

**Univerzita Pardubice**  
**Fakulta restaurování**

**Teoretická bakalářská práce**

2011

Zuzana Wichterlová, DiS.

**Univerzita Pardubice**  
**Fakulta restaurování**

**Hodnocení redukce  
obsahu vodorozpustných solí  
z interierových omítek pomocí obkladů**

**Evaluation of reduction of salts from interior plaster by means of poulticing**

Vedoucí práce : Ing Karol Bayer  
Vypracovala : Zuzana Wichterlová, DiS.

Hostím 2011

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se věnuje problematice redukce solí. Nejtypičtěji se u nemovitých objektů snižuje množství solí odsolováním zábaly. Přitom není zcela jasné, jakým způsobem zábaly fungují. V teoretické části je nastíněna rešerše aktuální literatury na dané téma.

V rámci praktické části byly testovány zábaly in situ na renesančních omítkách na zámku Kratochvíle. Odsolovací směsi byly míchány z bentonitu, kaolínu a zeolitu v různých poměrech s buničinou, pískem a pemzou. Jako porovnávací byla nanesena i jedna komerčně předmíchaná směs. Porovnávali jsme množství solí v různých hloubkách před odsolováním a po odsolování. Zároveň jsme i analyzovali soli vyluhované v zábalech z prvního i druhého cyklu.

## **Klíčová slova**

vodorozpusné soli, odsolování, zábaly, difuze, advekce, obnova nemovitých památek

## **Keywords**

watersoluble salts, reduction of salts, poulticing, difuzion, advection, restoration of monuments

**Prohlašuji :**

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle par. 60 odst.1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Litomyšli dne.....2011

Zuzana Wichterlová.....

**Poděkování:**

Děkuji mému muži za podporu, mámě za hlídání dětí, dětem za trpělivost, tátovi za pomoc s ex-celem a Karolovi Bayerovi za inspiraci.

# OBSAH

ÚVOD.....	8
<b>TEORETICKÁ ČÁST</b>	
<b>1. Uvedení práce do kontextu.....</b>	<b>9</b>
1.1. Vývoj přístupu k destrukcím způsobeným solemi.....	9
1.2. Projekt Desalination.....	10
1.3. Současné užití odsolovacích zábalů v Evropě.....	10
1.4. Hlavní zdroje informací při zpracování této práce.....	10
<b>2. Mechanismus koroze .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Průzkum zasoleného objektu.....</b>	<b>12</b>
3.1. Průzkum samotného objektu.....	12
3.2. Průzkum vlhkosti.....	12
3.3. Průzkum vlivu klimatu na soli.....	13
3.3.1. Kontrola a stabilizace klimatu .....	13
3.3.2. Stanovení rozsahu vhodné Rh.....	13
3.4. Průzkum vodorozpustných solí.....	14
3.4.1. Zdroje vodorozpustných solí.....	14
3.4.2. Typické schéma zasolené zdi v pěti zónách.....	14
3.4.3. Typy rizikových vodorozp. solí a míra jejich rozpustnosti.....	15
3.4.4. Míra zasolení.....	15
3.4.5. Odběr vzorků k analýzám solí.....	15
3.5. Výběr vhodného postupu.....	17
<b>4. Odsolovací zábalý - nová teorie.....</b>	<b>18</b>
4.1. Princip odsolovacích zábalů.....	18
4.2. Mechanismus vysychání.....	18
4.3. Mechanismus transportu solí vodou.....	19
4.3.1. Difuze .....	19
4.3.2. Advekce – kapilární transport .....	19
4.4. Typy odsolovacích zábalů.....	20
4.4.1. Difuzní zábal.....	20
4.4.2. Advekční (kapilárně aktivní) zábal.....	20
4.4.3. Kombinace advekce a difuze.....	21
4.4.4. Hloubka odsolení.....	22
<b>5. Odsolovací zábalý - praxe.....</b>	<b>23</b>
5.1. Příprava odsolovaného materiálu.....	23
5.1.1. Čištění.....	23
5.1.2. Odstraňování tmelů a doplňků.....	23
5.1.3. Tmelení.....	23
5.1.4. Předzpevnění, předfixáž.....	23
5.1.5. Ochrana lokálně citlivých míst.....	23

<b>5.2. Postup při odsolování zábalem</b> .....	24
5.2.1. Předvlhčení podkladu.....	24
5.2.2. Separace.....	25
5.2.3. Ochrana před zanesením jemné stříkané separace do hloubek.....	25
5.2.4. Odsolovací směs.....	25
5.2.5. Dezinfekce.....	27
5.2.6. Způsob nanesení zábalu.....	27
5.2.7. Síla zábalu.....	27
5.2.8. Zakrytí okrajů zábalu.....	27
5.2.9. Ošetření povrchu zábalu v průběhu procesu.....	28
5.2.10. Čas působení zábalu a množství cyklů.....	28
5.2.11. Způsob odstranění zábalu.....	29
<b>5.3. Jak hodnotíme efekt odsolení</b> .....	29
<b>5.4. Monitoring a další údržba</b> .....	29
<b>5.5. Rizika odsolování zábalem</b> .....	31
5.5.1. Riziko dlouhodobého provlhčení.....	31
5.5.2. Výběrová extrakce solí.....	31
5.5.3. Rekrystalizace v mezivrstvě pod zábalem.....	31
5.5.4. Redistribuce solí do hloubky.....	31
5.5.5. Zbytky obkladu.....	31

