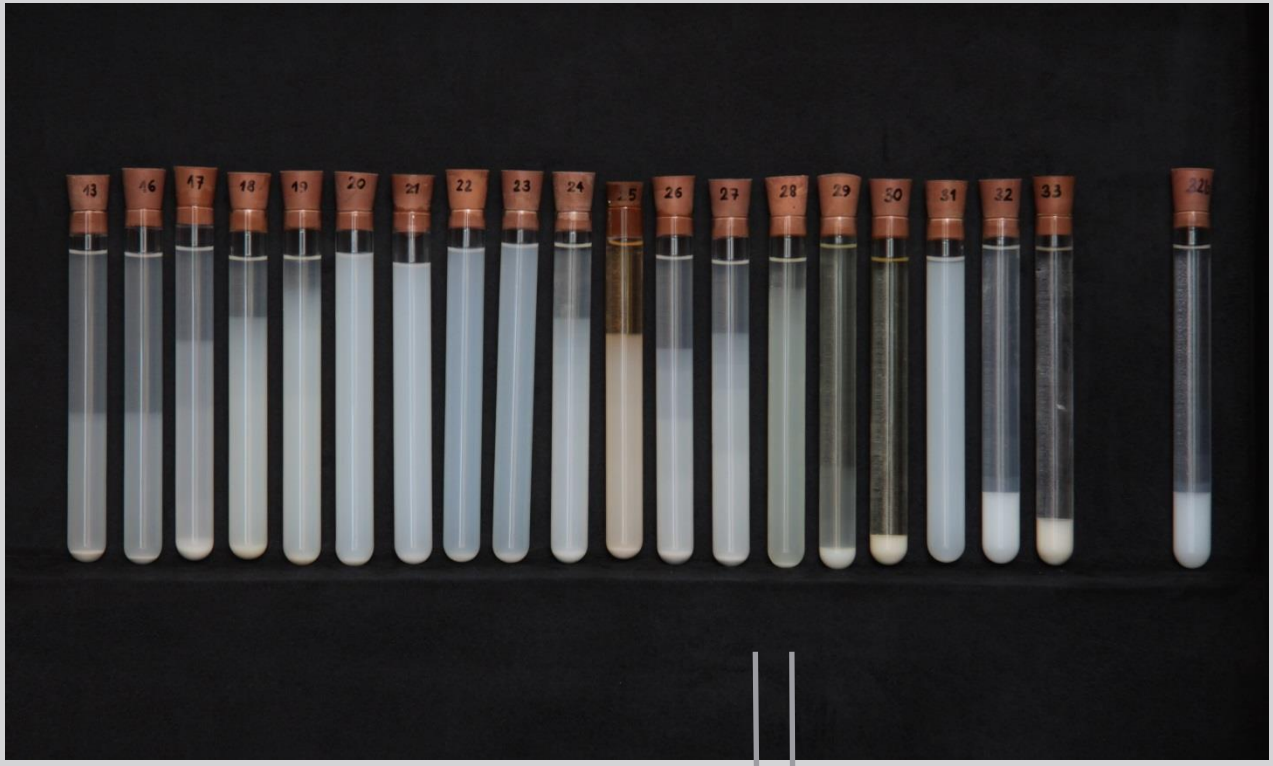


Vápenné suspenze

Směsi 1:1

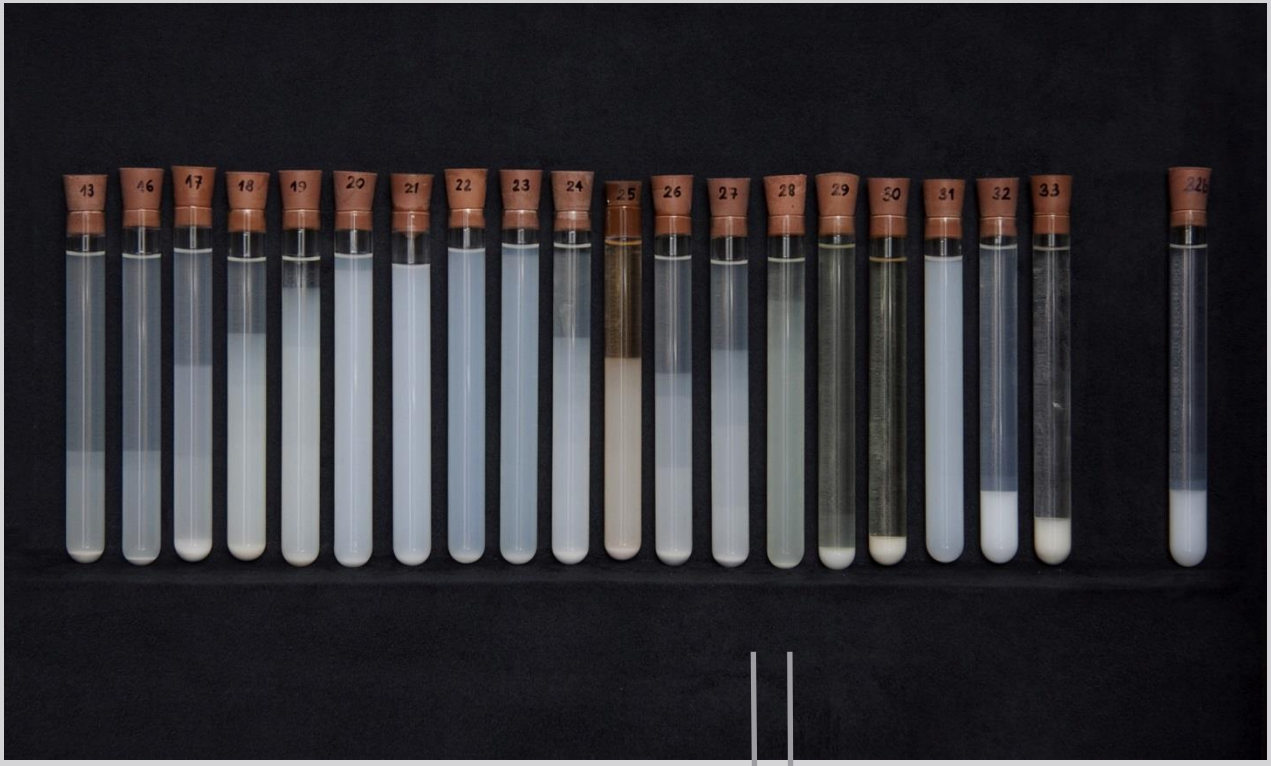
Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

4. týden



Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

5. týden

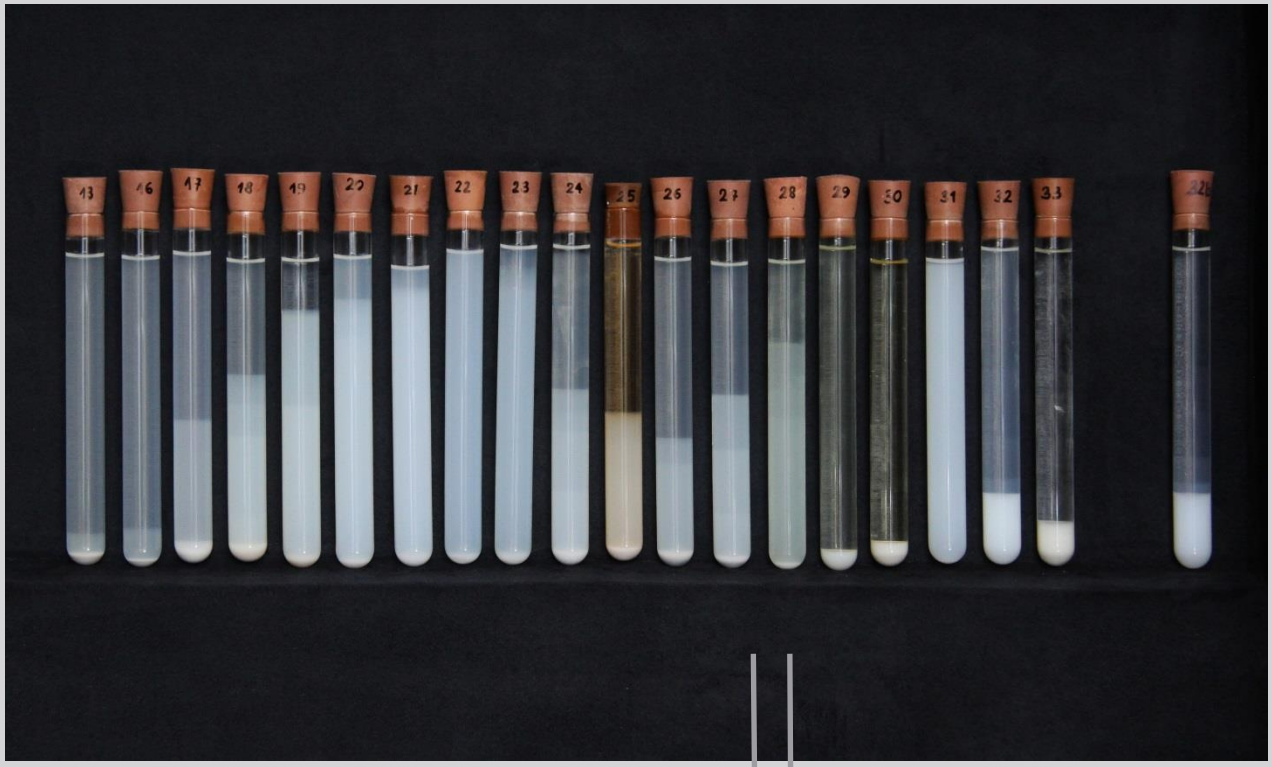


Vápenné suspenze

Směsi 1:1

Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

7. týden

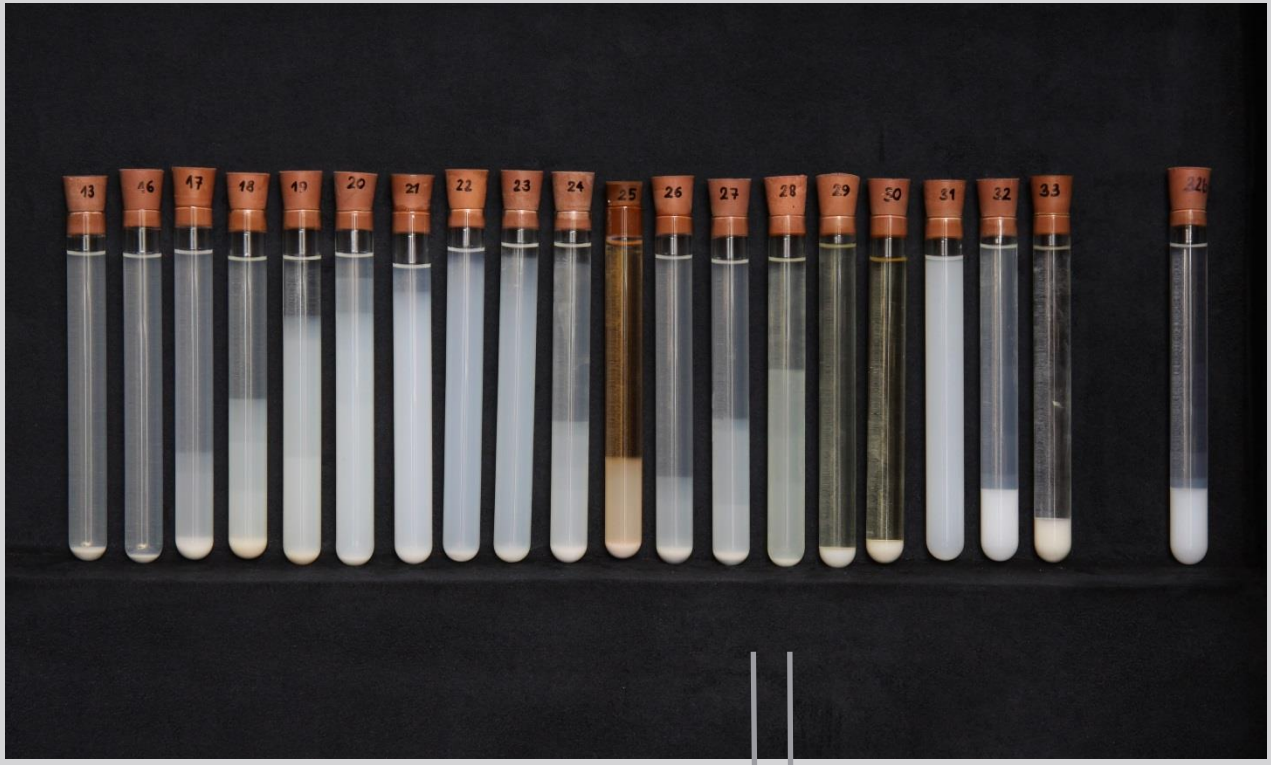


Vápenné suspenze

Směsi 1:1

Pozorování sedimentace suspenzí a jejích směsí s organokřemičitany

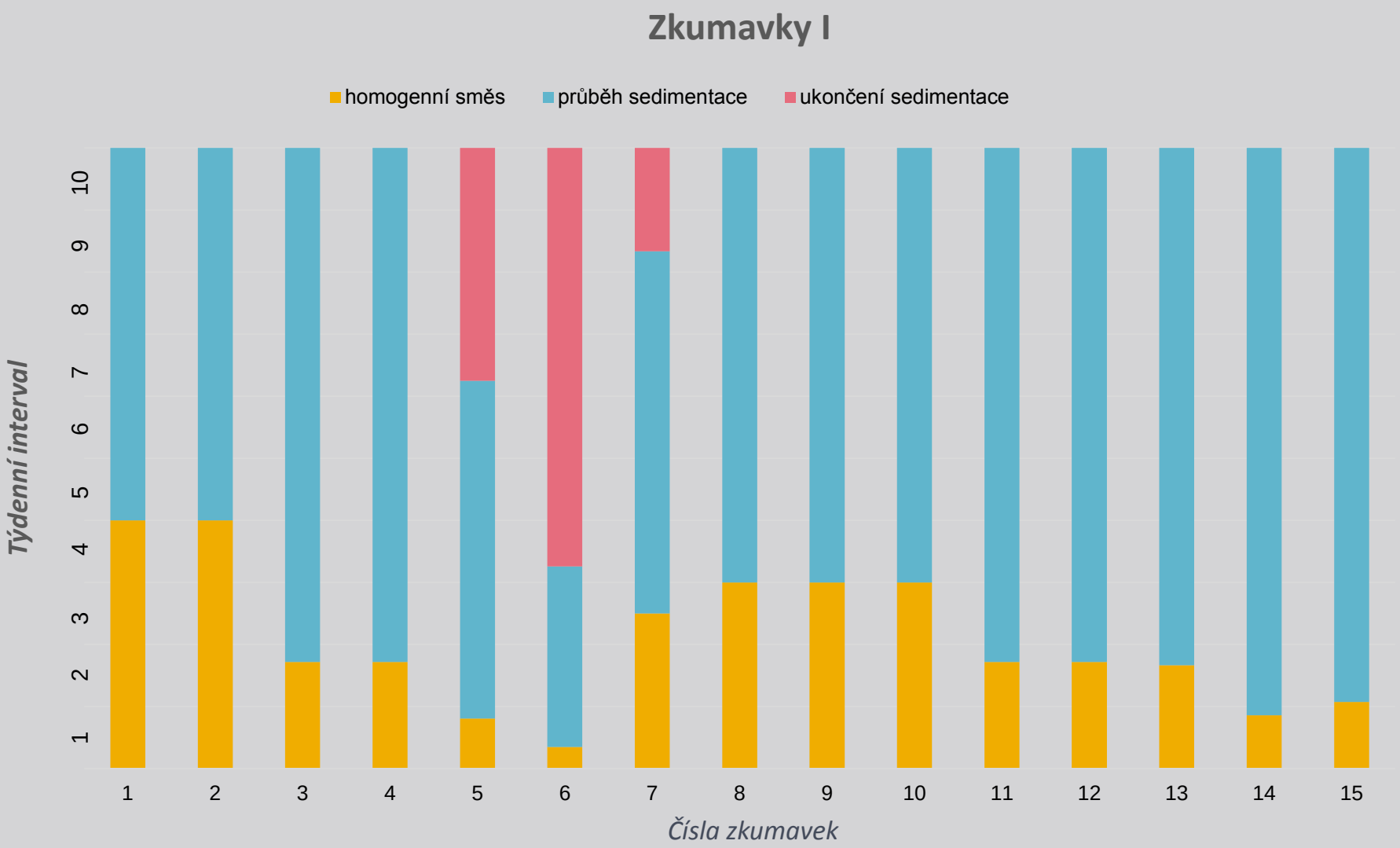
9. týden



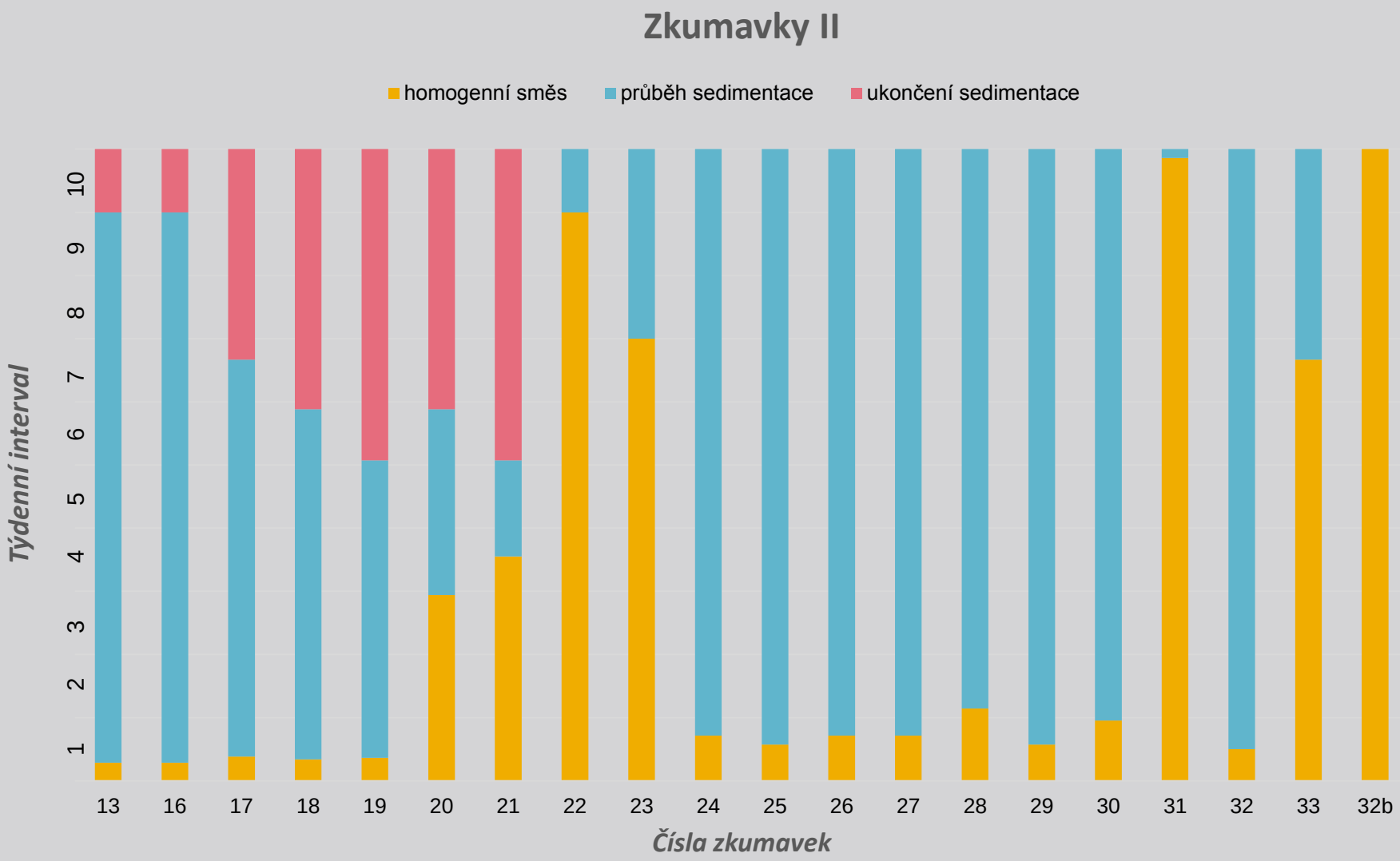
Vápenné suspenze

Směsi 1:1

Grafické znázornění rychlosti usazování pevné složky ve směsi



Grafické znázornění rychlosti usazování pevné složky ve směsi



Vyhodnocení sedimentace

U jednotlivých vápenných suspenzí a jejích směsí s estery kyseliny křemičité byla sledována sedimentace, a zaznamenávala se rychlost a průběh usazování pevné složky ve směsi. Ve zkumavkách č. 1 - 6 se nachází neředěné suspenze. Konstantní homogenní rozložení částic $Ca(OH)_2$ si na nejdelší dobu zachovaly vápenná suspenze **CaLoSiL® E25,** produkt od firmy IBZ – SALZCHEMIE, a vápenná suspenze **CSGI E** z institutu CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO PER LO SVILUPPO DEI SISTEMI A GRANDE INTERFASE. Naopak nejméně stabilní byla suspenze **MBN Nf070** z italského institutu MBN NANOMATERIALIA SPA, 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 velmi příznivé účinky ředění vápenných suspenzí v technickém lihu. Byla to právě suspenze **CSGI E** ředěná v **technickém etanolu**, která se projevila jako nejstabilnější ze všech zkoumaných produktů (na snímcích ve zkumavce č. 22). I u jiných suspenzí lze doložit lepší nebo přinejmenším srovnatelnou stabilitu v lihu technickém oproti lihu absolutnímu.

V posledních zkumavkách, označených čísly 28 - 33 byly připraveny směsi vápenných suspenzí s konsolidanty na bázi esterů kyseliny křemičité. U všech použitých suspenzí se jevilo jako nevhodné kombinování s produktem **KSE 300E** od firmy Remmers. Již v prvních dnech zde docházelo k reakci a zgelovatění směsi. Podstatně lepší výsledky umožňuje kombinace vápenných suspenzí s **KSE 300 HV**. Podle našich zkoušek v kombinaci s **KSE 300 HV** nejlépe obstála suspenze **CaLoSiL® E25** v koncentraci 10g/l absolutního etanolu (směs v poměru 1:1).

Příprava zkušebního panelu

Abychom mohli porovnat a zdokumentovat účinky vybraných typů vápenných suspenzí, připravili jsme dva omítkové panely s modelově vytvořenou simulací degradované barevné vrstvy.
Zkušební panely jsou opatřeny dvouvrstvou vápennou omítkou s nízkým obsahem pojivové složky. Povrch intonaka byl utažen a vyfilcován.

•Arriccio:

- ❖1 díl vzdušného vápna
- ❖4 díly písku

•Intonako:

- ❖1 díl vzdušného vápna
- ❖2 díly mramorové moučky
- ❖5 dílů písku

Na jemnozrnný povrch intonaka byla štětcem ve dvou vrstvách nanesena barevná vrstva **bez obsahu pojiva**. Abychom se co nejvíce přiblížili simulované degradované malbě ve fresce či vápenném seku, byla k pigmentu přidána mramorová moučka, tedy uhličitan vápenatý, který je v barevné vrstvě běžně pojivem, někdy i plnivem.

•Barevná vrstva:

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

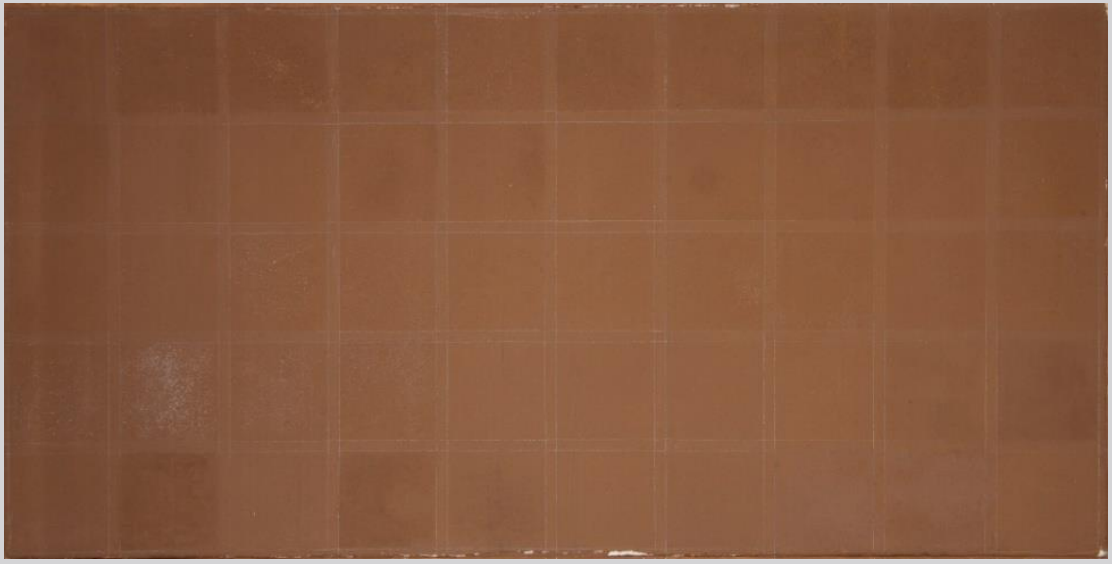
Testování suspenzí a jejich kombinace s estery kyseliny křemičité na panelech

Dva zkušební omítkové panely o velikosti 100x50cm byly rozděleny čtvercovou sítí na celkem 100 polí o velikosti 9x9cm. Konsolidant byl nanesen postřikem pomocí jemného rozprašovače až do stavu nasycení substrátu, tedy do chvíle, kdy suspenze začínala po dobu delší než několik sekund zůstávat na povrchu. Zkoušeli jsme 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.

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 hodnocení míry zpevnění a estetických změn. Míra zpevnění po nanesení konsolidačních prostředků bude měřena a hodnocena i objektivně, tedy odtrhovým testem (Scotch Tape Test).

Na snímku (vlevo) můžeme vidět vizuální změny, které se projevily u některých směsí. Tmavnutí barevné vrstvy nebo tvorba bílého zákalu může být způsobena jednak typem směsi ale také množstvím vody při vlhčení.



Sledování změn po aplikaci konsolidačních prostředků

- Vizuálním pozorováním lze nalézt rozdílné projevy jednotlivých prostředků. Již v počátku testování se na zpráškovatělou barevnou vrstvu osvědčilo použití nejjemnějšího rozprašovače. Řada A na zkušebním panelu I byla testována pomocí jemného mechanického rozprašovače *Dahlia Sprayer*. Při vlhčení vodou docházelo k shlukování pigmentů a následně docházelo k odtržení a šupinovatění barevné vrstvy. Z tohoto důvodu byl vyzkoušen ještě jemnější, tentokrát plynový rozprašovač *Preval Sprayer*. Použití jemného atomizéru *Preval* umožnilo velmi šetrnou aplikaci testovaných směsí, aniž by jeho vlivem docházelo k optickým či jiným změnám barevné vrstvy.

- Zaznamenána byla široká škála intenzity a tónů bílého zákalu, který je pravděpodobně způsoben množstvím a velikostmi částic $Ca(OH)_2$ v suspenzi. Podle výsledků provedených zkoušek lze konstatovat, že je možné bílý zákal výrazně redukovat následným vlhčením vodou. Bílý zákal je dobře znatelný na zvětšených snímcích pořízených pomocí USB mikroskopu (v našem případě se jednalo o *MicroCapture Pro* od výrobce *Celestron*).

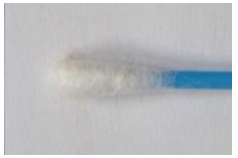
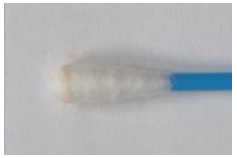
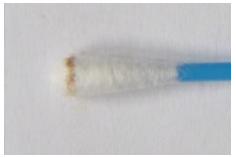
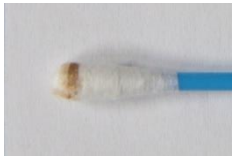
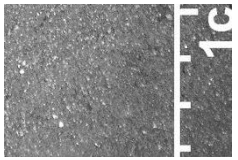
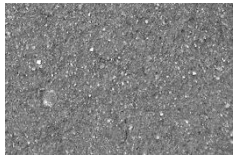
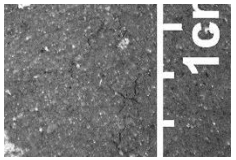
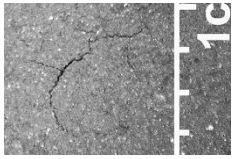
- Dále bylo pozorováno tmavnutí způsobené konsolidanty na bázi esterů kyseliny křemičité. Podle provedených zkoušek může být nicméně tmavnutí způsobeno i vícečetným vlhčením vodou.

- V rámci subjektivního pozorování byly zaznamenány mikrotrhliny, šupinky a jiné defekty barevné vrstvy.

- Míra zpevnění, sprašování či tvorba šupin barevné vrstvy byla posuzována subjektivně pomocí testu s vatovým tamponem a odtrhového testu s lepící páskou (Scotch Tape Test).

- Pro závěrečné vyhodnocení a porovnání jednotlivých konsolidantů byla zvolena škála (viz níže), pomocí níž lze subjektivně ohodnotit rozsah nežádoucích efektů a míru zpevnění.

Škála intenzity nežádoucích efektů

	0 neznatelný	1 slabý	2 střední	3 silný
bílý zákal				
tmavnutí				
sprašování				
mikrotrhliny				
odtrhový test množství odtrženého mateiálu na 4cm²	0-1mg	2-3mg	4-5mg	6-11mg

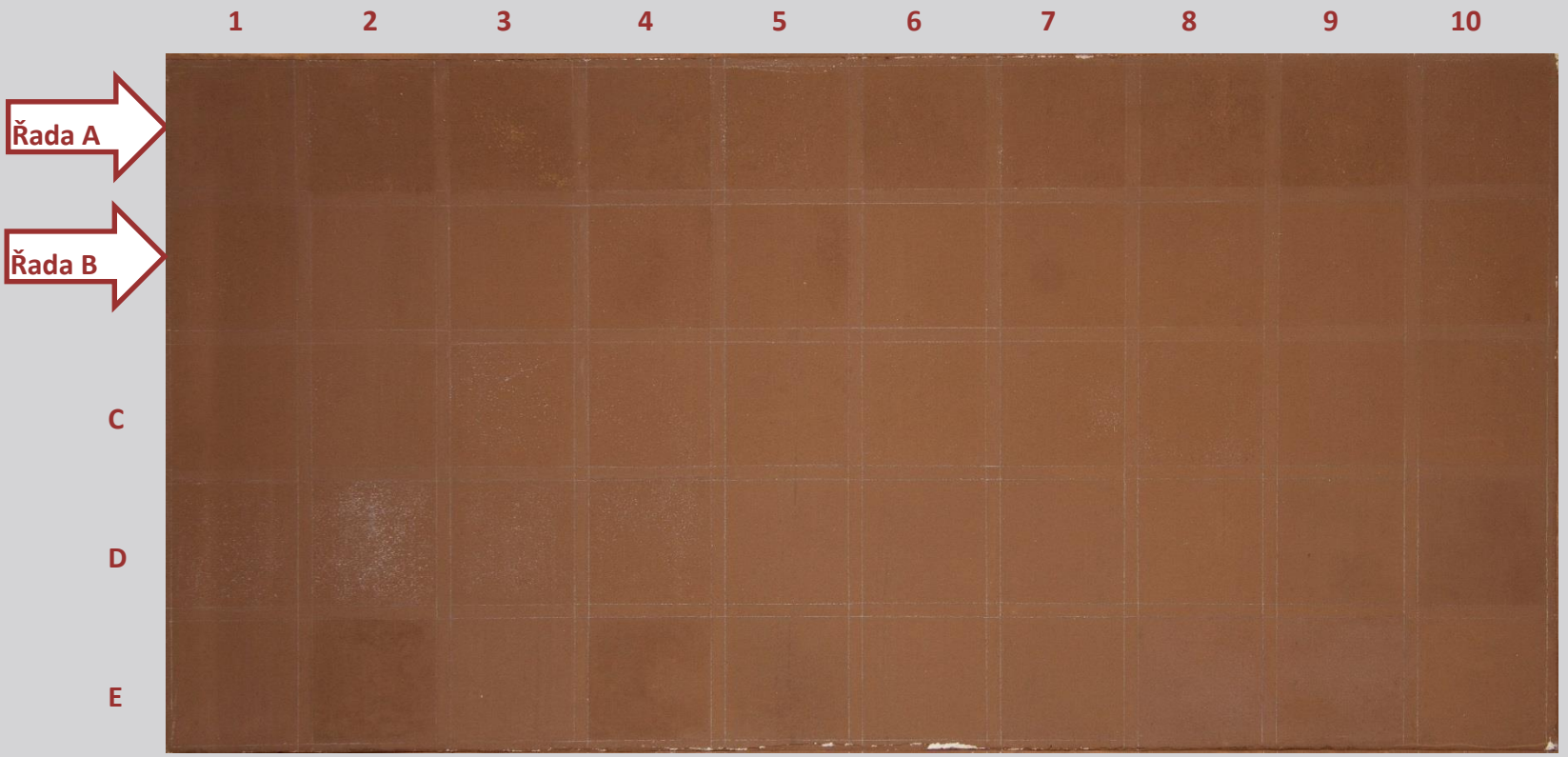
Odtrhový test (Scotch Tape Test)

Patří k objektivním metodám posuzování míry zpevnění. Měřeno je množství odtrženého materiálu pomocí lepící 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 špatná 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.
Vymezená lepící plocha pásky byla ve všech zkouškách 20x20mm (+/-1mm).

Celkem 6 vybraných typů lepících pásek bylo testováno v totožném poli (A10)na panelu I. Mezi požadovanými vlastnostmi pásek byla transparentnost, snadná manipulace a nižší lepivost. K výslednému testování byla zvolena páska *Pritt* od firmy *Henkel* pro svou nižší lepivost a průhlednost (lepší kontrolovatelnost).

Zkoušky na panelu I



V řadě A jsme aplikovali vápenné suspenze v koncentraci 5g/l v celkem 6 cyklech. Po každé aplikaci následoval postřik demineralizovanou vodou, aby byla omezena tvorba bílého zákalu. K postřiku konsolidantů jsme použili *Dahlia Sprayer* a na vodu běžný rozprašovač. Ukázalo se, že zpráškovatělá barevná vrstva se při nadměrném množství aplikované kapaliny začala oddělovat od podkladu a nadzvedávat ve formě malých puchýřů. Oba zmíněné typy rozprašovačů se jevily pro naše potřeby jako nevhodné, a proto jsme se rozhodli použít na všechny ostatní pole a aplikace jiný, jemný plynový rozprašovač *Preval Sprayer*. V řadě B jsme proto aplikovali suspenze znovu, ve stejném pořadí a počtu cyklů jako v řadě A.

I B1

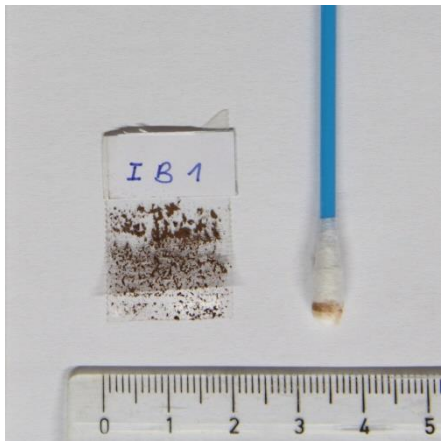
ZFB 703i

5g/l Technický etanol
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B1 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	2
sprašování	2
mikrotrhliny	0
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
4 mg

I B2

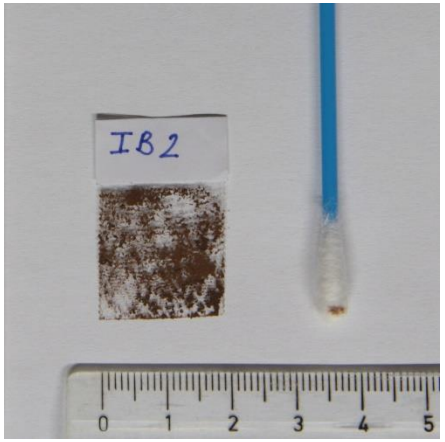
MBN Nf070

5g/l Isopropanol
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	1
sprašování	2
mikrotrhliny	0
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
5 mg

I B3

ZFB 734e

5g/l Technický etanol
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B3 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	2
sprašování	1
mikrotrhliny	1
odtrhový test	3

Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
8 mg

I B4

ZFB 734e

5g/l 98% etanol
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	2
sprašování	1
mikrotrhliny	2
odtrhový test	3

Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
7 mg

I B5

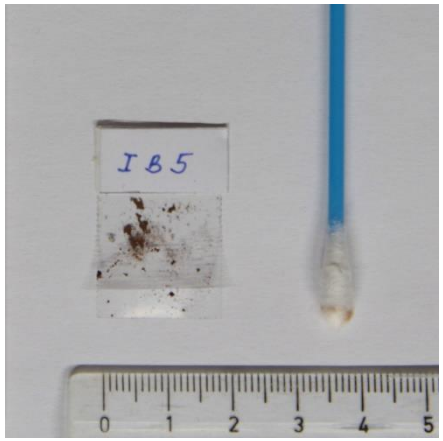
ZFB 703i

5g/l Isopropanol
Aplikace 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	1
mikrotrhliny	2
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

I B6

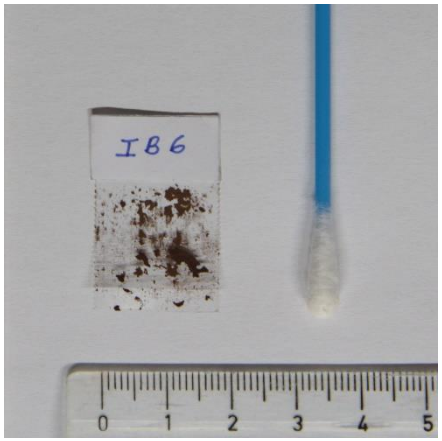
CSGI 1P

5g/l Propanol
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	2
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
4 mg

I B7

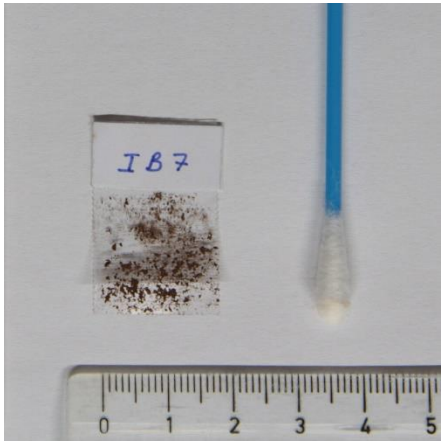
CSGI E

5g/l Technický líh Penta
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B7 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
5 mg

I B8

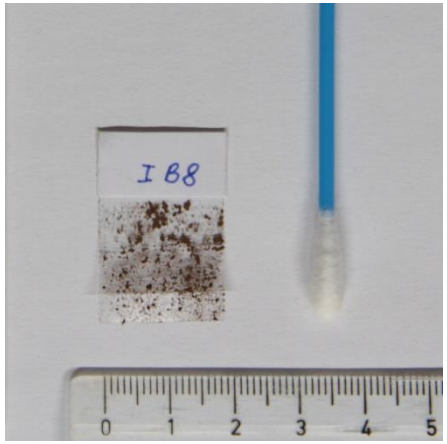
CSGI E

5g/l Absolutní líh Penta
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B8 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
5 mg

I B9

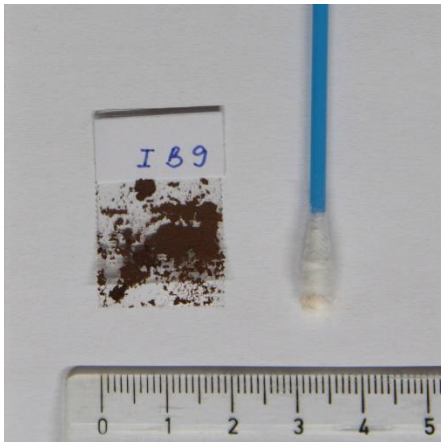
CaLoSiL® E25

5g/l Technický etanol
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B9 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	1
mikrotrhliny	2
odtrhový test	3



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

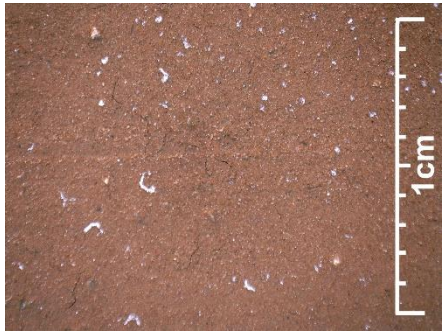
odtrhový test
odebraný materiál
11 mg

I B10

CaLoSiL® E25

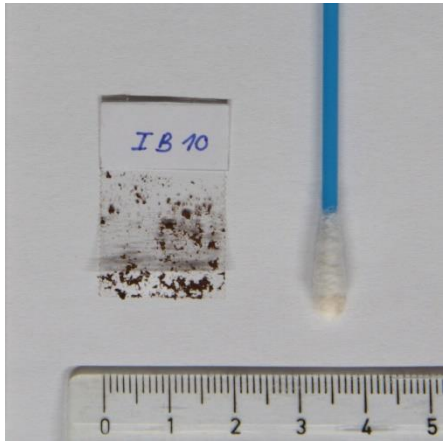
5g/l 98% etanol
Aplikace: 6x + H_2O (6x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole B10 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