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

<b>6. Úvod</b> .....	32
<b>7. Použité materiály</b> .....	33
<b>8. Složení zkušebních směsí</b> .....	34
<b>9. Postup při míchání odsolovacích směsí</b> .....	36
<b>10. Postup při aplikaci odsolovacích zábalů</b> .....	36
10.1. Výběr vhodné oblasti na porovnání odsolovacích směsí.....	36
10.2. Příprava odsolované zdi.....	37
10.2.1. Odstranění větších tmelů a čištění povrchu.....	37
10.2.2. Zkoušky citlivosti pův. malby a možnosti její ochrany.....	37
10.3. Odsolovací zábal.....	38
10.3.1. Předvlhčení.....	38
10.3.2. Dezinfekce.....	38
10.3.3. Separace.....	38
10.3.4. Odsolovací směs.....	39
10.3.5. Způsob nanesení.....	39
10.3.6. Ošetření v průběhu procesu.....	39
10.3.7. Čas působení.....	39
10.3.8. Odstraňování zábalů.....	39
<b>11. Odběr vzorků</b> .....	40
11.1. Odběr vzorků omítek.....	40

11.2. Odběr vzorků jednotlivých materiálů a odsol. směsí.....	40
<b>12. Použité zkušební metody.....</b>	<b>41</b>
12.1. Metoda posouzení vlastností odsolovacích směsí.....	41
12.2. Metoda stanovení obsahu vodorozp. solí.....	41
<b>13. Výsledky experimentů.....</b>	<b>42</b>
13.1. Posouzení vlastností odsolovacích směsí.....	42
13.1.1. Nanášení.....	42
13.1.2. Odstraňování.....	42
13.1.3. Obsah volné vody.....	42
13.2. Posouzení přilnavosti odsolovacích směsí k podkladu.....	42
13.3. Stanovení obsahu vodorozpustných solí.....	43
Zábal č. 1 bentonit-písek.....	44
Zábal č. 2 kaolín-písek.....	45
Zábal č. 2x2. dvouvrstvý vzorek č. 2 kaolín-písek.....	46
Zábal č. 3 zeolit-písek.....	47
Zábal č. 4 bentonit-pemza.....	48
Zábal č. 5 kaolín-pemza.....	49
Zábal č. 6 zeolit-pemza.....	50
Zábal č. 7 bentonit-kaolin-písek.....	51
Zábal č. 2x7. dvouvrstvý vzorek č. 7 bentonit-kaolin-písek.....	52
Zábal č. 8 buničina-pemza.....	53
Zábal č. 9 buničina.....	54
Zábal č. 10 Remmers - Funcosil Entsalzungskomprsse.....	55
Vzorky materiálů použitých na odsolování .....	56
Vzorky zábalů po odsolování I.cyklu.....	57
Vzorky zábalů po odsolování II.cyklu.....	58
13.4. Výsledky experimentů.....	59
13.5. Testování odsolovacích zábalů v kontextu s praxí.....	60
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>61</b>
<b>RESUMÉ.....</b>	<b>64</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>65</b>

## PŘÍLOHY

# ÚVOD

Vodorozpustné soli jsou jednou z hlavních příčin poškození nemovitých památek. Nebyť vodorozpustných solí, nebylo by většiny poškozených soklů, opadávajících maleb, drolících se soch či omítek. Eliminace destruktivního působení vodorozpustných solí je velice důležitou, někdy dokonce vůbec jedinou preventivní ochranou památkových objektů. Najít vhodnou a efektivní možnost stabilizace zasolených objektů je proto zcela zásadní úkol.

O problematice solí bylo dosud publikováno mnoho vědeckých studií, jejich závěry jsou však často kontroverzní (např. při jedněch testech úspěšný zábal je jindy neúspěšný...). Příčinou je velice komplikované modelování reálných podmínek v laboratoři (šířka možností, kombinací materiálů, vnějších i vnitřních podmínek a vlivů, drobnost měřítka...). Proto konkrétní doporučení v podstatě neexistují. Pokud doporučení existují, jsou často jinými odborníky zpochybněna. Restaurátoři proto nemají jiná vodítka, jak se rozhodovat a tak v praxi logicky volí metodu, která je nejpřístupnější (nejméně pracná, nejlevnější,..). Neznalost, nejistota a nepřesvědčivé výsledky pak vedou k pochybnostem, zda má odsolování zábalů smysl.

Tato práce sestává ze dvou částí - v teoretické části se zabývám rešerší literatury o odsolovacích zábalách, v kombinaci s dalšími teoretickými informacemi a praktickými zkušenostmi. V praktické části testuji několik vytypovaných zábalů na soklových omítkách renesanční nástěnné malby na zámku Kratochvíle. V obou částech se zabývám pouze zábalou bez podpory tlaku, či elektro.

Jako cíl této práce bylo připravit základní praktická doporučení a najít recepturu vysoce efektivního a zároveň cenově i materiálově dostupného odsolovacího materiálu.



# TEORETICKÁ ČÁST

## 1. Uvedení práce do kontextu

### 1.1. Vývoj přístupu k destrukcím způsobeným solemi

Historicky se u zasolení řešily pouze viditelné následky zasolení (odstranění a rekonstrukce, transfer, konsolidace, fixáž, přemalba, zakrytí), nikoli jeho neviditelná příčina (Leitner, H., 2005). V průběhu celého 20.století probíhala změna restaurátorské profese a v některých zemích probíhá doposud. Restaurování se posouvá od uměleckořemeslné profese k vědeckému přístupu v kombinaci s estetickým citem a praktickými znalostmi. Tím došlo ke změně od vizuálního, kosmetického přístupu k pochopení a podložení a tím i k rozvoji a zkvalitnění restaurátorského zásahu... (Leitner, H., 2005).