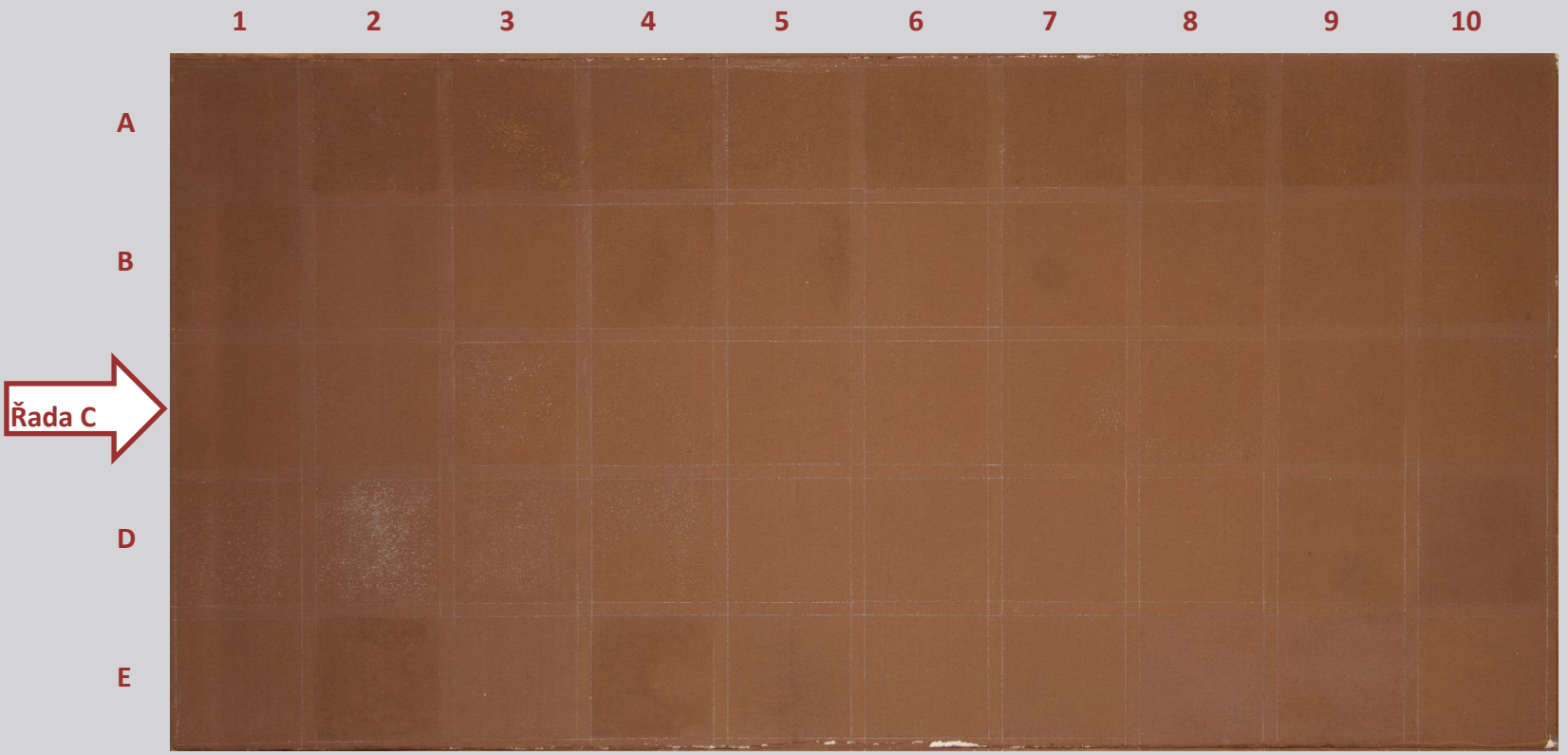
bílý zákal	2
tmavnutí	2
sprašování	1
mikrotrhliny	3
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
5 mg

Zkoušky na panelu I



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

I C1

ZFB 703i

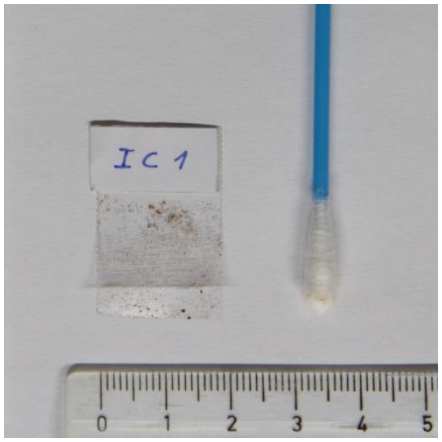
10g/l Technický etanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C1 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

I C2

MBN Nf070

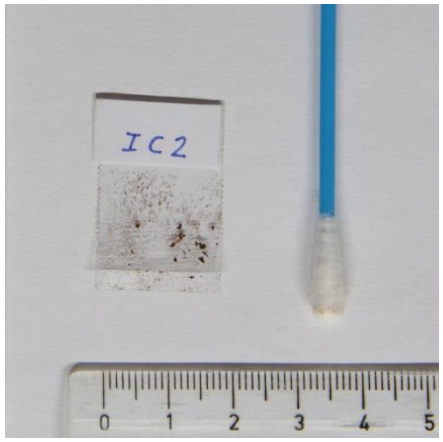
10g/l Isopropanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1

odtrhový test
odebraný materiál
3 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

I C3

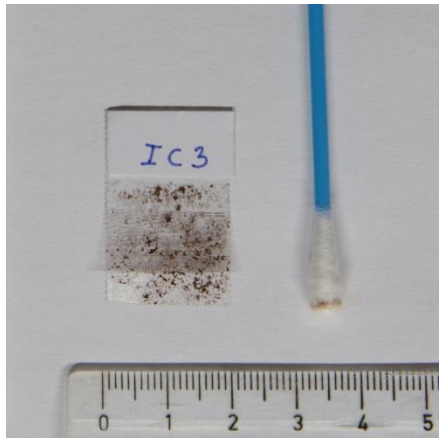
ZFB 734e

10g/l Technický etanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C3 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	2
mikrotrhliny	1
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
4 mg

I C4

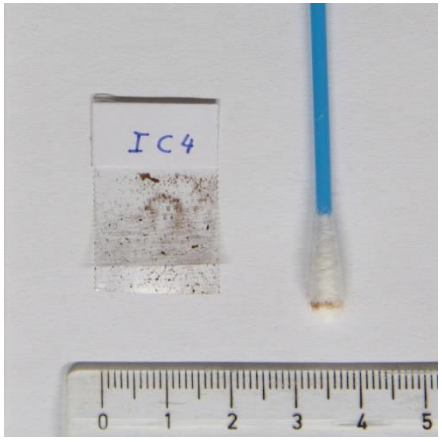
ZFB 734e

10g/l 98% etanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	2
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
3 mg

I C5

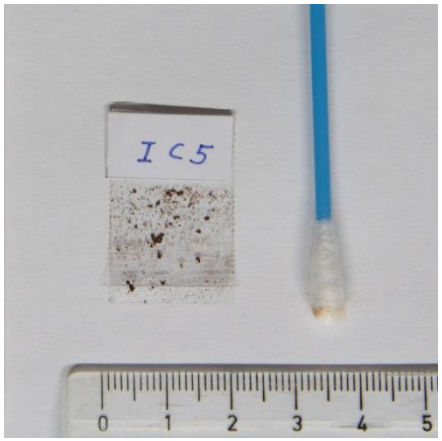
ZFB 703i

10g/l Isopropanol
Aplikace :3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	2
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
3 mg

I C6

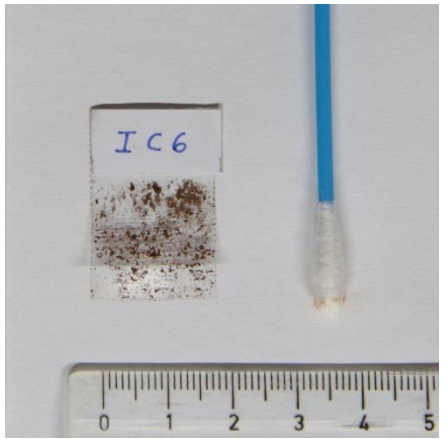
CSGI 1P

10g/l Propanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
4 mg

I C7

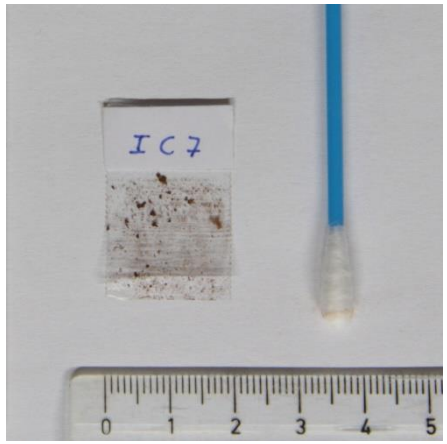
CSGI E

10g/l Technický etanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C7 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

I C8

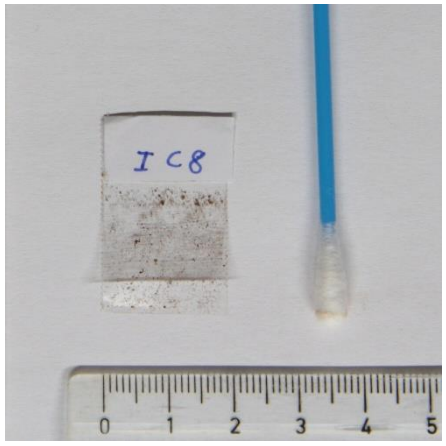
CSGI E

10g/l 98% etanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C8 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

I C9

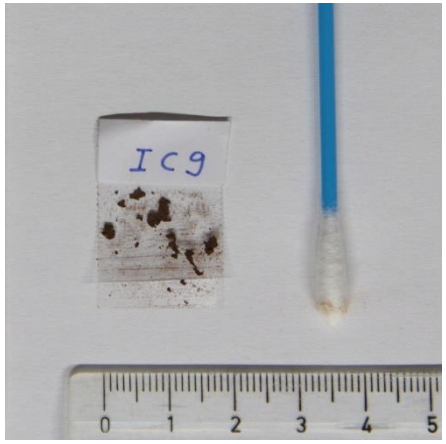
CaLoSiL® E25

10g/l Technický etanol
Aplikace 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C9 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
5 mg

I C10

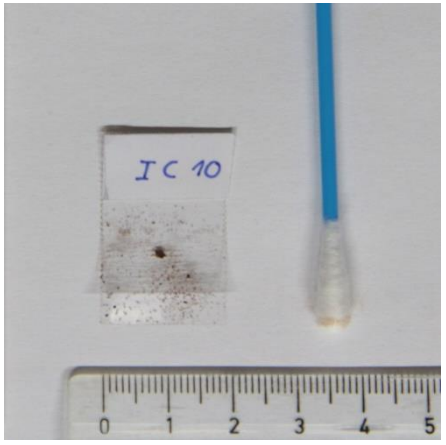
CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol
Aplikace: 3x + H_2O (3x)
11. 4. 2014

Snímek zkušebního pole C10 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

Zkoušky na panelu I

V polích 1-4 jsou aplikovány vápenné suspenze v koncentraci 5g/l **bez následného vlhčení vodou**, ta byla nanesena až dodatečně po 6. aplikaci 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 (300g/l). Směsi byly aplikovány pomocí plynového rozprašovače bez následného vlhčení vodou.

V polích 8-10 jsou vrstveně nanášeny různé typy a koncentrace organokřemičitanů.

1 2 3 4

Řada D

I) Mezistav po 6. kole aplikace vápenných suspenzí bez H_2O

Řada D

II) Konečný stav po navlhčení vodou (celkem 2x navlhčeno)

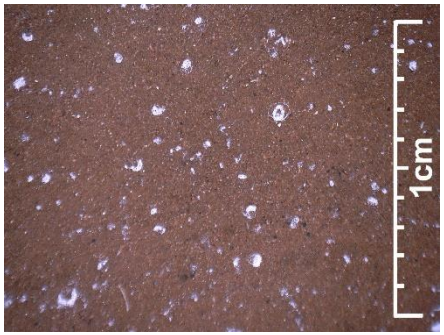
I D1

ZFB 734E

5g/l 98% etanol
Aplikace: 11. 4. 2014

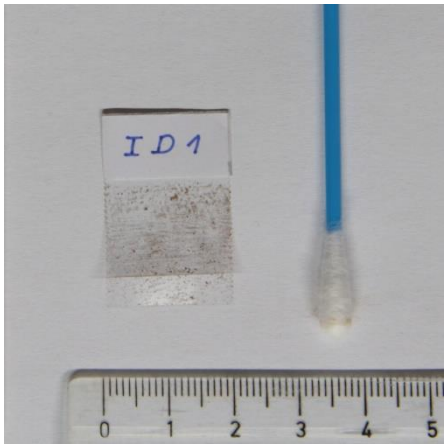
I) 6x bez H_2O
II) H_2O (2x)

Snímek zkušebního pole D1 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	3
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

I D2

CSGI E

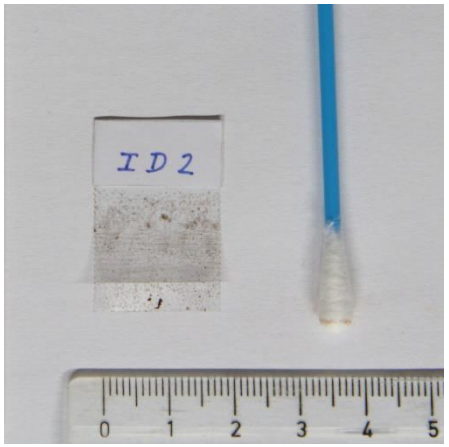
5g/l Technický etanol (Severochema)
Aplikace: 11. 4. 2014

I) 6x bez H_2O
II) H_2O (2x)

Snímek zkušebního pole D2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	3
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

I D3

CaLoSiL® E25

5g/l Technický etanol
(Severochema)
I)Aplikace: 3x bez H_2O

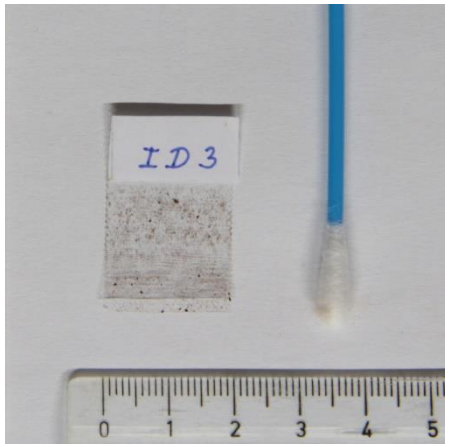
ZFB 734E

5g/l 98% etanol
Aplikace: 11.4.2014
II) 3x bez H_2O
I) H_2O (2x)

Snímek zkušebního pole D3 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	3
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

I D4

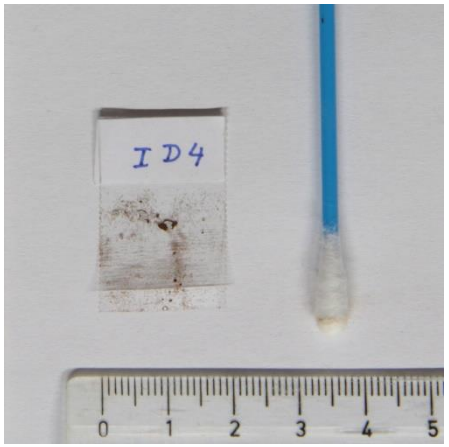
CaLoSiL® E25

5g/l Technický etanol
(Severochema)
Aplikace: 11.4.2014
I) 6x bez H_2O
II)H_2O

Snímek zkušebního pole D4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

I D5

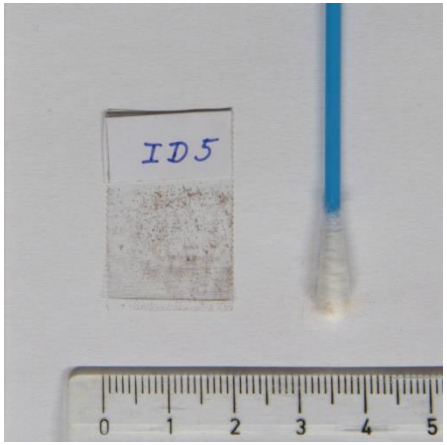
CSGI E
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 1x bez H_2O
14.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole D5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

I D6

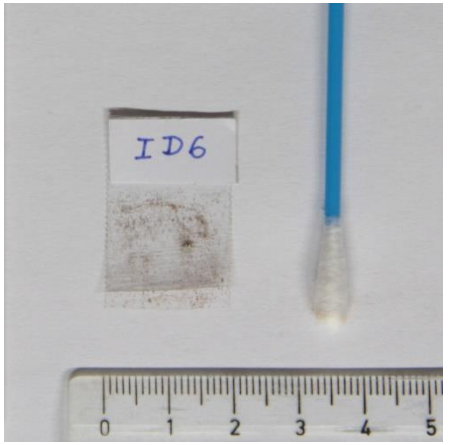
CaLoSiL® E25
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 1x bez H_2O
14.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole D6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

I D7

CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol

+

KSE 300 E

Aplikace: 1x bez H_2O

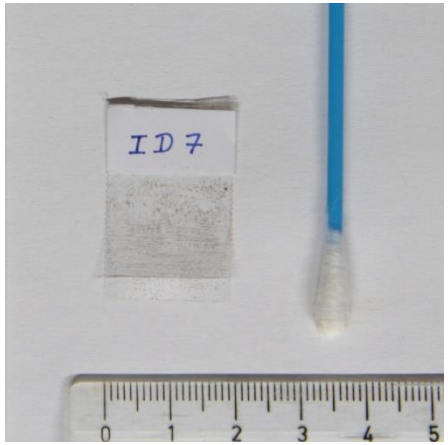
14.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole D7 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

I D8

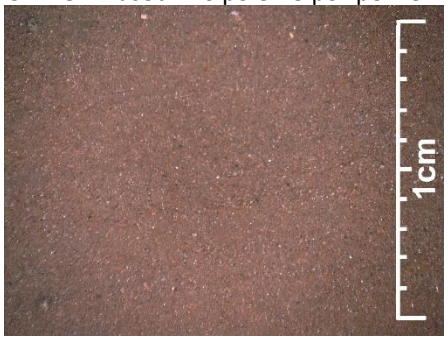
I) KSE 100

Aplikace: 1x

II) KSE 300HV

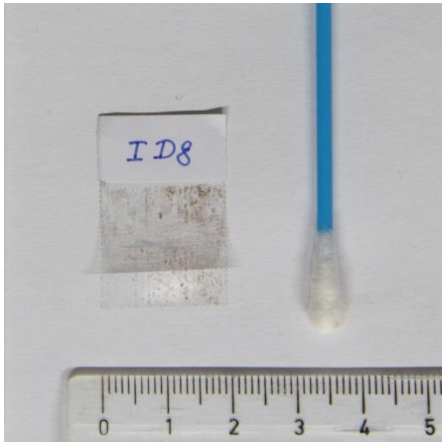
Aplikace: 1x

Snímek zkušebního pole D8 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

I D9

I) KSE 100

Aplikace: 1x

II) KSE 300E

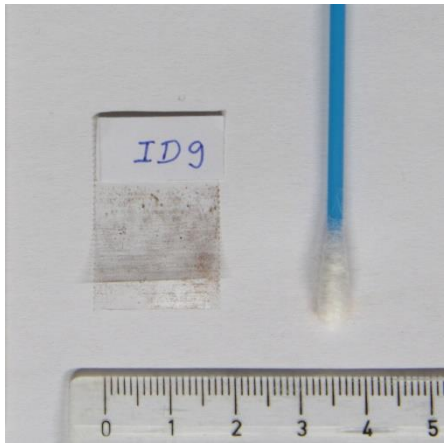
Aplikace: 1x

Snímek zkušebního pole D9 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

I D10

I) KSE 100

Aplikace: 1x

II) KSE 300E

Aplikace: 1x

III) KSE 500E

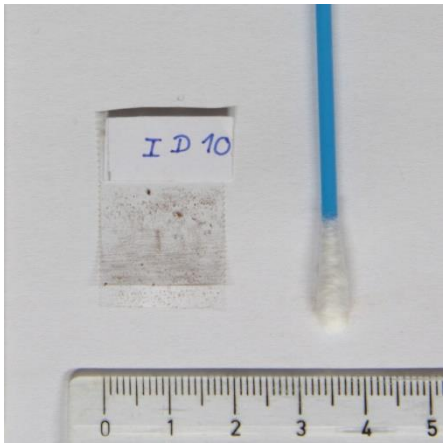
Aplikace: 1x

Snímek zkušebního pole D10 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

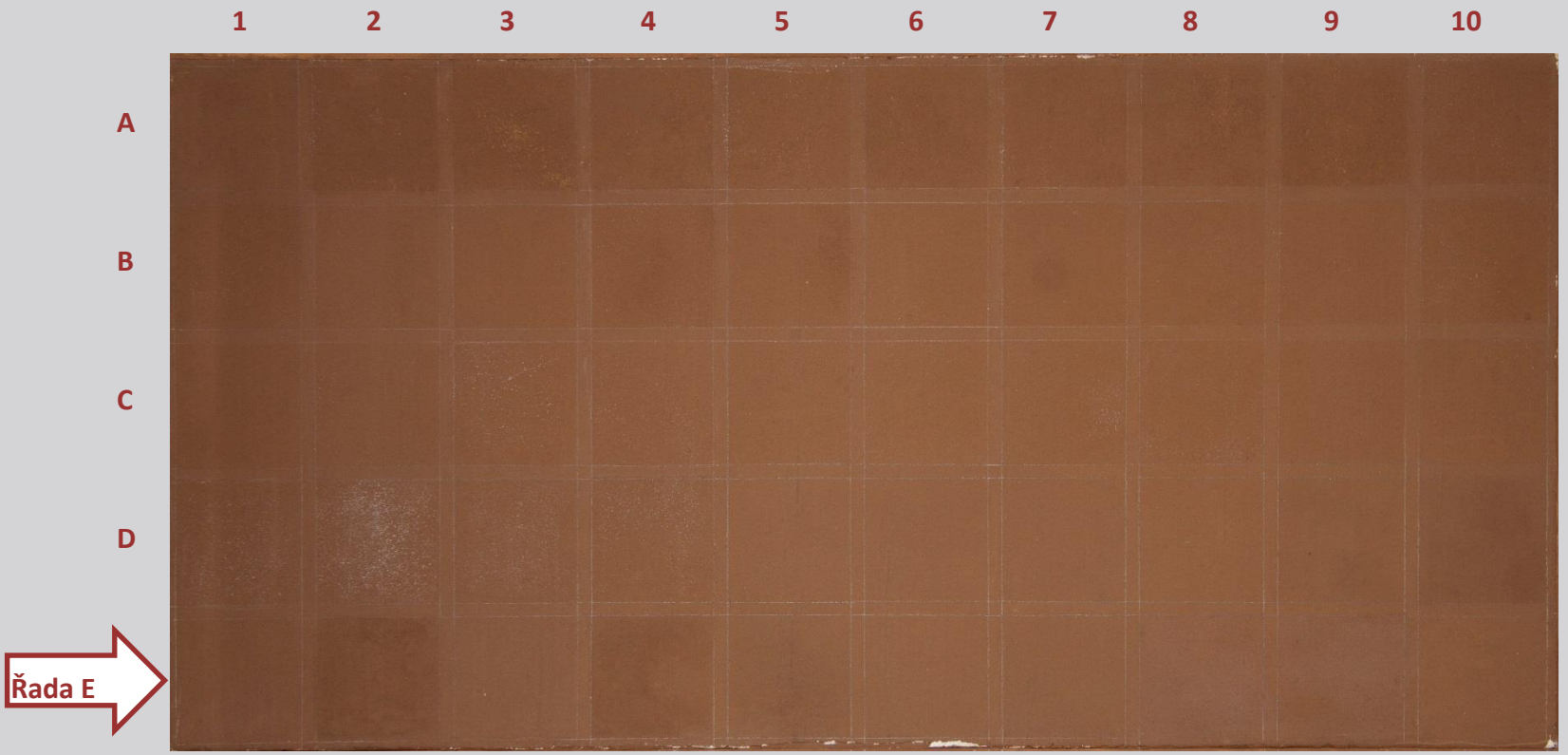
bílý zákal	0
tmavnutí	3
sprašování	0
mikrotrhliny	2
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

Zkoušky na panelu I



V polích 1-4 a 8-9 byly aplikovány nejprve 2 typy konsolidantů na bázi esterů kyseliny křemičité vrstveně po jednom cyklu. Po vyschnutí byly v prvních čtyřech polích naneseny vápenné suspenze v jednom cyklu s následným vlhčením destilovanou vodou. Vápenné suspenze jsou ředěny na 10g /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 ponechané bez zásahu a slouží jako standard původní nezpevněné barevné vrstvy.

I E1

I) KSE 100
Aplikace: 1x

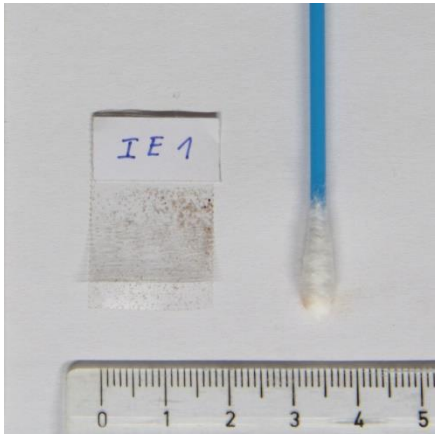
II) KSE 300 HV
Aplikace: 1x

III) CaLoSiL® E25
10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
14.4.2014

Snímek zkušebního pole E1 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

I E2

I) KSE 100
Aplikace: 1x

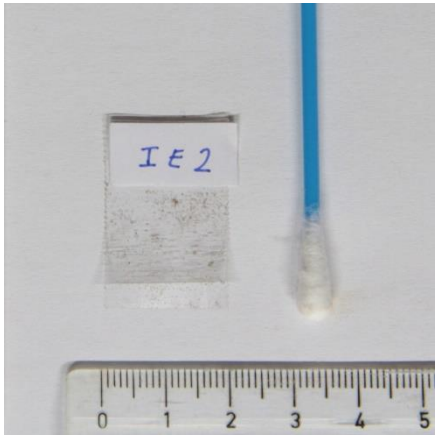
II) KSE 300 E
Aplikace: 1x

III) CaLoSiL® E25
10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
14.4.2014

Snímek zkušebního pole E2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	3
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

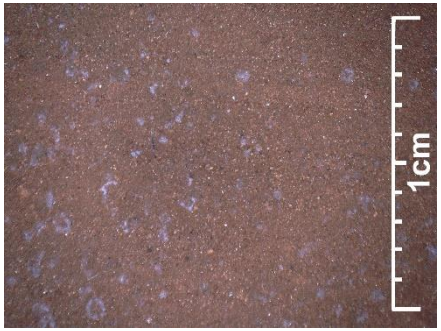
I E3

I) KSE 100
Aplikace: 1x

II) KSE 300HV
Aplikace: 1x

III) CSGI E
10g/l Absolutní líh
Aplikace: 1x
14.4.2014

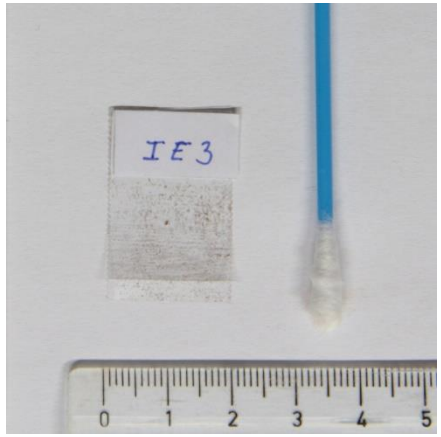
Snímek zkušebního pole E3 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	3
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

I E4

I) KSE 100
Aplikace: 1x

II) KSE 300 E
Aplikace: 1x

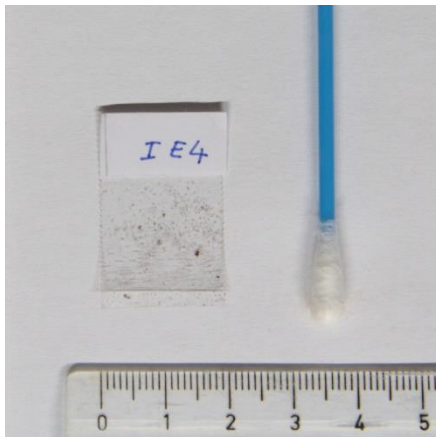
III) CSGI E
10g/l Absolutní líh
Aplikace: 1x
14.4.2014

Snímek zkušebního pole E4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	3
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

I E5

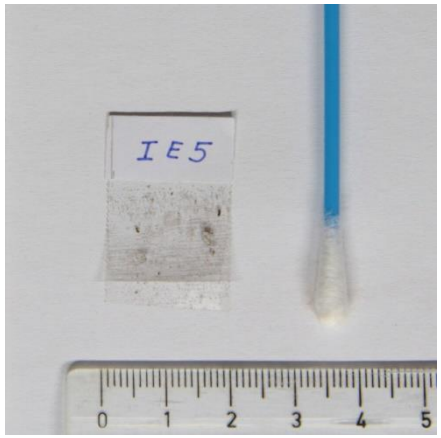
ZFB 703i
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 E
Aplikace: 1x bez H_2O
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole E5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

I E6

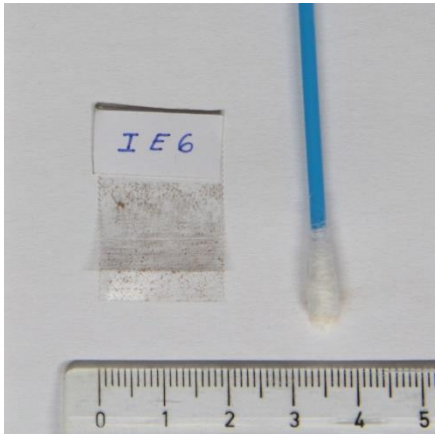
ZFB 703i
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 1x bez H_2O
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole E6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

I E7

ZFB 703i

10g/l 98% etanol

+

KSE 300 HV

SMĚS 1:1

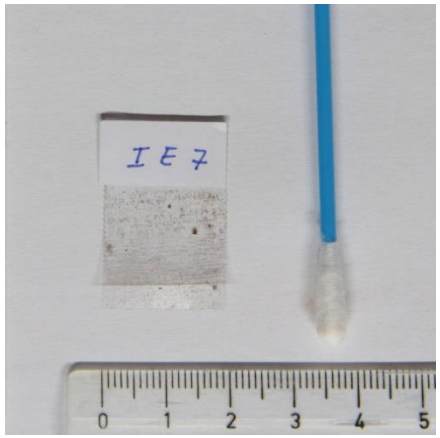
Aplikace: 2x bez H_2O

25.4.2014

Snímek zkušebního pole E7 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
3 mg

I E8

I) KSE 100

Aplikace: 1x

II) KSE 300 HV

Aplikace: 1x

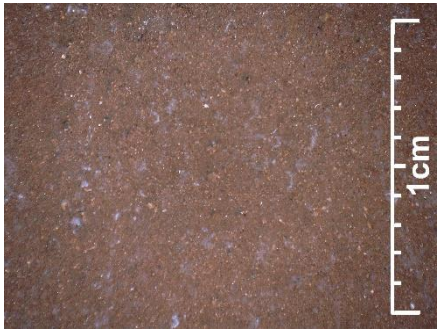
III) CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol

Aplikace: 2x

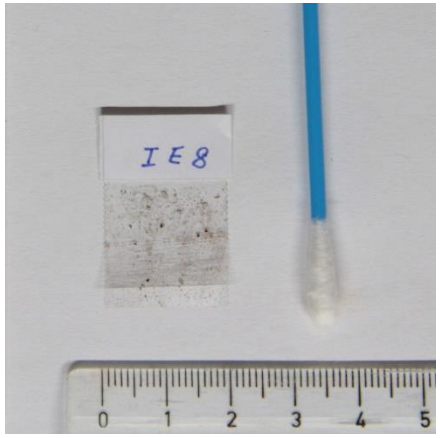
25.4.2014

Snímek zkušebního pole E8 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

I E9

I)KSE 100

Aplikace: 1x

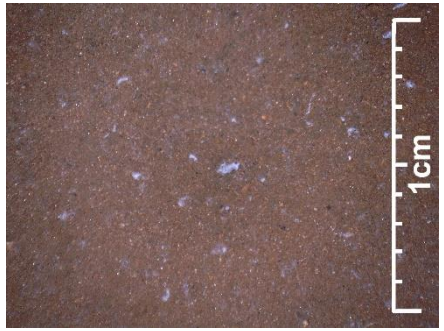
II) KSE 300 E

Aplikace: 1x

III) CSGI E

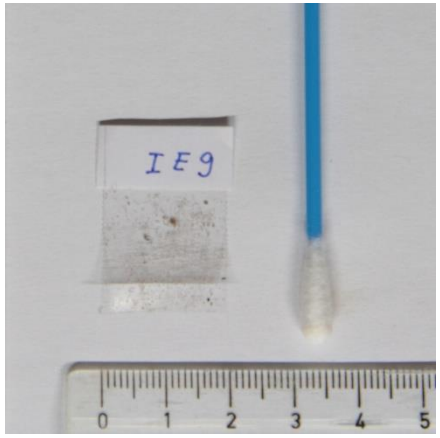
10g/l 98% etanol
Aplikace: 2x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole E9 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

I E10

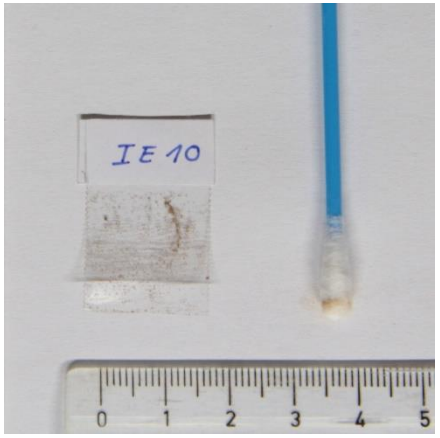
STANDARD

Nezpevněno

Snímek zkušebního pole E10 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	2
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

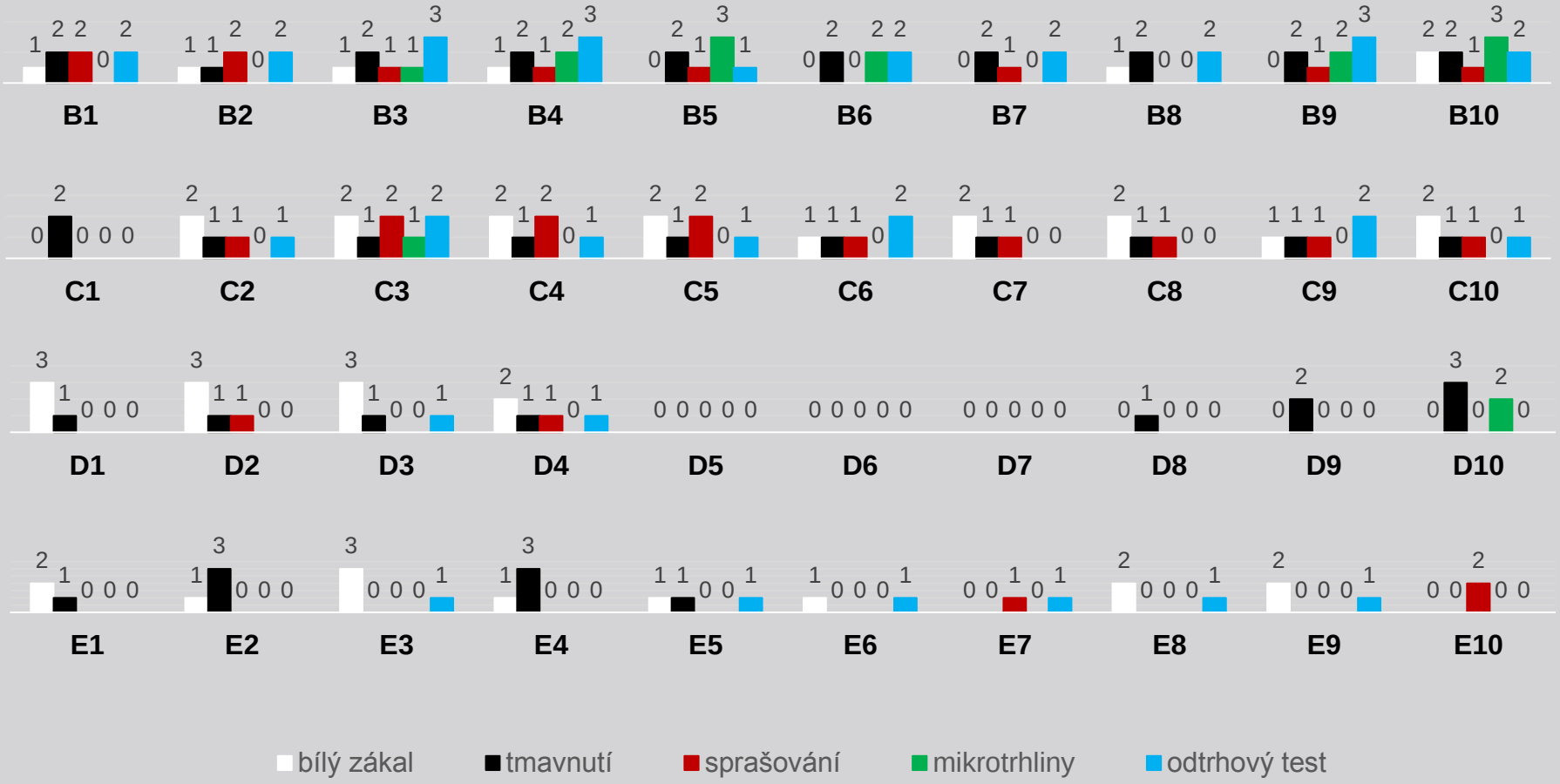


Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

Grafy zobrazující míru nežádoucích změn po aplikaci konsolidantů na panelu I

Škála nežádoucích efektů, pomocí níž se subjektivně hodnotily změny po aplikaci jednotlivých konsolidantů je zde zastoupena barevnými grafy. Nejoptimálnější konsolidanty podle provedených zkoušek mají nejnižší hodnoty nežádoucích efektů. Naopak nejvyšší hodnoty znamenají nežádoucí účinky.



Stupnice hodnot nežádoucích efektů: 0 (neznatelný); 1 (slabý); 2 (střední); 3 (silný)

Výsledky testování na panelu I

Řada B – *vápenné suspenze v koncentraci 5 g/l (6 cyklů)*
Dobré zpevňující účinky se projevily 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.

Řada C – *vápenné suspenze v koncentraci 10 g/l (3 cykly)*
Nejlepších konsolidačních výsledků v této řadě 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 našich zkušeností spíše působeno následným vlhčením. Otázkou však je, proč nebylo stejně výrazné tmavnutí zaznamenáno i u ostatních zkoušek v této řadě. 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 výrazně k tvorbě bílého zákalu, zvláště u produktů ZFB 734e a CSGI E.

Řada D
V polích 1 až 4 byly zkoušeny vápenné suspenze bez průběžného vlhčení, které následovalo až po posledním 6. kole aplikace. Konsolidační účinky jsou velmi dobré, ale silný bílý zákal po navlhčení již nezmizel.
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 je velmi dobře zpevněná.
V polích 8 až 10 byly aplikovány estery kyseliny křemičité v původních neředěném stavu postupně od nejnižší koncentrace k nejvyšší. Účinky zpevnění jsou velmi dobré, ale u vyšších koncentrací došlo k výraznému tmavnutí a pnutí barevné vrstvy.

Řada E – *vícekrokové aplikace organokřemičitanů a vápenných suspenzí a jejich směsí*
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 vícekrokové aplikaci esterů kyseliny křemičité a vápenné suspenze o koncentraci 10g/l dochází k tvorbě výrazného bílého zákalu.