Redukce solí pomocí zábalů začíná svou historií v 50.letech. Následujících 40 let bylo odsolování prováděno v podstatě intuitivně na základě zkušeností (Lombardo, T., S. Simon, 2006). Až v průběhu 90.let 20.stol.začal seriózní průzkum. S vědou jsme zatím nesrovnali krok – zatímco v laboratořích se doposud řeší mechanismy krystalizačních tlaků, či elementární princip fungování odsolovacího zábalu, restaurátoři jsou nuceni v praxi (při nedostačujících znalostech a zároveň při mnohdy zcela opačných teoriích) navrhnout způsob odsolování a zodpovídat se (!) za něj (Leitner, H., 2005).

Investoři i restaurátoři mohou být skeptičtí, pokud vidí, že se zasolení často již v krátkém časovém horizontu vrací. Je zásadní zdůraznit, že u odsolování zábalu se jedná pouze a vždy o **DOČASNÉ ODDÁLENÍ DESTRUKCÍ ZPŮSOBENÝCH SOLEMI**, jedná se o údržbu. Jedná se o proces, nikoli o odstranění problému. Proto se v českém jazyce využívá vhodného nedokonavého termínu „odsolování objektu“, nikoli dokonavého termínu „odsolení objektu“. Oproti tomu v angličtině označení „desalination“ zcela zavádí nesprávným směrem, přesnější by bylo např. označení „reduction of salts“ (Leitner, H., 2005).

## 1.2. Projekt Desalination

V letech 2006-2009 proběhl projekt *Desalination – EU research results on poultice system (FP6 022714)*, což byl první větší mezinárodní výzkumný projekt zaměřený na odsolování zábalů. Jeho hlavním úkolem bylo upřesnit transportní mechanismy solí z podkladu do zábalu – jak zábal funguje a jakým způsobem vybrat vhodný odsolovací systém. Výsledky tohoto projektu byly prezentovány na konferenci na Fachhochschule Koln (Kolín nad Rýnem) *Desalination Colloquium Cologne 28-29 September 2009*. Sborník nebyl dosud publikován. Jeho publikace je v plánu na září 2011. Na jaře 2010 výsledky *Desalination* projektu prezentoval Getty Conservation Institute na workshopu *Poultice Desalination of Porous Building Materials* v New Orleans.

## 1.3. Současné užití odsolovacích zábalů v Evropě

(*Heritage, Ad., Al. Heritage, F. Funke, V. Vergès-Belmin, A. Bourguès. 2008.*)

V rámci projektu *Desalination* (viz 1.2.) byl proveden průzkum ohledně metod odsolování mezi cca 500 restaurátory v Evropě (Německo, Francie, Itálie, Velká Británie).

Ukázalo se, že restaurátoři napříč Evropou používají obdobné materiály (nejčastěji různé papíroviny, ale i jíly, či kombinace jílu s papírovinami). Komerční předmíchané odsolovací směsi se používají relativně málo (patrně kvůli vyšší ceně). Výraznější rozdíly najdeme mezi způsoby aplikace (předvlhčení, čas působení...). Z průzkumu také vyplynulo, že navzdory doporučením v literatuře je zřetelně zanedbáván důsledný monitoring a průzkum před a zejména dlouhodobě po odsolování objektu. Díky tomu je obtížné hodnotit efekt používaných zábalů.

## 1.4. Hlavní zdroje informací při zpracování této práce

Při zpracování teoretické části mé teoretické bakalářské práce vycházím zejména ze závěrů projektu *Desalination – EU research results on poultice system* (viz 1.2.) v kombinaci s dostupnou literaturou, s teoretickými znalostmi a s praktickými zkušenostmi..

Příprava a realizace praktické části mé teoretické bakalářské práce proběhla ještě před prezentací *Desalination* projektu. V rámci tohoto projektu byly nastíněny nové cesty pro volbu vhodného zábalu. Nově bylo prokázáno, že jako nejvhodnější se jeví využití pohybu vody směrem k povrchu při první fázi schnutí materiálu (tzv. advekce). My jsme provedli testování méně efektivními - difuzními zábalami.

## 2. Mechanismus koroze

Destruktivní chování jednotlivých solí doposud není vědecky zcela objasněné. Pouze je zřejmé, že míru destrukce ovlivňuje mnoho faktorů. Vliv má například v jaké jsou směsi s jinými solemi (např. rekrystalizace při různých relativních vlhkostech), v jakých jsou vnějších podmínkách (např. subflorescence při cirkulaci vzduchu), či v jaké porézní struktuře se vyskytují (např. NaCl roztok krystalizuje v malých pórech a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  krystalizuje ve větších pórech (*van Hees, R.P.J., B. Lubelli. 2006*)). Nicméně výzkumů týkajících se problematiky solí bylo provedeno velké množství - seznam hlavní literatury a stručnou rešerši je možno najít v *Doehne, E., 2002*.

### **Základní teorie mechanismu koroze způsobené vodorozpustnými solemi**

Soli kumulované u povrchu způsobují v materiálu tlaky, a to vlivem okolní atmosféry (teploty a vlhkosti), či přímo vlivem kapalné vody. Jde o krystalizační a hydratační tlaky způsobené krystalizací a hydratací solí. Dále jde o tlaky vlivem různé teplotní roztažnosti zasoleného a nezasoleného materiálu.