Zkoušky na panelu II

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: 8x + H_2O (8x)
25.4.2014

Snímek zkušebního pole A1 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	3
sprašování	1
mikrotrhliny	2
odtrhový test	3

Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
11 mg

II A2

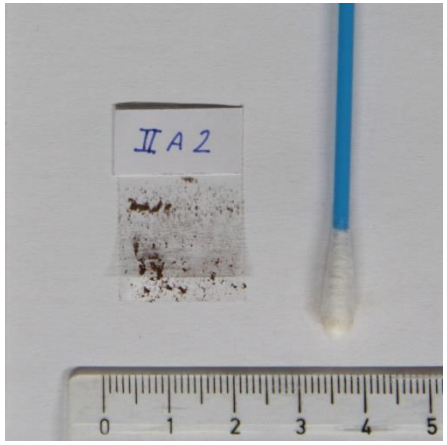
CSGI 1P

5g/l Propanol
Aplikace: 8x + H_2O (8x)
25.4.2014

Snímek zkušebního pole A2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	3
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

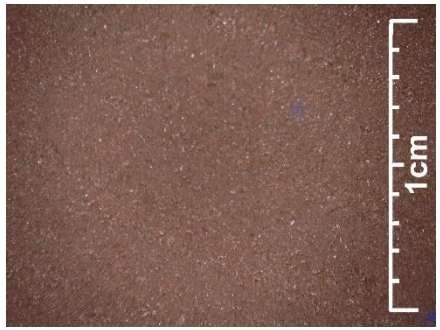
odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II A3

ZFB 703i

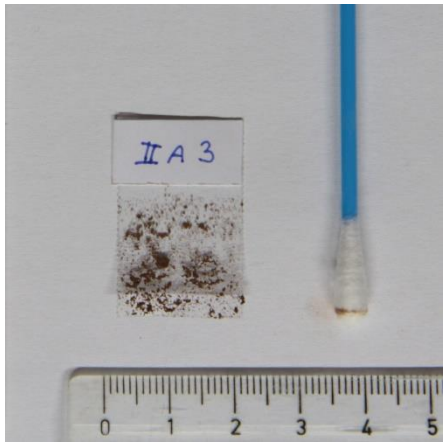
10g/l Technický etanol
(Severochema)
Aplikace: 4x + H_2O (4x)
25.4.2014

Snímek zkušebního pole A3 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	2
mikrotrhliny	0
odtrhový test	2



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
5 mg

II A4

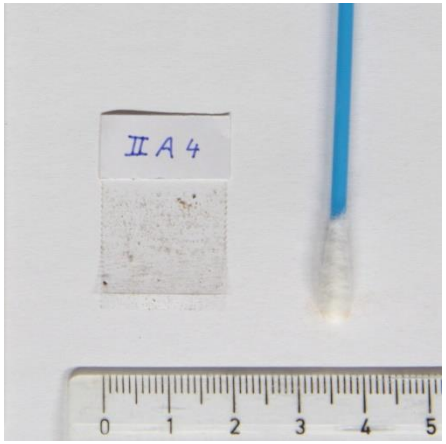
CaLoSiL® E25

10g/l Technický etanol
(Severochema)
Aplikace: 4x + H_2O (4x)
25.4.2014

Snímek zkušebního pole A4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	3
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II A5

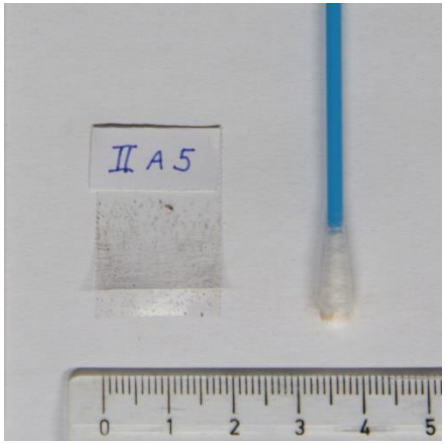
CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol (Penta)
Aplikace: 4x + H_2O (4x)
25.4.2014

Snímek zkušebního pole A5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II A6

CSGI E

10g/l 98% etanol

+

KSE 300 HV

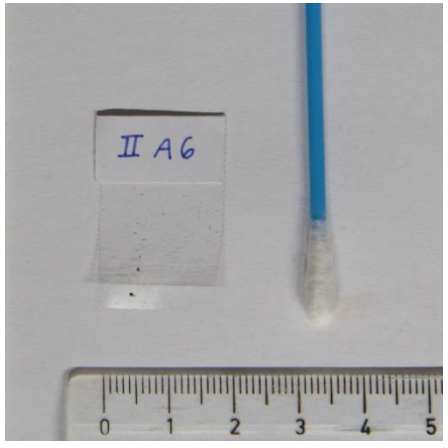
Aplikace: 2x bez H_2O
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole A6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	3
tmavnutí	3
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II A7

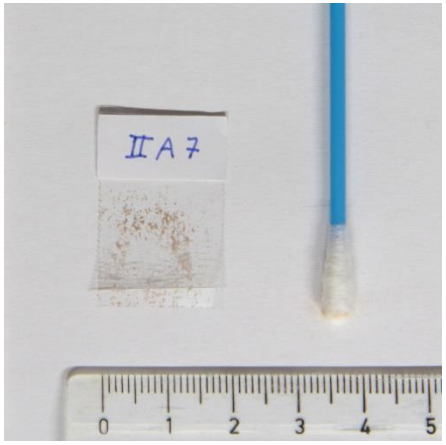
CaLoSiL® E25
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 2x bez H_2O
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole A7 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II A8

MBN Nf070
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 1x bez H_2O
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole A8 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	1
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II A9

MBN Nf070

10g/l 98% etanol

+

KSE 300 HV

Aplikace: 2x bez H_2O

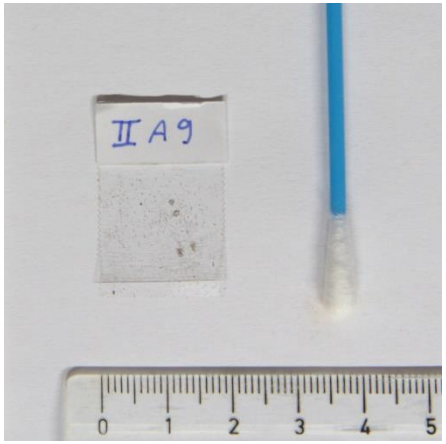
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole A9 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II A10

CaLoSiL® E25

30g/l – neředěná susp.

+

KSE 300 HV

Aplikace: 1x bez H_2O

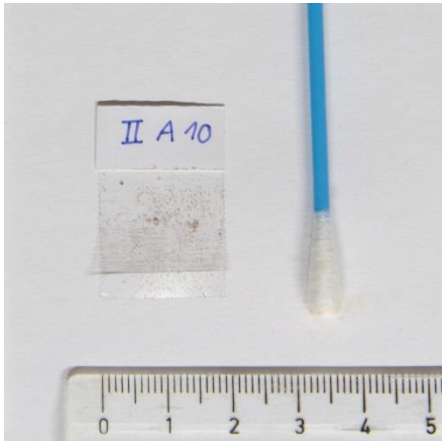
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole A10 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

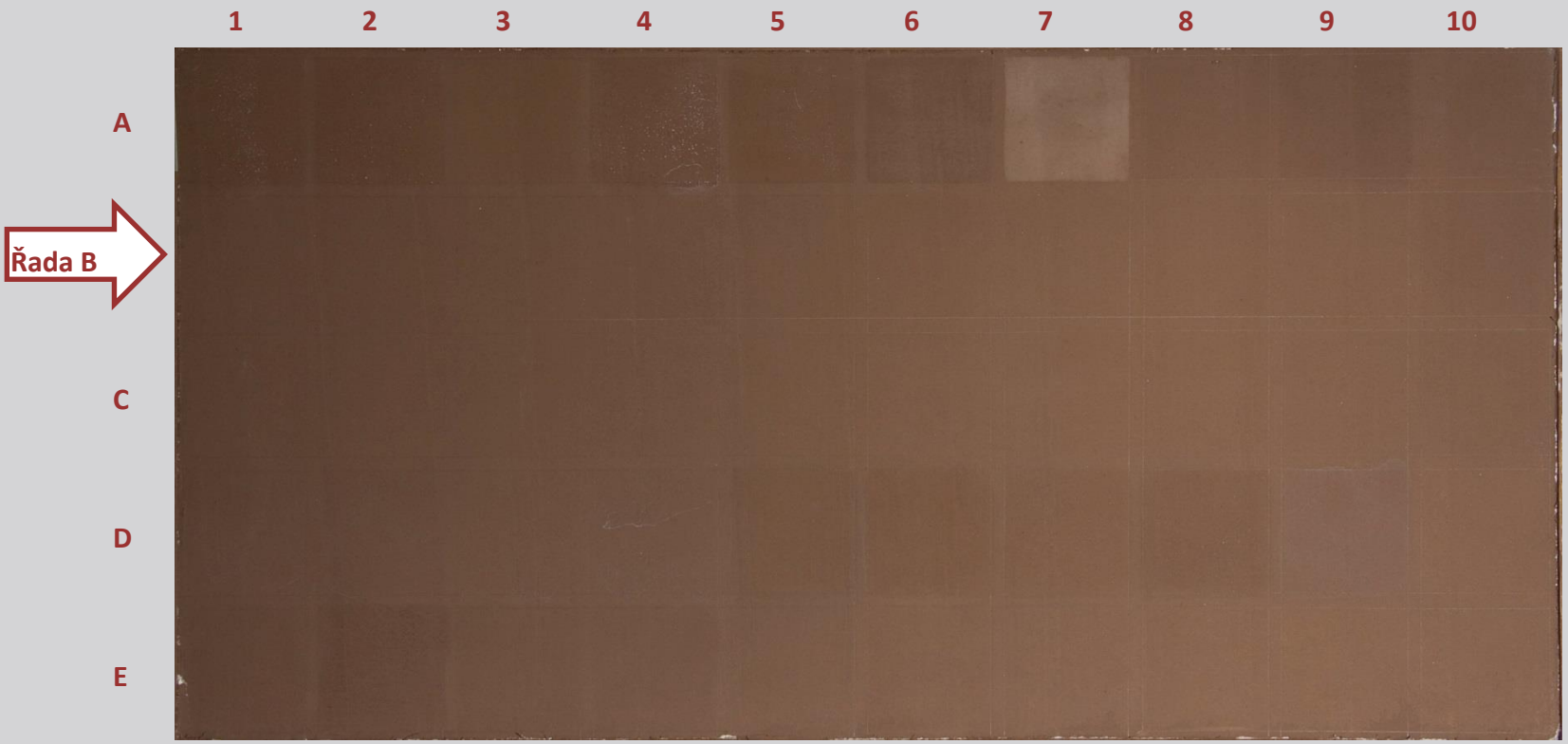
bílý zákal	1
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

Zkoušky na panelu II



V polích 1 až 8 jsme aplikovali kombinaci tří složek ve směsi. S vápennou suspenzí v koncentrací 10g/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

SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B1 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0

Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II B2

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
CSGI E

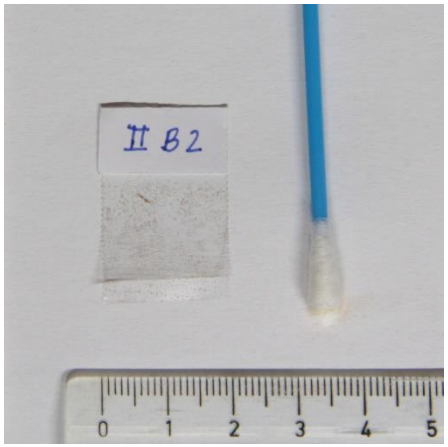
SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II B3

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
ZFB 703i

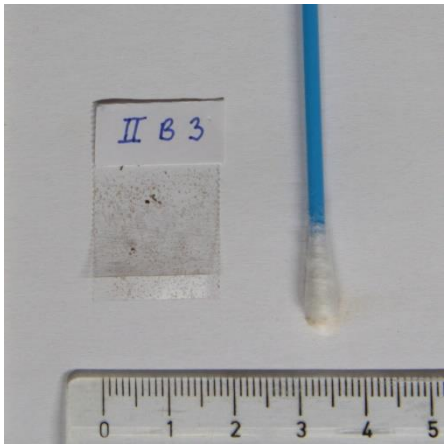
SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B3 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	2
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II B4

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
MBN Nf070

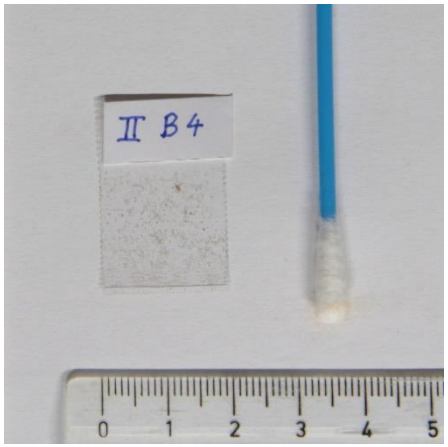
SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II B5

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
CaLoSiL® E25

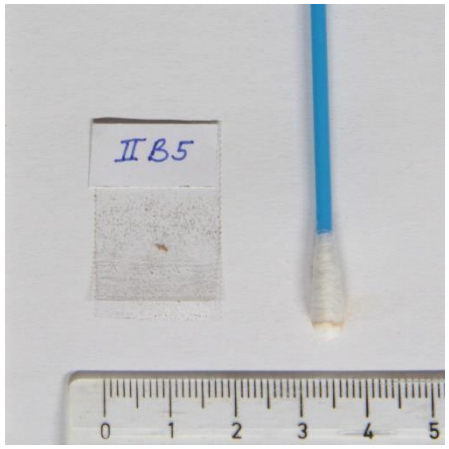
SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II B6

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
CSGI E

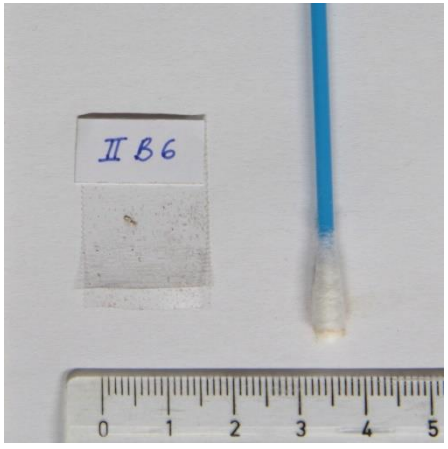
SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II B7

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
ZFB 703i

SMĚS 1:1:2

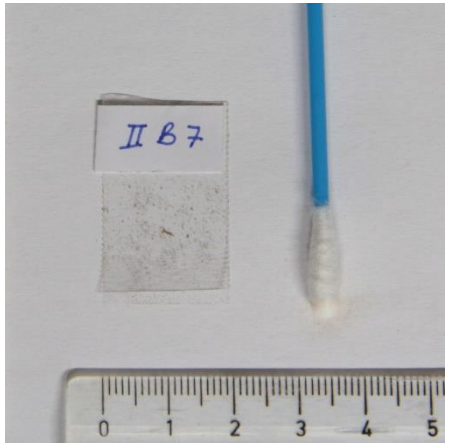
10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B7 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II B8

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
MBN Nf070

SMĚS 1:1:2

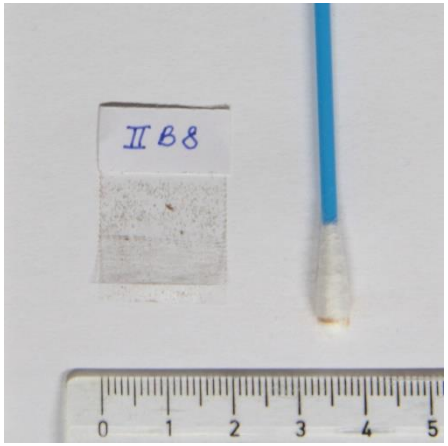
10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole B8 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II B9

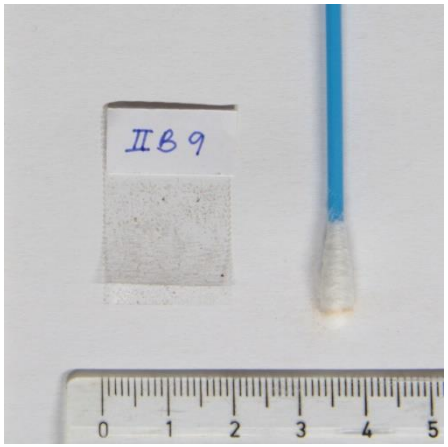
ZFB 703i
10g/l 98% etanol
+
KSE 300
Aplikace: 1x bez H_2O
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole B9 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

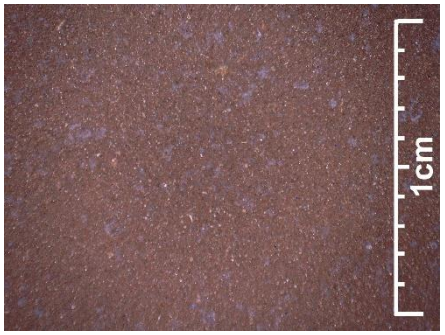
odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II B10

ZFB 703i
10g/l 98% etanol
+
KSE 300
Aplikace: 2x bez H_2O
25.4.2014

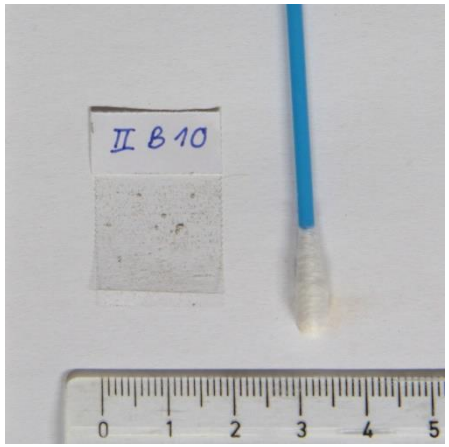
SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole B10 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

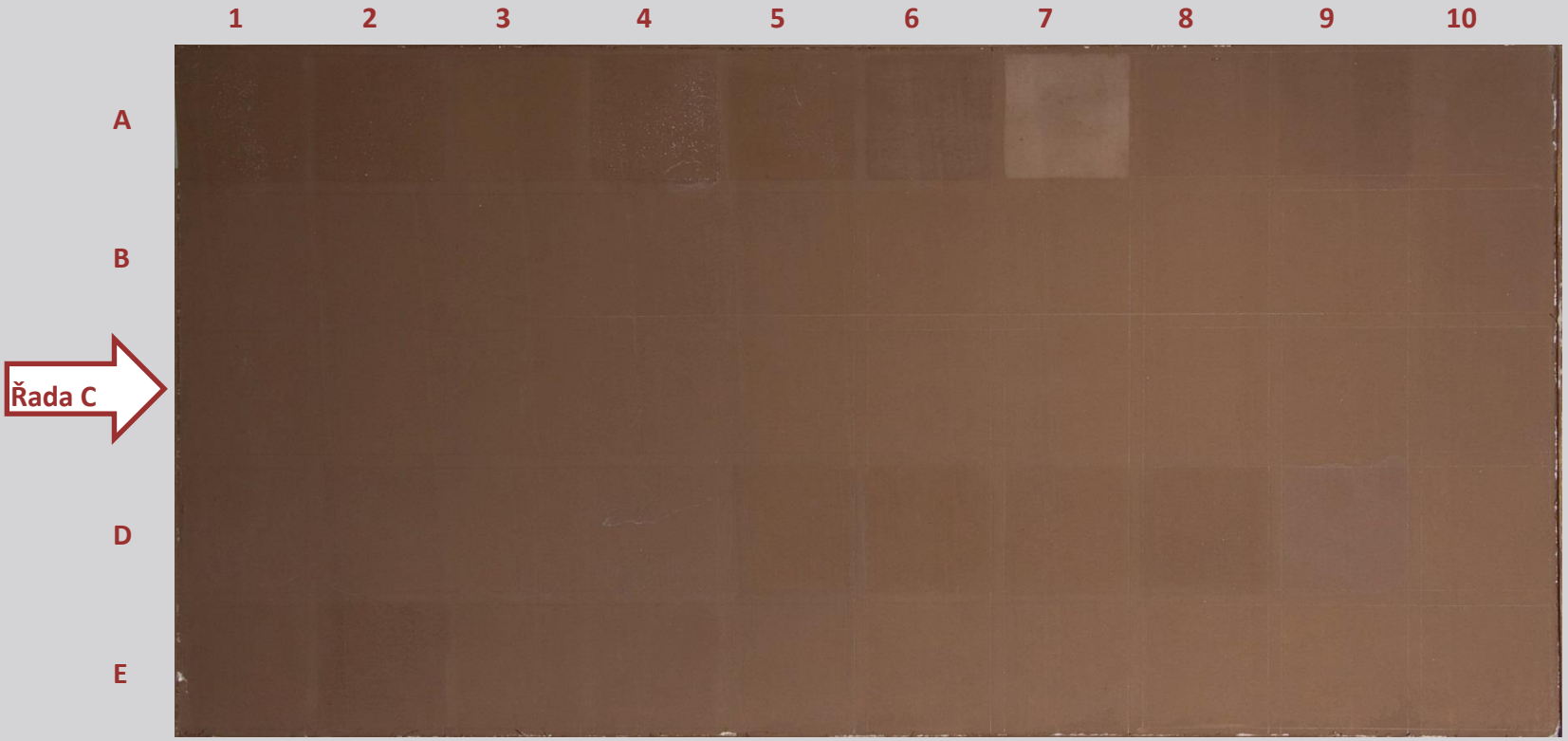
bílý zákal	2
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

Zkoušky na panelu II



V polích 1-8 jsme pokračovali v kombinaci tří složek ve směsi. S vápennou suspenzí (10g/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 zpevňování dvousložkových směsí vápenných suspenzí a KSE 300 v poměru 1:1.