Soli krystalizují na povrchu materiálu za vzniku eflorescencí, či pod povrchem, za vzniku subflorescencí. Z hlediska poškození jsou subflorescence významně škodlivější. Ke vzniku subflorescencí dochází, pokud je odpar vlhkosti z povrchu materiálu větší (nižší  $R_h$ , vyšší teplota a silnější proudění vzduchu, hrubší povrch, porézní materiál), než dotace vlhkostí zevnitř. Na druhou stranu vznikají subflorescence také v případě, že je odpar z povrchu materiálu omezen hůře propustnou vrstvou (např. nátěr, hydrofobizace, konsolidační prostředek, či křusta).

## 3. Průzkum zasoleného objektu

Před započatím prací a v průběhu prací je nutné provést detailní průzkum objektu.

### 3.1. Průzkum samotného objektu

(bez ohledu na vlhkost, soli a klima)

Před volbou vhodného postupu je též nutno mít dostatek informací o samotném odsolovaném objektu z hlediska struktury, složení a vlastností původního materiálu (např. odolnost vůči vlhkosti, kamenné nebo cihlové zdivo, struktura omítky..), stavu poškození (např. bionapadení, degradace omítek..) a historie restaurátorských zásahů (např. hydrofobizace, vodorozpustné materiály..).

### 3.2. Průzkum vlhkosti

Vodorozpustné soli jsou velmi často transportovány do stavebních památek nebo jejich částí vodou (jako roztoky). Proto je z pohledu další koroze i migrace solí zásadní stanovit a omezit zdroj vlhkosti.

Průzkum vlhkosti má za cíl určit rozložení a obsah vlhkosti, z toho vyvodit pravděpodobné zdroje a ty pak omezit. Hlavní metodou je gravimetrické měření odebraných vzorků (shodné vzorky pak poslouží k analýze solí (viz 3.4.5. Odběr vzorků k analýzám solí). Doplňkové metody jsou povrchová měření vlhkoměry.

V případě, že došlo k omezení zdroje vlhkosti, bude objekt vysychat. Při tom je nebezpečí, že dojde k přesunu solí na povrch materiálu a k jeho poškození. Vysychání a s tím spojené riziko je většinou velmi zdoluhavý proces. Proto je důležité i posoudit v jaké fázi vysychání objekt je a odsolování dobře načasovat.

Rozklíčování zdroje vlhkosti, jeho odstranění a vhodné načasování odsolování je zcela zásadní (a přesto mnohdy podceňované) pro dobře mířený zásah.

V případě, že nedošlo k žádnému omezení zdroje vlhkosti, není zcela jednotný názor, zda odsolování provádět. Z jednoho hlediska by pouze došlo zbytečně k jejich mobilizaci, potažmo k dalším destrukcím. Z druhého hlediska se naopak snížením koncentrací solí u povrchu oddálí jeho další destrukce.

### 3.3. Průzkum vlivu klimatu na soli

Průzkum spočívá v dlouhodobém monitoringu teploty a vlhkosti. V interieru je vhodné sledovat závislost teploty a relativní vlhkost na režimu topení, větrání, na množství návštěv atd. V exteriéru je, kromě teploty a Rh, vhodné sledovat například proudění vzduchu a expozici slunci a dešti.

#### 3.3.1. Kontrola a stabilizace klimatu

Vzhledem k předpokládaným mechanismům koroze se zdá, že stabilizace klimatu (relativní vlhkosti a teploty) by měla výrazně snížit riziko dalších poškození zasoleného objektu. Někdy je to jediná metoda, jak lze zasolený objekt ochránit (např. v případě některých na vodu citlivých materiálů). U nemovitých objektů by to měla být standartní, doplňková metoda k odsolování. Jedná se o možnost, která se týká zejména interiérů. U exteriérů je možné klima ovlivňovat pouze omezeně (např. snížení výkyvů teplot zastíněním).

Provést úplnou stabilizaci klimatu při běžném provozu objektů je velice obtížné a málokde je možné ji realizovat. Avšak i částečné omezení výkyvů klimatu má svůj význam - sníží se množství rekrystalizačních a hydratačních cyklů vodorozpustných solí, potažmo poškození podkladu. Je nutno ale podotknout, že bylo prokázáno, že má kontrola klimatu menší vliv, než bylo původně předpokládáno. Zasolený objekt v laboratorních podmínkách, přestože byl ve vhodném rozsahu klimatu, vykazoval poškození (*Nunberg, S. and Charola, A.E. 2001.*).

#### 3.3.2. Stanovení rozsahu vhodné Rh

Vhodná relativní vlhkost pro daný objekt je odvislá od konkrétní situace. Tabulkové hodnoty rovnovážných relativních vlhkostí jednotlivých solí platí pouze pro čisté soli, pokud se tyto soli vyskytují ve směsi, platí někdy zcela odlišné hodnoty (viz obr.1). Vhodný rozsah Rh lze stanovit na základě měření sorbní izotermy a pomocí speciálních počítačových programů.

Ionic composition	NaCl	KCl	KNO <sub>3</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
3Na, 1K, 1Ca, 3Cl, 3NO <sub>3</sub>	33-65 %	-	33-50%	33 %
3Na, 1K, 1Ca, 4Cl, 2NO <sub>3</sub>	32-68 %	32-40%	34-56%	32 %
2Na, 2K, 1Ca, 3Cl, 3NO <sub>3</sub>	32-62 %	32-40 %	32-65 %	32 %
2Na, 2K, 1Ca, 4Cl, 2NO <sub>3</sub>	32-65 %	32-65 %	34-60 %	32%
2Na, 1K, 1Ca, 3Cl, 2NO <sub>3</sub>	32-65 %	32-40 %	34-56 %	32 %
2Na, 1K, 2Ca, 4Cl, 3NO <sub>3</sub>	32-62 %	22-32 %	-	22-32 %

**obr.1** Rovnovážné relativní vlhkosti jednotlivých solí v různých směsích (*Brajer, I. and P. Klens Larsen. 2008*)

### 3.4. Průzkum vodorozpustných solí

Průzkum vodorozpustných solí má za cíl určit rozložení, množství a typ solí v objektu a z toho vyvodit nezbytnost zásahu a případně zdroj solí.