II C1

KSE 100
+
KSE 300
+
CaLoSiL® E25

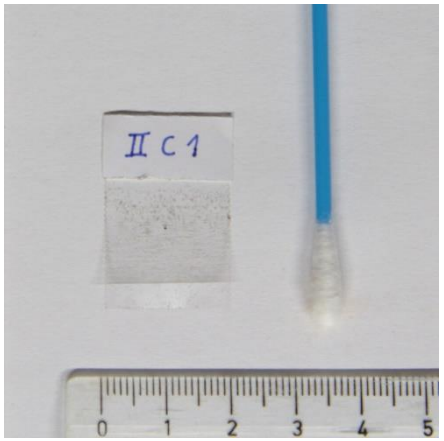
SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C1 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II C2

KSE 100
+
KSE 300
+
CSGI E

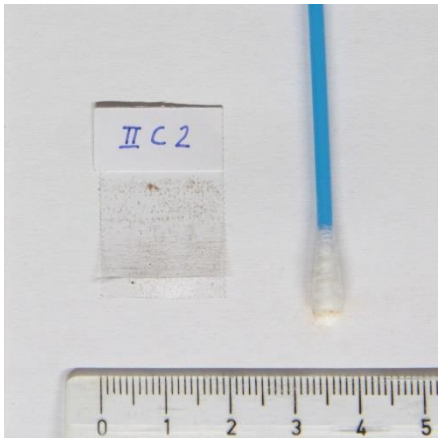
SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II C3

KSE 100
+
KSE 300
+
ZFB 703i

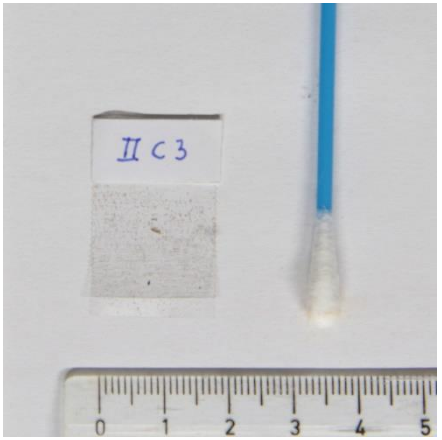
SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C3 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II C4

KSE 100
+
KSE 300
+
MBN Nf070

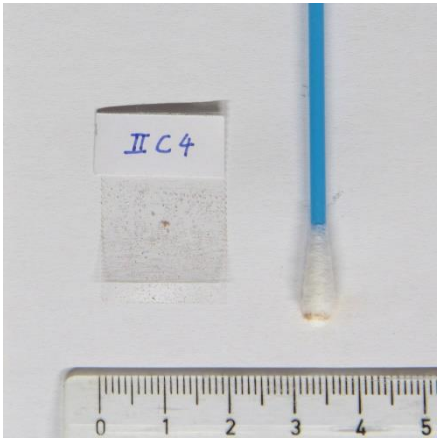
SMĚS 1:1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II C5

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
CaLoSiL® E25

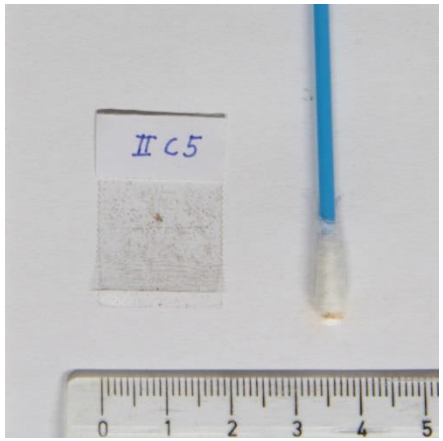
SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II C6

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
CSGI E

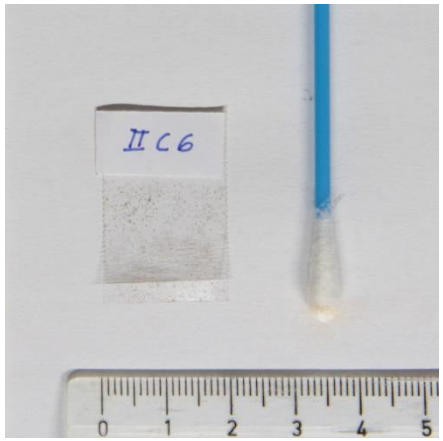
SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II C7

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
ZFB 703i

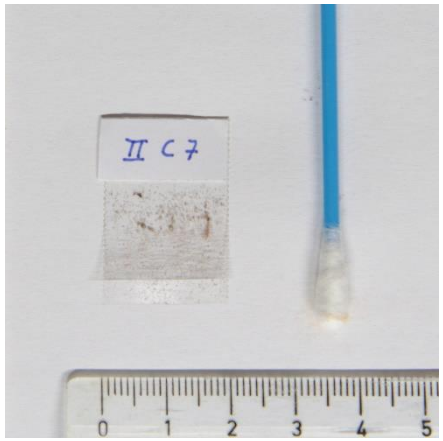
SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C7 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II C8

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
MBN Nf070

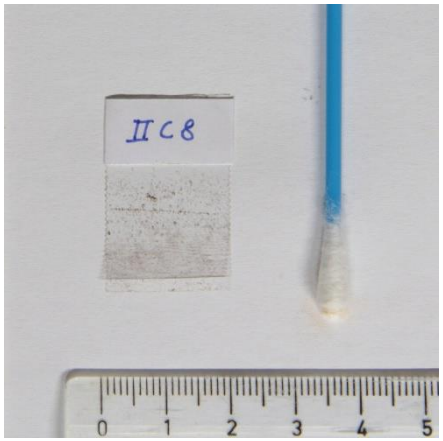
SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x
25.4.2014

Snímek zkušebního pole C8 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II C9

CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol

+

KSE 300

Aplikace: 1x bez H_2O

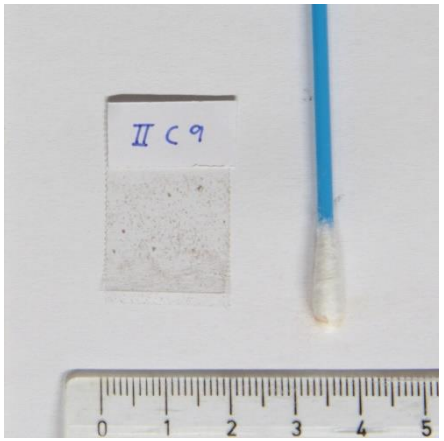
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole C9 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II C10

CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol

+

KSE 300

Aplikace: 2x bez H_2O

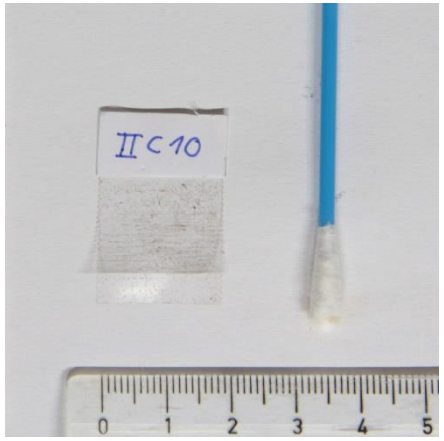
25.4.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole C10 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

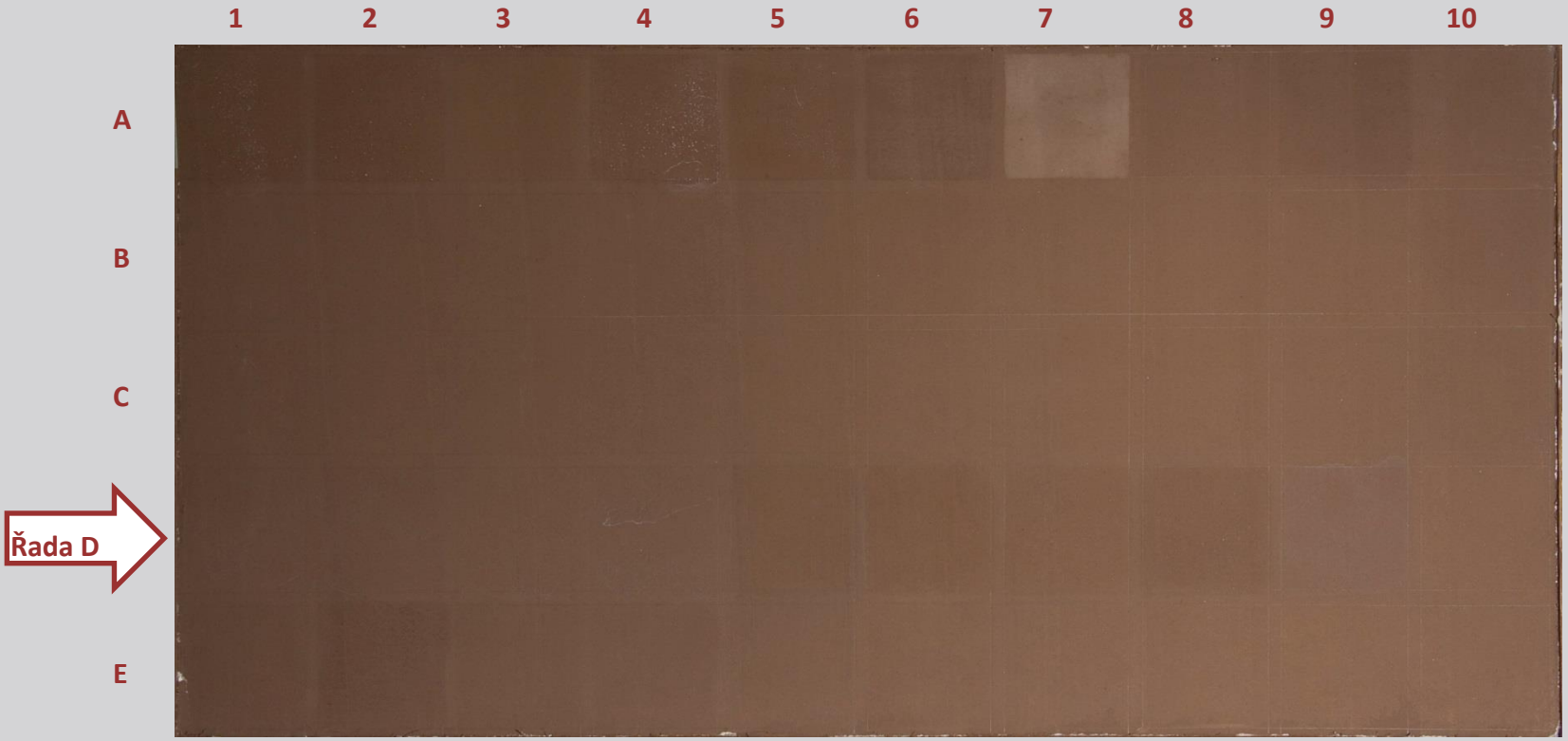
bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

Zkoušky na panelu II



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 koncentrací 10 g/l jsme mísili organokřemičitany KSE 100, KSE 300HV v různých poměrech směsi. Po této směsi byly ve 4 kolech naneseny ještě samostatné vápenné suspenze v koncentraci 5 g/l. Na konci každého kola bylo pole vlhčeno destilovanou vodou, aby se zabránilo 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 (5g/l) ve čtyřech kolech.

II D1

MBN Nf070

10g/l 98% etanol

+

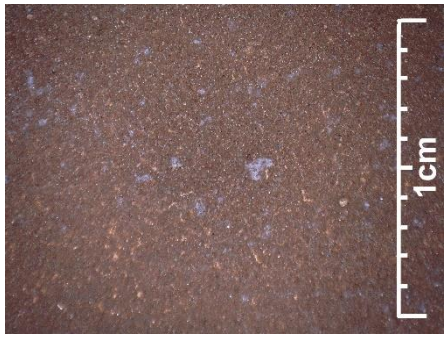
KSE 300

SMĚS 1:1

Aplikace: 1x bez H_2O

6.5.2014

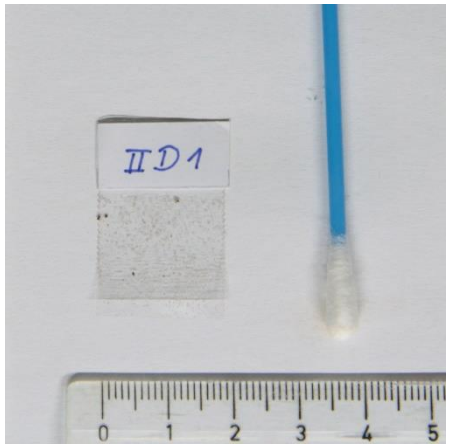
Snímek zkušebního pole D1 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II D2

MBN Nf070

10g/l 98% etanol

+

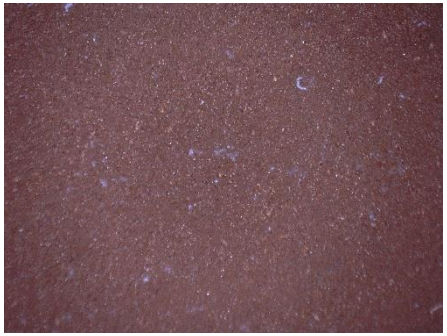
KSE 300

SMĚS 1:1

Aplikace: 2x bez H_2O

6.5.2014

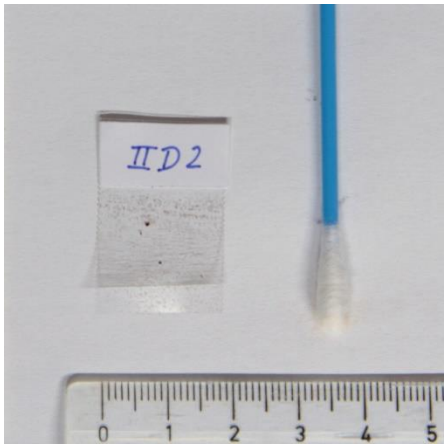
Snímek zkušebního pole D2 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II D3

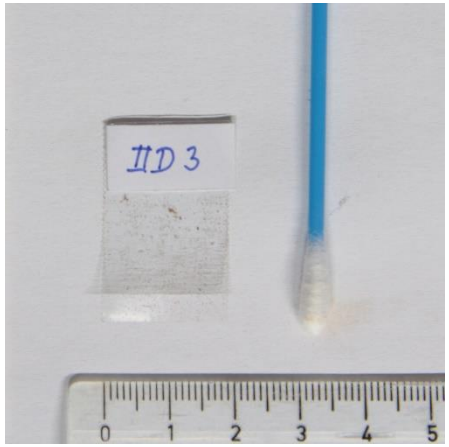
CSGI E
10g/l 98% etanol
+
KSE 300
Aplikace: 1x bez H_2O
6.5.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole D3 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II D4

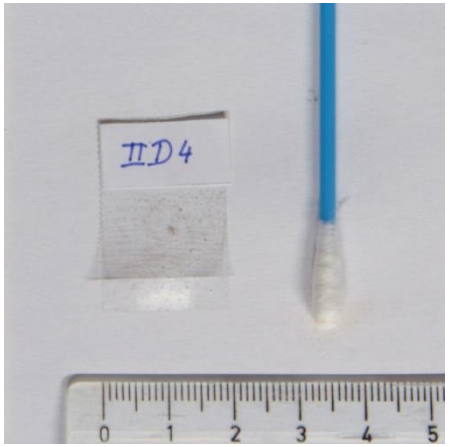
CSGI E
10g/l 98% etanol
+
KSE 300
Aplikace: 2x bez H_2O
6.5.2014

SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole D4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II D5

I) KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i

SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x

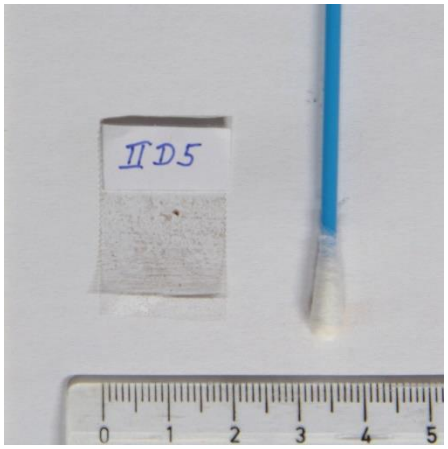
Snímek zkušebního pole D5 po zpevnění

II) CaLoSiL® E25

5g/l 98% etanol
Aplikace: 4x + H_2O (4x)
13. 5. 2014

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II D6

I) KSE 100 + KSE 300 HV + ZFB 703i

SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x

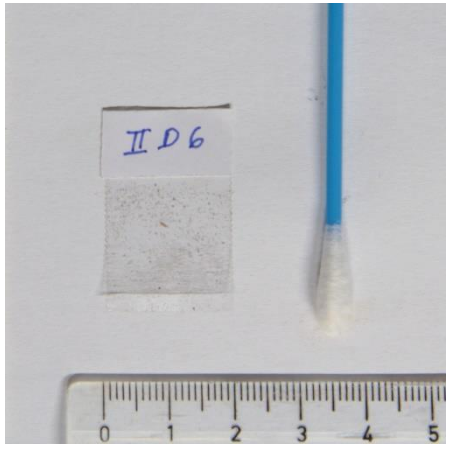
Snímek zkušebního pole D6 po zpevnění

II) CSGI E

5g/l 98% etanol
Aplikace: 4x + H_2O (4x)
13.5.2014

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
0 mg

II D7

I) KSE 100
+
KSE 300 HV
+
ZFB 703i

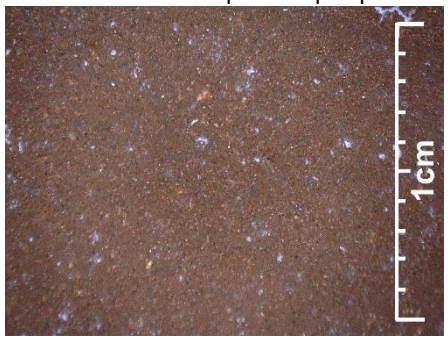
SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x

Snímek zkušebního pole D7 po zpevnění

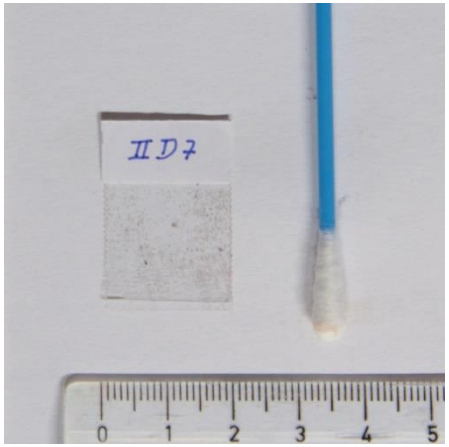
II) ZFB 703i

5g/l 98% etanol
Aplikace: 4x + H_2O (4x)
13. 5. 2014



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	2
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg

II D8

I) KSE 100

Aplikace: 1x

II) KSE 300 HV
+
ZFB 703i

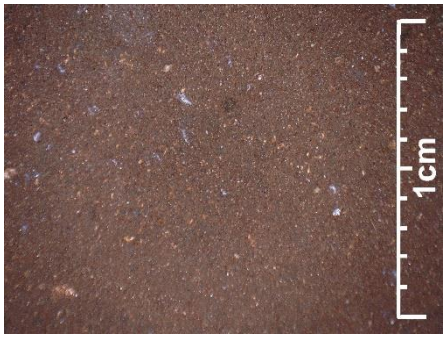
SMĚS 1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x

Snímek zkušebního pole D8 po zpevnění

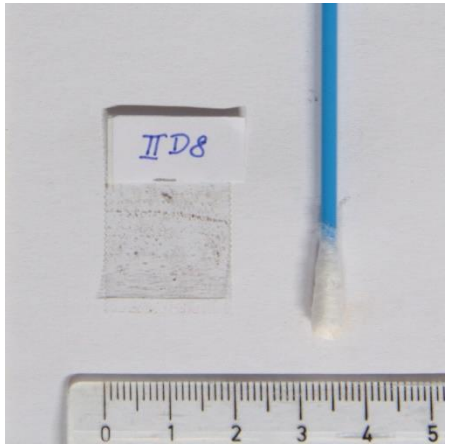
III) CaLoSiL® E25

5g/l 98% etanol
Aplikace: 4x + H_2O (4x)
13.5.2014



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

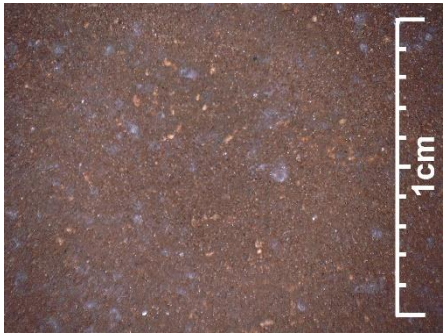
II D9

KSE 100
+
KSE 300 HV
+
ZFB 703i

SMĚS 1:1:2

10g/l 98% etanol
Aplikace: 2x
13. 5. 2014

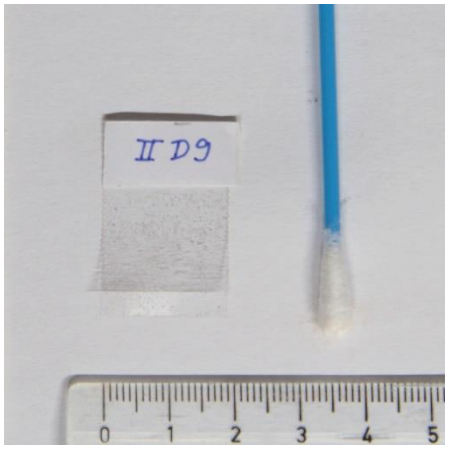
Snímek zkušebního pole D9 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

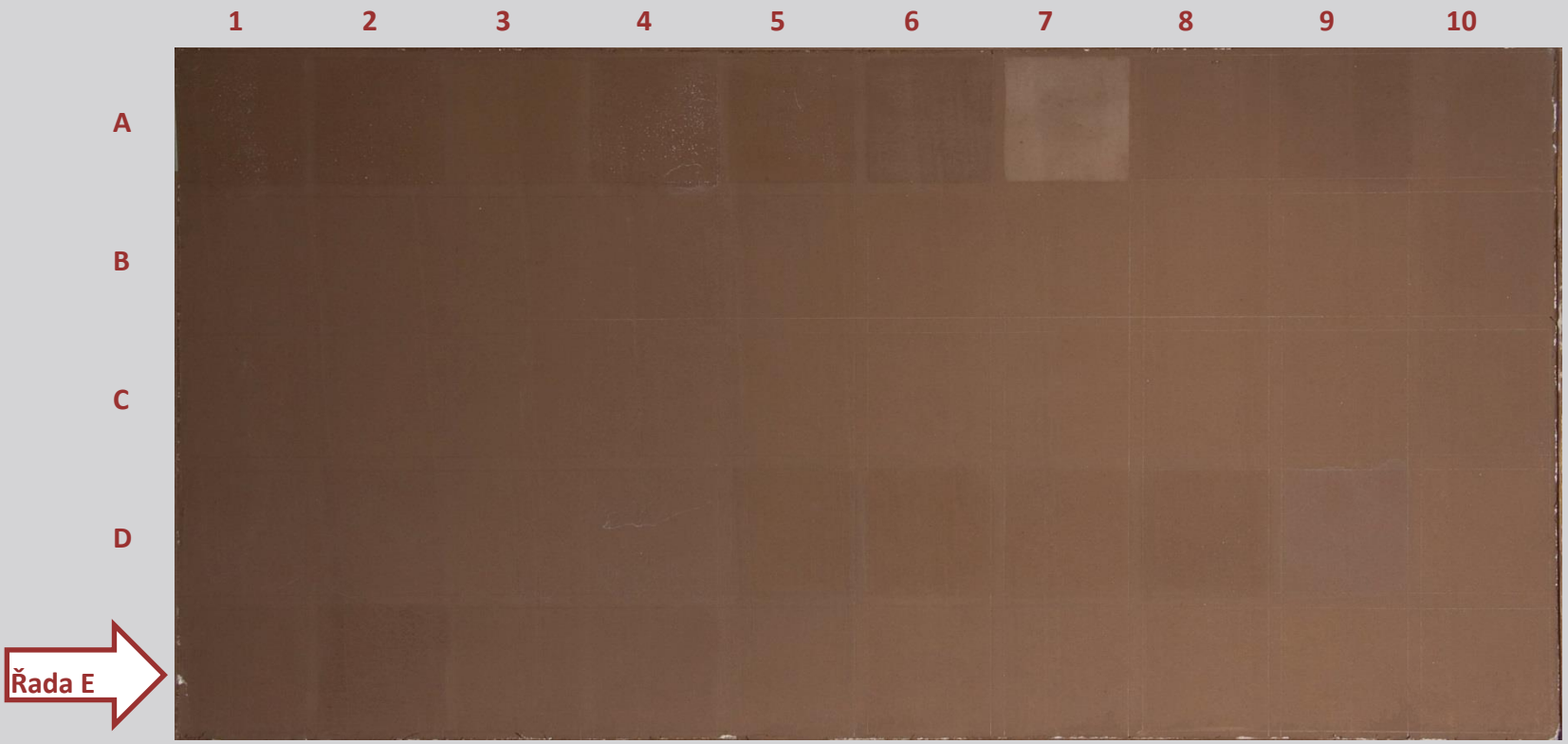
bílý zákal	1
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

Zkoušky na panelu II



V polích 1 a 2 jsme opakovali zkoušky z polí A6 a A7.
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 nanesena další směs vápenné suspenze s prostředkem KSE 100.
V polích 6-8 jsme aplikovali směsi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité v poměru 1:1. Po této směsi byly ve 2 kolech naneseny ještě samostatné vápenné suspenze (5 g/l).

II E1

CSGI E
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 2x bez H_2O
6.5.2014

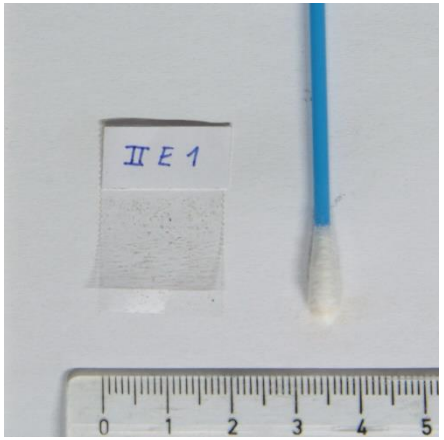
SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole E1 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II E2

CaLoSiL® E25
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 2x bez H_2O
6.5.2014

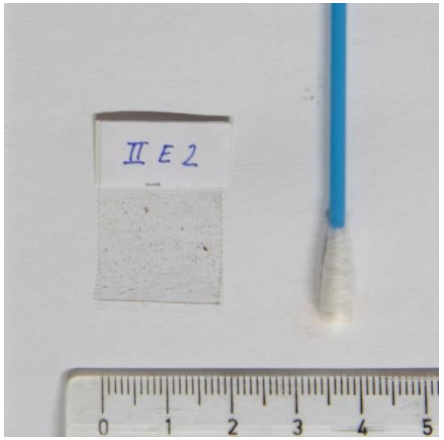
SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole E2 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	2
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II E3

I) ZFB 703i
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 1x bez H_2O

SMĚS 1:1

II) ZFB 703i
10g/l 98% etanol
+
KSE 100
Aplikace: 1x bez H_2O
6.5.2014

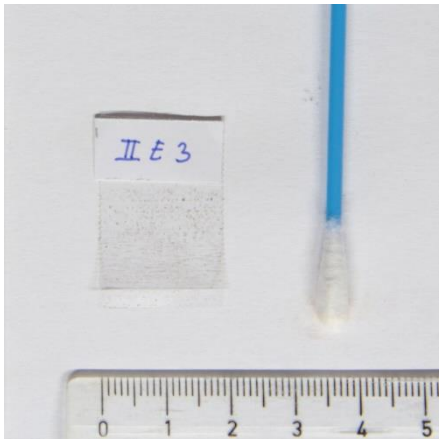
SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole E3 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1

odtrhový test
odebraný materiál
2 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II E4

I) CSGI E
10g/l 98% etanol
+
KSE 300 HV
Aplikace: 1x bez H_2O

SMĚS 1:1

II) CSGI E
10g/l 98% etanol
+
KSE 100
Aplikace: 1x bez H_2O
6.5.2014

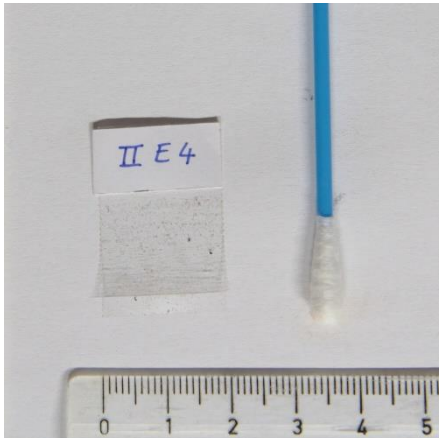
SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole E4 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II E5

I) CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol

+

KSE 300 HV

Aplikace: 1x bez H_2O

SMĚS 1:1

II) CaLoSiL® E25

10g/l 98% etanol

+

KSE 100

Aplikace: 1x bez H_2O

25.4.2014

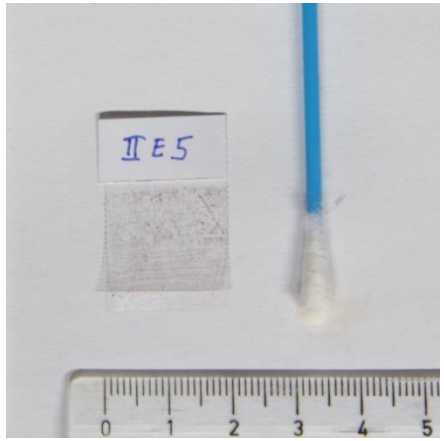
SMĚS 1:1

Snímek zkušebního pole E5 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	1
sprašování	0
mikrotrhliny	1
odtrhový test	0

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II E6

I) KSE 300 HV

+

ZFB 703i

10g/l 98% etanol

Aplikace: 1x

SMĚS 1:1

II) ZFB 703i

5g/l 98% etanol

Aplikace 2x + H_2O (2x)

25.4.2014

Snímek zkušebního pole E6 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	0
sprašování	1
mikrotrhliny	0
odtrhový test	1

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

II E7

I) KSE 300 HV
+
CSGI E

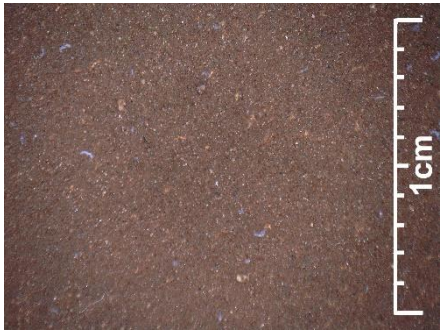
SMĚS 1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x

II) CSGI E

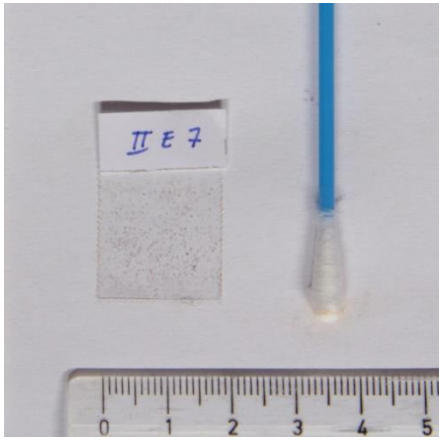
5g/l 98% etanol
Aplikace 2x + H_2O (2x)
25.4.2014

Snímek zkušebního pole E7 po zpevnění



Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II E8

I) KSE 300 HV
+
CaLoSiL® E25

SMĚS 1:1

10g/l 98% etanol
Aplikace: 1x

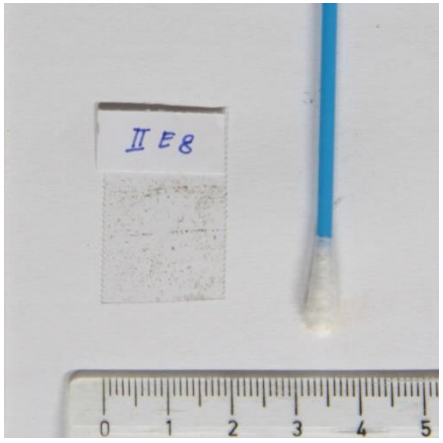
II) CaLoSiL® E25

5g/l 98% etanol
Aplikace 2x + H_2O (2x)
25.4.2014

Snímek zkušebního pole E8 po zpevnění

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	1
tmavnutí	0
sprašování	0
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

odtrhový test
odebraný materiál
1 mg

II E9, E10 a D10
STANDARD

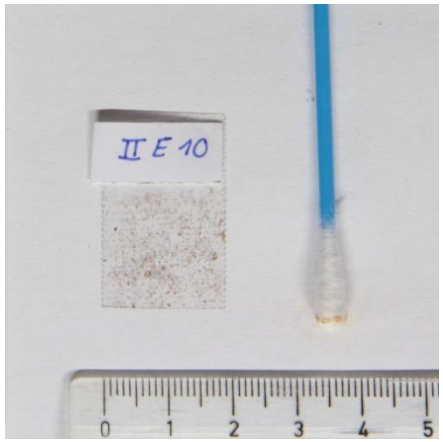
Nezpevněno

Snímek zkušebního pole E10.

Zvětšení pomocí PC USB mikroskopu

bílý zákal	0
tmavnutí	0
sprašování	2
mikrotrhliny	0
odtrhový test	0

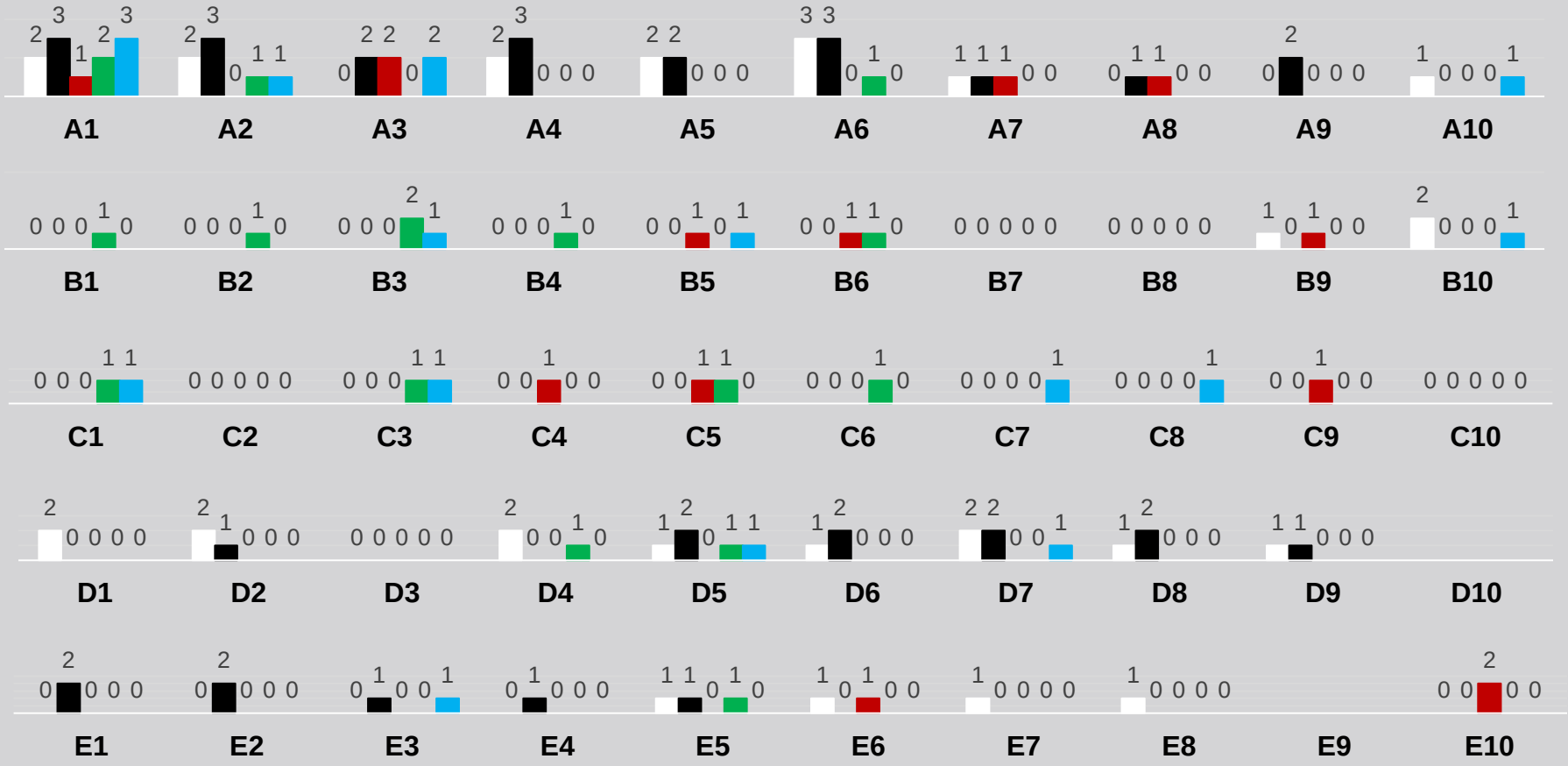
odtrhový test
odebraný materiál
1 mg



Test s lepící páskou a vatovou tyčinkou

Grafy zobrazující míru nežádoucích změn po aplikaci konsolidantů na panelu II

Škála nežádoucích efektů, pomocí níž se subjektivně hodnotily změny po aplikaci jednotlivých konsolidantů je zde zastoupena barevnými grafy. Nejoptimálnější konsolidanty podle provedených zkoušek mají nejnižší hodnoty nežádoucích efektů. Naopak nejvyšší hodnoty znamenají nežádoucí účinky.



Stupnice hodnot nežádoucích efektů: **0** (neznatelný); **1** (slabý); **2** (střední); **3** (silný)

Výsledky testování na panelu II

Řada A

V polích 1 až 5, kde byl oproti panelu I zvýšen počet aplikačních cyklů vápenných suspenzí, se projevily nepříznivé vizuální změny (bílý zákal) a kupodivu i horší účinky zpevnění. 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 (10g/l) a produktu výrobce MBN. Zkouška A7 je kvůli kompaktnímu bělavému zákalu opakována v řadě E.

Řada B

Konsolidační účinky třísložkových směsí (vápenná suspenze, KSE 100 a KSE 300HV) jsou ve všech zkouškách velmi dobré. Pouze u směsí s produktem ZFB 703i dochází bílému zákalu a mikrotrhlinám v barevné vrstvě.

Řada C

V polích 1 až 8 byly porovnávány výsledky zpevňování třísložkových 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 přinejmenším jeví stejná.

Řada D

V polích 1 až 4 bylo pokračováno v porovnávání použití 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 (5g/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.

Řada E

Výborné zpevňující účinky, ale značné ztmavnutí lze zaznamenat u zkoušek 1 a 2, jež byly opakováním nezdařilých zkoušek A6 a A7 . Zkouška A7, na které byl vytvořen kompaktní bělavý zákal, byla provedena směsí namíchanou před 4 dny. 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.

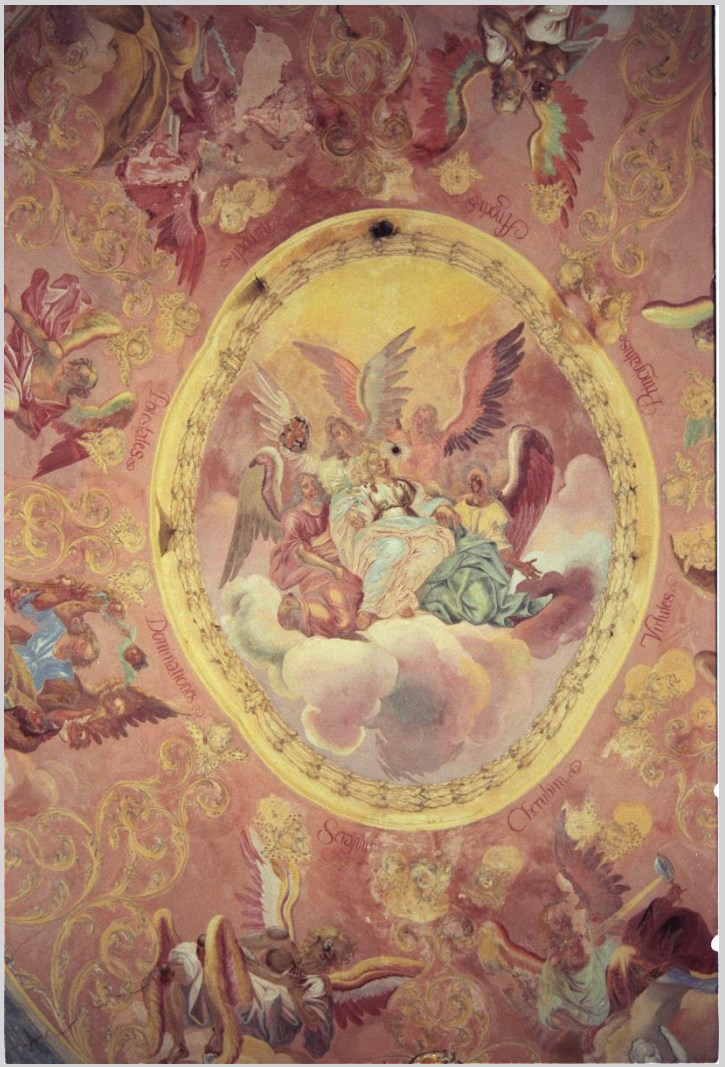
V polích 3 až 8 bylo pokračováno v aplikování dvousložkových směsí organokřemičitanu s vápennou suspenzí a jejich kombinováním s čistou vápennou suspenzí či další dvousložkovou směsí. Kromě mírného až středního tmavnutí dosahují velmi dobrých výsledků. Odtrhový test na nezpevněném vzorku ukázal, že jeho výsledky mohou být značně zavádějící, protože nedošlo k téměř žádnému odběru materiálu.