#### 3.4.1. Zdroje vodorozpustných solí

Zdroje solí jsou buď přímé, či nepřímé. Nepřímým zdrojem jsou kyseliny přeměňující materiál podkladu na vodorozpustné soli (reakce kyselin s zásadami).

**Cl<sup>-</sup>** – posypové soli (NaCl), mořská sůl, dezinfekční prostředky, čisticí prostředky (s HCl), technologické procesy (úpravny vody, chladírenská zařízení), mineralizovaná spodní voda, bionapadení **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** – chemická hnojiva Na, Ca, trus ptáků, fekálie (hřbitovy, žumpy, kanalizace) – rozklad organických hmot, znečištěná atmosféra (spalovací motory), bionapadení (nitrifikační bakterie)

**SO<sub>4</sub><sup>-</sup>** – z mineralizovaných spodních vod (Ca, Mg, Na, Fe), výroba stavebních surovin (přísky do cementu a cihel), chemická hnojiva, bionapadení, znečištění ovzduší SO<sub>2</sub> (kyselá dešť), spalování uhlí a topných olejů (okolo komínů), čištění sádrovce louhem NaOH, KOH

**CO<sub>3</sub><sup>-</sup>** – znečištění ovzduší SO<sub>2</sub> (kyselá dešť)

#### 3.4.2. Typické schéma zasolené zdi v pěti zónách

Jistý úsudek o zasolení lze mít již pouze při vizuálním posouzení objektu.



obr.2 Schéma zasolené zdi

**1** – vlhká mapa u paty zdi - oblast výskytu hůře rozpustných solí v roztoku (nejčastěji sírany)

**2** - eflorescence - nejčastěji se vyskytují výkvěty MgSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, Na Cl (*Stillhammerová, M. 2006.*)

**3** – největší poškození - množství vztlínající vody je v rovnováze s množstvím odpařené vody, proto se voda odpařuje pod povrchem a vznikají subflorescence (*Scherer, G. W. 2004*)

**4** – vlhká mapa zhora ohraničená výškou vztlínání - dobře rozpustné, hygroskopické soli (chloridy a dusičnany)

**5** - oblast bez solí

### 3.4.3. Typy rizikových vodorozpustných solí a míra jejich rozpustnosti

Rizikové vodorozpustné soli jsou složeny v různých kombinacích z níže uvedených anionů a kationů. Konkrétní sloučeniny jsou uvedeny v příloze č.1.

Co se týká vodorozpustnosti, jsou obecně rozpustnější chloridy a dusičnany a méně rozpustné jsou sírany a uhličitany. Rozpustnosti jsou uvedené v příloze č.1.

**Aniony** - chloridy ( $\text{Cl}^-$ ), dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ ), sírany ( $\text{SO}_4^-$ ), uhličitany ( $\text{CO}_3^-$ )

**Kationy** - sodné ( $\text{Na}^+$ ), draselné ( $\text{K}^+$ ) a vápenné ( $\text{Ca}^+$ )

### 3.4.4. Míra zasolení

Míra zasolení se určuje podle koncentrací vybraných anionů. Hodnoty se uvádějí, jako hmotnostní procenta, či molární koncentrace. Existují různé normy (viz příloha 2), u nás se využívá např. rakouská norma Önorm B 3355-1.

#### Önorm B 3355-1

	optimální	zvýšené	opatření nutná
sírany (hm.%)	<0,10	0,10-0,25	>0,25
chloridy (hm.%)	<0,03	0,03-0,10	>0,10
dusičnany (hm.%)	<0,05	0,05-0,15	>0,15

Pokud jsou sírany zkombinovány s vápníkem, je tolerovatelná hodnota mnohem vyšší (až 5 hm %) (*Vergès-Belmin, V. 2006.*).

### 3.4.5. Odběr vzorků k analýzám solí

Analýzy solí je možno provádět neinvazivními (nedojde k poškození zasoleného materiálu) a invazivními metodami (dojde k poškození zasoleného materiálu).

#### A. Neinvazivní metody

Neinvazivní metody jsou pouze doplňkové, orientační metody, nevedou k přesným výsledkům. Jedná se o analýzy výkvětů, použití testovacích papírků, měření konduktivity a analýzy odsolovacích zábalů.

#### Odebírání vzorků zábalů k analýze solí

Hodnoty solí v těchto vzorcích nejsou žádným způsobem porovnatelné se vzorky ze zdi. Odsolení u zábalu je vždy určeno v gramech na  $\text{m}^2$  podkladu, nikoli v gramech soli na gram obkladu (hm. %). Je to proto, že každý obklad má jinou hustotu a je nanášen v odlišné tloušťce, tudíž je poměřitelné, kolik solí bylo extrahováno z určité plochy, nikoli kolik gramů solí je v určité hmotnosti zábalu. Vzorek odebíráme vždy ze shodného místa (označit roh lze např. nerezovým hřebíčkem) cca 10x10 cm.