Testování vybraných prostředků na reálné nástěnné malbě

Konsolidanty, které při zpevňování barevné vrstvy na panelech vycházely nejlépe, byly dále testovány na skutečné nástěnné malbě. Zatím byla subjektivně hodnocena především míra zpevnění a tvorba bílého zákalu.

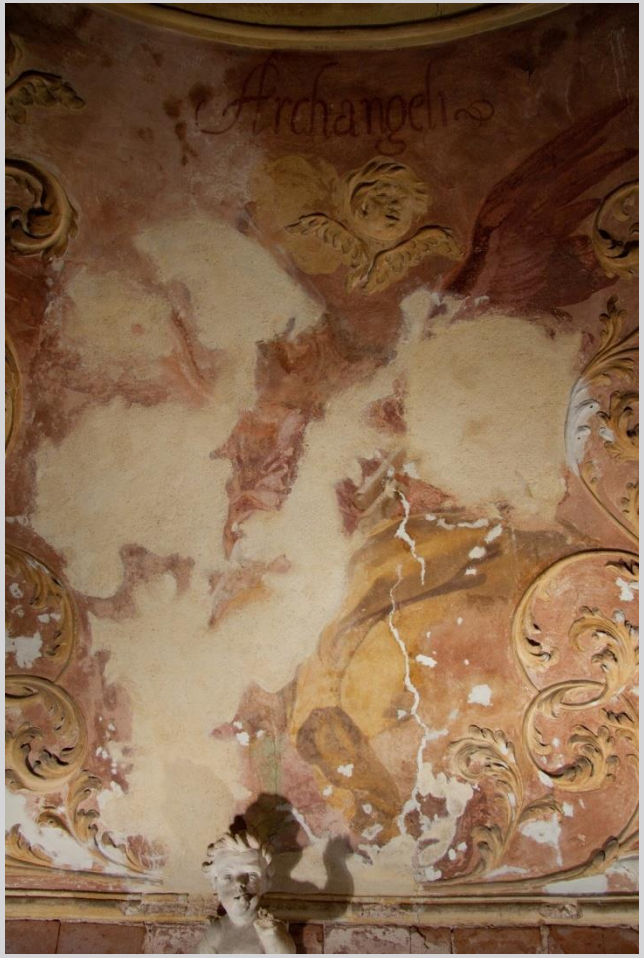
Fakulta restaurování Univerzity Pardubice se v současnosti podílí na restaurování nástěnných maleb na klenbě kaple sv. Isidora v Křenově. Malby, které pochází z 1. poloviny 18. století, jsou malovány ve fresco-secco technice. Kaple byla v minulosti vystavena nepříznivým klimatickým podmínkám v důsledku zanedbání údržby a docházelo zde k dlouhodobému zatékání srážkové vody. Barevná vrstva je z velké části zpráškovatělá, lokálně se odděluje od podkladu v šupinách. V místech největšího poškození došlo k plošnému odpadávání vrstvy intonaka i arricia a k oddělování intonaka v otevřených puchýřích. V roce 2004 zde proběhl restaurátorský zásah, při kterém byly nejohroženější místa injektážně zpevněny a barevná vrstva byla pravděpodobně celoplošně fixována. Fixační prostředek však místy způsobil pnutí barevné vrstvy a její oddělení od podkladu v puchýřcích, na některých místech je fixace vlivem vlhkosti zdegradovaná a neplní již svou funkci. Proto se pokoušíme nežádoucí účinky starší fixace odstranit či snížit a nalézt vhodnější prostředky pro zpevnění barevné vrstvy a omítek.

Vzhledem k nepříznivým klimatickým podmínkám jsme se zaměřili na testování konsolidačních prostředků na anorganické bázi. Vycházíme ze zkoušek provedených na omítkových panelech, kde se dobře projevily směsi vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité.



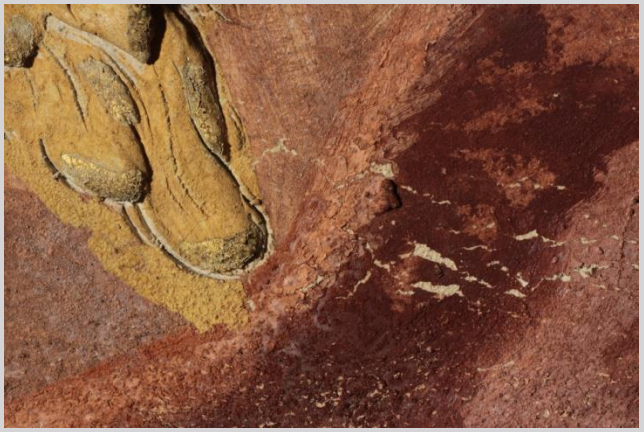
Kupole kaple sv. Isidora před restaurátorským zásahem v roce 2004. Foto: Neumeisterová, 1996

Malba v severozápadní části kupole



Část nástěnné malby s postavou Archanděla

Detail zpráškovatělé barevné vrstvy.

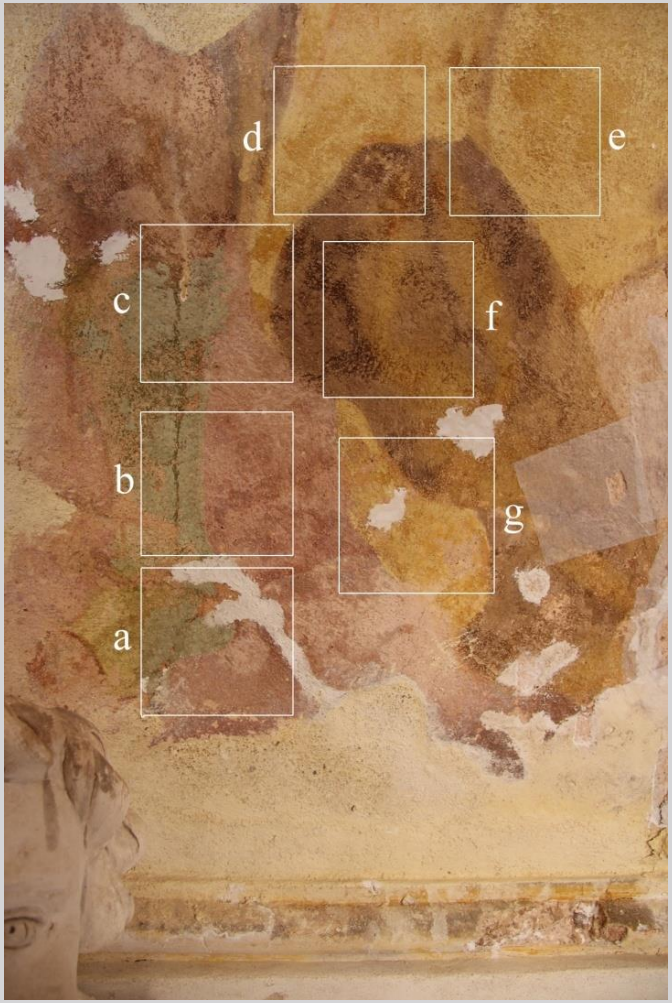


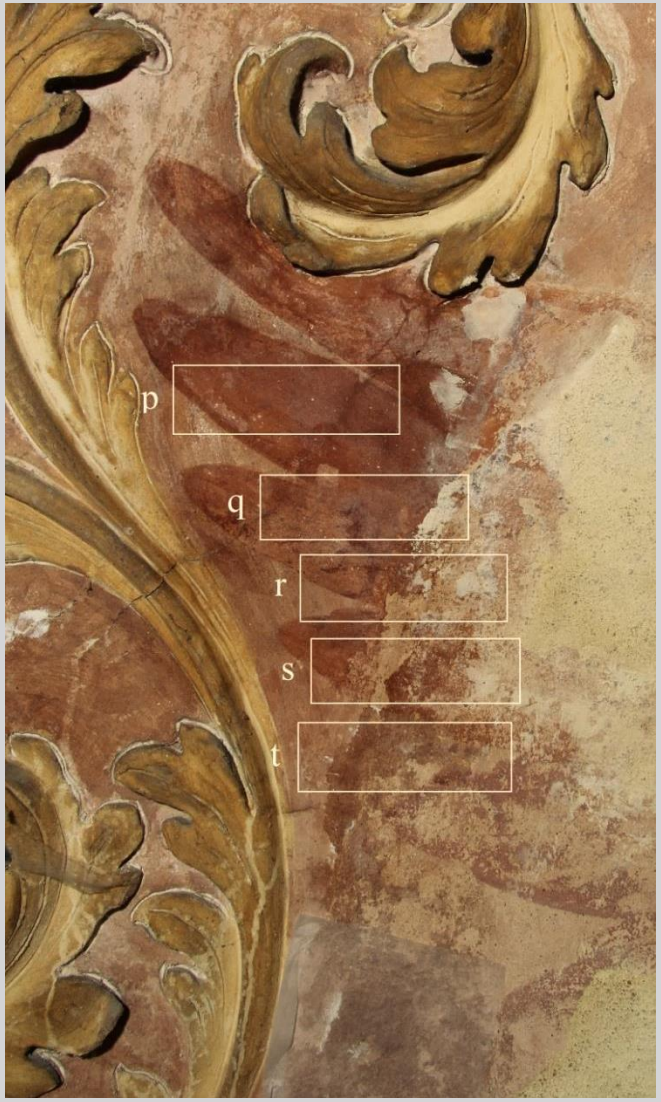
Detail degradované barevné vrstvy způsobené nevhodnou fixací.

Testování zpevňovacích prostředků na reálné malbě

Barevná vrstva byla zpevňována již při předchozím restaurátorském zásahu v roce 2004. Převážně však šlo pouze o povrchovou konsolidaci. Vlivem nepříznivých klimatických podmínek docházelo k pnutí barevné vrstvy a jejímu odlupování od podkladových vrstev. Ačkoli je barevná vrstva místy značně degradovaná, je obtížné ji přes mladší fixační vrstvu strukturálně zpevnit spolu s omítkami. V takovém případě dochází často ke vzniku bílého zákalu a není možné aplikovat konsolidační prostředek v potřebném množství.

Konsolidant byl nanesen postřikem pomocí jemného rozprašovače až do stavu nasycení substrátu. Přebytečné množství konsolidantu bylo odsáto vatovým tamponem. V průběhu aplikace jednotlivých kol byla sledována tvorba bílého zákalu a jiné vizuální změny barevné vrstvy.





Zkoušky zpevňování vápennými suspenzemi a jejich směsi s estery kyseliny křemičité

Ozn.	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_2O:6x	znatelné zpevnění	nedochází ke změně barevnosti
b	zpráškovatělá, puchýře	CaLoSiL E-25 10g/l - technický líh		aplikace:3x + H_2O: 3x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti
c	zpráškovatělá, puchýře	CSGI E 5g/l - technický líh		aplikace:6x + H_2O: 6x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti
d	zpráškovatělá	ZFB 703i 5g/l - technický líh		aplikace:6x + H_2O: 6x	slabě zpevněno	nedochází ke změně barevnosti
e	zpráškovatělá	ZFB 734e 5g/l - technický líh		aplikace:6x + H_2O: 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
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		

Ozn.	Stav barevné vrstvy	Složení a poměr složek směsi		Počet kol aplikace + vlhčení vodou	Míra zpevnění	Vizuální vlastnosti
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
l	zpráškovatělá	ZFB 703i 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace 1x	nezpevněno	slabý bílý zákal
		ZFB 703i 5g/l - absolutní líh		aplikace:2x + H_2O		
m	zpráškovatělá	ZFB 703i 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x	nezpevněno	slabý bílý zákal
		ZFB 703i 1 10g/l - absolutní líh + KSE 100	směs 1:1	aplikace: 1x		
n	šupinující, zpráškovatělá	CSGI E 10g/l – absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace 1x	nezpevněno	nedochází ke změně barevnosti
		CSGI E 5g/l - absolutní líh		aplikace:2x + H_2O		
o	šupinující, zpráškovatělá	CSGI 10g/l - absolutní líh + KSE 300HV	směs 1:1	aplikace: 1x	nezpevněno	slabý bílý zákal
		CSGI 10g/l - absolutní líh + KSE 100	směs 1:1	aplikace: 1x		

Ozn.	Stav barevné vrstvy	Složení a poměr složek směsi		Počet kol aplikace + vlhčení vodou	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			
		CaLoSiL E-25 5g/l - technický líh		aplikace: 3x + H_2O		
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_2O		
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_2O		
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_2O		

Testování zpevňovacích prostředků na reálné malbě - vyhodnocení

- Zkoušky s čistými vápennými suspenzemi (**a** až **e**) se ukázaly být úspěšné pouze v případě CaLoSiLu E25 (5g/l). Nepříznivé výsledky testování vápenných suspenzí již přinesl průzkum prováděný na centrální malbě v kupoli kaple (diplomová práce I. Kociánové z r.2013), dále jsme ale pokračovali v jejich zkoušení na této části nástěnné malby.
- Značně degradovaná barevná vrstva na většině míst vyžadovala silnější zpevňující prostředek, který by dokázal zpevnit silnější vrstvu zpráškovatělé či odlupující se barevné vrstvy. Proto bylo přikročeno k testování směsí a kombinací ze zkušebních panelů přímo na reálné malbě.
- Následné testy byly vybrány ze zkoušek, které se na panelech nejlépe osvědčily. Reálná nástěnná malba je na rozdíl od homogenního zkušebního materiálu hůře měřitelná. Savost materiálu, typologie defektů a barevnost se proměňovala v rozmezí centimetrů a proto její porovnání se zkušebním panelem je třeba brát s větší tolerancí. Místo od místa bylo třeba nanést větší množství konsolidantu a naopak jinde okamžitě odsávat, aby nedošlo k tvorbě bílého zákalu.
- 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 a nakonec je barevná vrstva dozpevňována čistou vápennou suspenzí CaLoSiL E25. Zkouška **r** je na bázi třísložkové směsi organokřemičitanů se ZFB 703i. Následuje aplikovaná čistá vápenná suspenze v několika kolech.

Doporučený způsob aplikace vápenných nanosuspenzí při zpevňování barevné vrstvy

- Již v předcházejících testech (v minulých letech) jsme zjistili, že nejvhodnější způsob aplikace je nanášení pomocí rozprašovače. Možné je i nanášení pomocí štětce přes japonský papír, avšak ne vev všech případech je tato aplikace zcela bezpečná. Citlivější a více degradované materiály mohou být touto metodou snadno poškozeny. Zpráškovatělá, či zšupinovatělá barevná vrstva snadno přilne k japonskému papíru, nebo může dojít k silnému bílému zákalu, který pravděpodobně souvisí se zadržením většího množství suspenze na rozmezí japonského papíru a barevné vrstvy.
- Srovnání jednotlivých metod nanášení pomocí rozprašovače již bylo zkoumáno v rámci projektu „*Nano for Art*“ restaurátorkou Isabelle Brajer, která zjistila, že nejlepších výsledků bylo dosaženo aerosolovými spreji hnanými stlačeným plynem, které poskytují nejrovnoměrnější nanesení.
- Nanášení rozprašovačem musí být provedeno velmi opatrně, protože množství aplikovaného materiálu zásadně ovlivňuje tvorbu bílého zákalu. Jakmile se v průběhu nanášení objeví první stopy ulpívání suspenze na povrchu zpevňovaného materiálu, musí být aplikace zastavena.
- Bylo provedeno i mnoho experimentů s předvlhčováním a následným zvlhčováním různými kapalinami. Z experimentů vyplynulo, že by nemělo být prováděno žádné předvlhčování. Zdá se, že jakékoli uzavření pórů zpevňovaného materiálu jakoukoli kapalinou způsobí při následné aplikaci suspenze silný zákal. Co se týče následného zavlhčení, nejlepších výsledků bylo dosaženo při užití vody. Po každém cyklu aplikace se zdá být výhodnější následné vlhčení vodou, které zabrání tvorbě bílého zákalu. Na druhou stranu bylo ale u nesoudržné a poškozené barevné vrstvy zaznamenáno tmavnutí a dokonce rozrušení (mikrotrhliny) po aplikaci více kol zvlhčení.

Doporučený způsob aplikace vápenných nanosuspenzí při zpevňování barevné vrstvy

- Pro aplikaci suspenze je neméně důležitá i její koncentrace. Předchozí zkušenosti s vápennou vodou ukázaly, že její koncentrace $Ca(OH)_2$, která činí při 20°C přibližně 1,7 g/l, nebyla pro zpevnění omítek ani barevné vrstvy ve většině případů dostatečná. Proto muselo být prováděno mnoho cyklů aplikace, aby bylo dosaženo zaznamenatelného výsledku. Opakované zavlhčení s sebou nicméně přinášelo kromě zpevnění i další rozvolnění (to jsme zaznamenali i my při následném vlhčení vodou po jednotlivých cyklech). Proto byla požadována nejen vyšší koncentrace zpevňovače na bázi $Ca(OH)_2$, ale také jiný nosič účinné látky. Naše testy ukázaly, že čím je koncentrace $Ca(OH)_2$ vyšší, tím je větší riziko tvorby bílého zákalu. Proto je nutné hledat nejvyšší možnou koncentraci, při které k zákalu nedochází. Ta se ale liší podle charakteru zpevňovaného materiálu. Nicméně nejvyšší koncentrace, kterou jsme pro zpevňování barevné vrstvy používali, byla 10 g/l. U méně porézních materiálů, či materiálů s menšími póry se nám nejlépe osvědčila koncentrace 5 g/l.
- Také počet cyklů je velmi zásadním faktorem ovlivňujícím výsledek konsolidačního procesu. Zdá se, že více degradované materiály jsou schopny pojmout (a pro zaznamenatelný efekt zpevnění vyžadují) poměrně velké množství konsolidantu. Na druhou stranu větší počet cyklů je rizikový vzhledem k tvorbě bílého zákalu na povrchu. Jako limitní se ukázala aplikace 4 až 8 cyklů s koncentrací 5-10 g/l, podle charakteru zpevňovaného materiálu. I proto jsme naše bádání rozšířili na kombinace vápenných suspenzí s estery kyseliny křemičité, především z důvodu nemožnosti dosáhnout uspokojivého zpevnění u silně narušených materiálů.

Závěr – směsi a vícekrokové aplikace vápenných nanosuspenzí a esterů kyseliny křemičité při zpevňování barevné vrstvy

- V případě extrémně degradovaných materiálů se ukázalo použití samotných vápenných suspenzí jako málo účinné. Proto jsme se na základě předchozích zkušeností našich kolegů z mezinárodního projektu *Stonecore* zaměřili na kombinace, či dokonce směsi těchto suspenzí s estery kyseliny křemičité. Po provedení testů jak na zkušebních omítkových panelech, tak i na reálné interiérové nástěnné malbě se zdá, že je tato metoda efektivní ve většině zkoumaných případů.
- Z našich zkoušek v tuto chvíli vyplývá, že mezi směsmi a vícekrokovými oddělenými aplikacemi vápenných suspenzí a esterů kyseliny křemičité není, co se týče míry zpevnění, zásadnější rozdíl. U aplikace směsí ale na rozdíl od vícekrokových 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) ale může pravděpodobně docházet k přezpevnění povrchu, které se projevuje mikrokrakeláží zpevňovaného substrátu, jež může vést k následným poškozením.
- Na reálné nástěnné malbě se nám osvědčilo po aplikaci směsi následné nanesení vápenné suspenze v nižší koncentraci v několika cyklech. Čistě z teoretického hlediska je samozřejmě 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 rizika jejího budoucího poškození. Proto doporučujeme použití organokřemičitého prostředku jen v nejmenší nutné míře a finalizaci konsolidace provést pomocí vápenných nanosuspenzí.