Pokud se jedná o opakovaný zábal, je vhodné využít analýz zábalů, místo destruktivního odebírání vzorků z podkladu. Výsledky slouží k ověření efektivity vybraného zábalu a nutnosti provádět opakované cykly - pokud v zábalu nejsou soli, není třeba pokračovat. Ale pozor - neznamená to, že je dostatečně odsoleno, pouze to znamená, že jsou soli redukovány v tímto zábalu

dostupné hloubce (Vergès-Belmin, V. 2006.). Zároveň je nutno brát v potaz, že takto lze porovnávat pouze zábaly, které jsou naneseny srovnatelnou dobu ve srovnatelných podmínkách.

## B. Invazivní metody

Pouze pomocí invazivních metod lze dosáhnout objektivnějších hodnot. Jedná se o přímý odběr vzorků ze zasoleného materiálu.

### Odebírání vzorků odsolovaného materiálu k analýze solí, vlhkosti a hygroskopické nasákavosti

Odebírání vzorků zasoleného materiálu musí být provedeno uvážlivě, tak, aby mapovalo danou oblast, jak do hloubky, tak do výšky a zároveň docházelo k minimalizování destrukcí. Vzhledem k mechanismu koroze jsou vzorky z povrchu nejdůležitější. Vzorky z hlubších míst kontrolují zda a jak moc došlo k redistribuci solí. Vzorky z největších hloubek napomáhají určit zdroj vlhkosti.

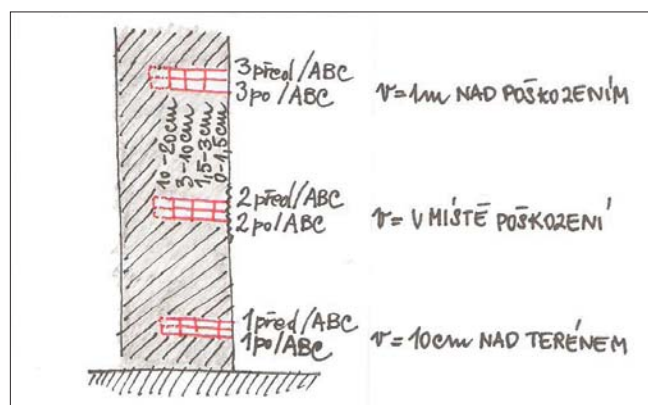
Vzorky na soklových partiích odebíráme ve třech výškách a ve třech hloubkách a přehledně označujeme - např. 1před/A,B,C, 2před/A,B,C, 3před/A,B,C (viz obr.3). Výška 1 je cca ve výšce 10cm nad terénem, Výška 2 je z oblasti největšího poškození, výška 3 je cca 1 m nad hranicí poškození, hloubky A je 0-1,5 cm, B je 1,5-3 cm, C je 3-10 cm.

Vždy vzorek odebírám z kapilárně neaktivnějšího materiálu. Pokud se jedná o kompaktní kamenné zdivo, je vhodné nalézt spáru - maltovinu mezi kameny. Zasolení neporézního materiálu kamene by bylo nižší. Pokud se jedná o cihlové zdivo, či porézní kámen, je možné brát vzorek kdekoli.

Pokud potřebujeme potvrdit zdroj vlhkosti, je vhodné odebrat vzorek na vlhkost i z větší hloubky (vzorek D cca 10-20 cm). Tím se upřesní křivka vlhkosti v daných výškách směrem do hloubky zdiva.

Na shodných místech (výškách i hloubkách), kde byly vzorky odebrány před odsolováním je nutné odebrat i vzorky po odsolování (1po/A,B,C, 2po/A,B,C, 3po/A,B,C).

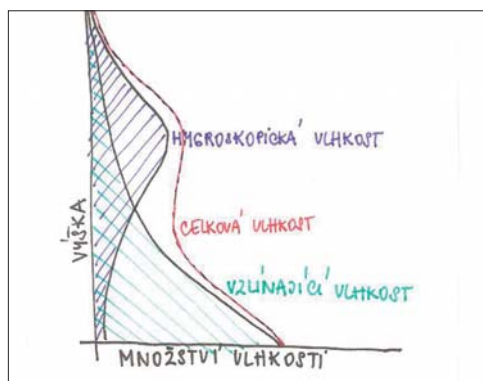
Technologovi k analýzám předáváme popsany a vodotěsně zabalený vzorek (místo, číslo, datum), vyplněný formulář s přesnějšími údaji o vzorcích, plánek s lokalizací a nejlépe i fotku místa odběru.



obr. 3 Schema odebírání vzorků ze zdi



Zároveň je vhodné provést i měření hygroskopické nasákavosti povrchového vzorku (vzorek A) čímž lze pak případně vysvětlit vyšší povrchovou vlhkost ve vyšších úrovních (viz obr 4).



obr. 4 Schema povrchové vlhkosti zdi (Young, Da. and Do. Ellsmore. 2008)

### 3.5. Výběr vhodného postupu

Stabilizace solí by měla být vždy doprovázena jak redukcí (odstraněním) zdroje vlhkosti, tak stabilizací klimatu (alespoň částečnou). To znamená, že navrhovaný postup by měl vždy obsahovat tyto tři body :

**A. omezení zdroje vlhkosti** (jakožto nosiče solí) **a solí** (izolace septiků, skladů..)

**B. omezení vlivu vnějšího prostředí** (doporučit režim topení, větrání..)

**C. stabilizace solí**

Odsolování pomocí zábalů je pouze jedna z mnoha možných variant, jak snížit destrukční působení solí.

Solí je možné **PASIVOVAT** pomocí konverze (chemická přeměna) vodorozpustných solí na méně rozpustné. Obdobně funguje biokonverze - za pomoci bakterií. Dále je možné pro omezení destruktivního účinku užít inhibitorů krystalizace.

Solí je možné odstranit, či přesněji řečeno **REDUKOVAT** v lázni, pomocí odsolovacích zábalů, či obětních omítek a to bez ničeho, či s podporou tlaku, či elektrického pole (elektrokinetické metody).

Jedinou úplnou **PREVENTIVNÍ OCHRANOU** před vlivem solí je oddělení od zdroje vlhkosti vodonepropustnou bariérou. Pak je ale nutné provést stabilizaci solí, které se do objektu dostaly před tím. Zde se jeví, jako vhodnější právě redukce, než pasivace.

#### Kdy je možné volit stabilizaci solí odsolovacím zábalem?

Zábaly můžou fungovat na rozpustnější soli (dusičnany a chloridy), na méně rozpustné soli (síran) nejsou vhodným řešením.

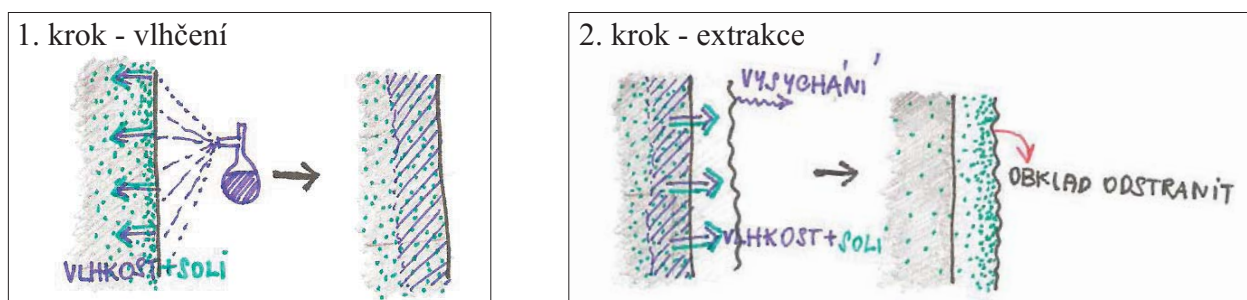
U méně rozpustných solí lze spíše, než redukční metody doporučit pasivační metody (např. konverze síranů pomocí Ba OH na méně rozpustné).

Odsolovací zábaly nelze použít na vodorozpustné podklady (polychromie, malba) - zde je možná pouze konverze, či Rh kontrola.

## 4. Odsolovací zábaly - nová teorie

### 4.1. Princip odsolovacích zábalů

Odsolování zábaly probíhá ve dvou krocích - 1. vlhčení, 2. extrakce. Vlhký materiál zábalu je nanesen na odsolovaný podklad, vlhkost ze zábalu pronikne do porézního systému podkladu a rozpustí vodorozpustné soli. Zábaly začne od povrchu schnout. Soli v roztoku se pohybují ven z podkladu, směrem k povrchu zábalu. Posléze jsou soli i se zábalem odstraněny. Teorie je jednoduchá - oproti praxi.



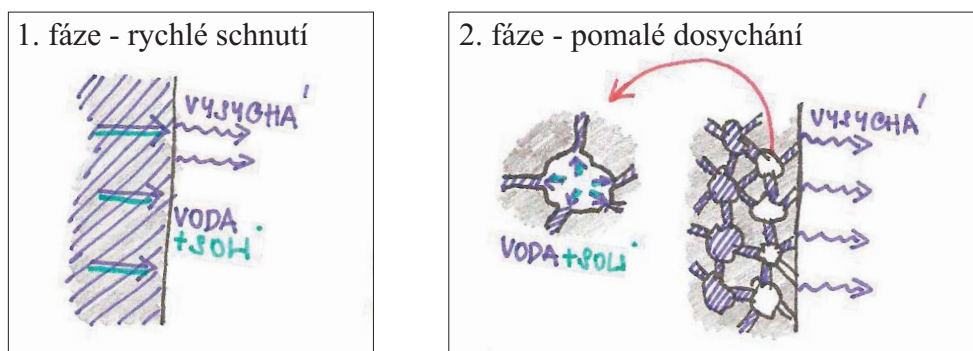
obr. 5 Princip odsolovacího zábalu

### 4.2. Mechanismus vysychání

(Sawdy, A., A. Heritage and L. Pel. 2008)

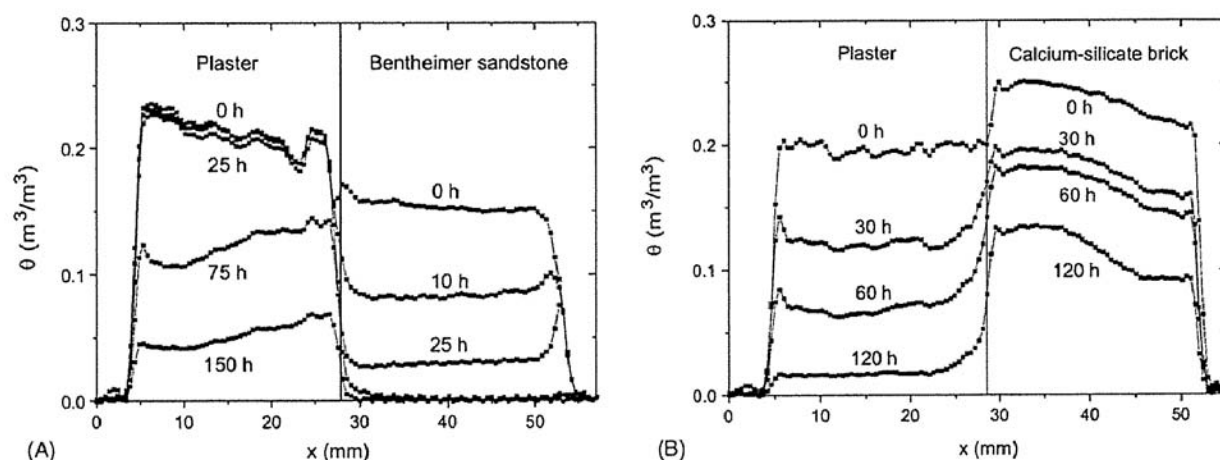
Při první fázi schnutí probíhá vypařování vody z povrchu. Během této fáze je vysychání konstantní a rychlé. To probíhá, dokud je dotace vlhkosti z materiálu větší, nežli odpar z povrchu. Většinou probíhá rychleji, než při odparu z vodní hladiny, protože porézní materiál má hrubší strukturu.

Druhá fáze schnutí je mnohem pomalejší a je silně závislá na porézní struktuře materiálu. Tekutá voda se přemísťuje působením kapilárních sil z makropórů do mikropórů, voda se trhá na jednotlivé skupinky v mikropórech. Toto se děje směrem od povrchu do hloubky. Odsychání pokračuje uvnitř pórů odpařováním způsobeným rozdílem v  $R_h$  povrchu materiálu a  $R_h$  v makropórech.



obr. 6 Mechanismus vysychání

Proto nejdéle vysychá materiál s malými póry, zatímco materiál s velkými póry schne rychleji. To se zřetelně projevuje, pokud jsou různé porézní materiály navrstveny na sobě. Materiál s jemnými póry schne vždy pomaleji, než materiál s hrubší porézní strukturou, přičemž je jedno, zda je jemnoporézní materiál pod, či nad hruboporézním (viz obr.7).



**obr. 7** Nalevo omítka nanese na hruboporézní materiál, napravo nanese na jemnoporézní materiál. V obou případech dochází ke schnutí povrchem omítky (hloubka 0 mm). Přesto neschne rychleji materiál na povrchu, ale materiál s hrubší porézní strukturou. (Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010 (Petkovic, 2007))

### 4.3. Mechanismus transportu solí vodou

(Sawdy, A., A. Heritage and L. Pel. 2008)

Transport solí odpovídá transportu vlhkosti.

#### 4.3.1. Difuze (např. rozptýlení kapky inkoustu ve vodě)

Difuze je způsobená Brownovým pohybem. Díky difuzi dochází po určitém čase k pravidelnému rozložení koncentrací v kapalině. V porézních materiálech probíhá velmi pomalu - ještě pomaleji, než ve volné tekutině. Dominuje v druhé fázi schnutí - při první fázi dominuje pouze v hloubce.

#### 4.3.2. Advekce – kapilární transport (např. transport znečištění v řece)

Advekce je přenos prouděním. V tomto případě vody a solí směrem k povrchu materiálu, přičemž je způsobená kapilárními silami a schnutím. Probíhá mnohem rychleji, než difuze. Dominuje v první fázi schnutí materiálu.

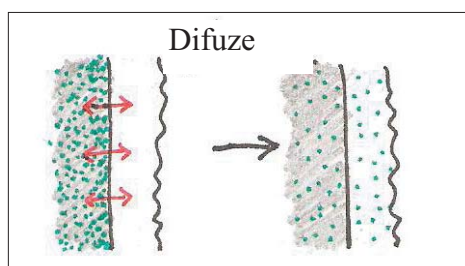
## 4.4. Typy odsolovacích zábalů

Dosud se užívalo většinou označení “wet poulticing = mokrý zábal” a “drying poulticing = schnoucí zábal”. Vzhledem k nepřesnosti označení (viz 5.2.10. Čas působení zábalu a množství cyklů) je vhodné užívat označení “difuzní” a “advekční” zábal.

### 4.4.1. Difuzní zábal

(Sawdy, A., *A. Heritage and L. Pel. 2008, Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010*)

U difuzních zábalů není důležitá distribuce pórů ve struktuře podkladu a obkladu. Přesun solí je způsoben rozdílem koncentrací. Odsolování difuzí probíhá pouze pokud je mezi zábalem a podkladem gradient v koncentracích, a to tak, že v zábalu je nižší koncentrace iontů, než v podkladu. Pokud je koncentrace dorovnaná, zábal nemá efekt. Pokud je koncentrace iontů v zábalu vyšší, dochází ke zpětné migraci iontů do podkladu. Tento proces je velmi pomalý - při velice dobrém difuzním koeficientu by 80% odsolení bylo ve 4 cm za cca 30 dní.

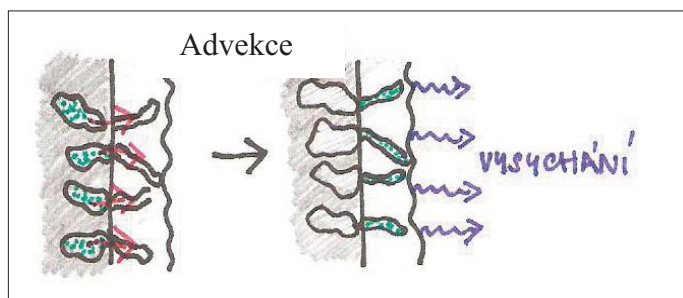


obr. 8 Vlhkost se solemi dorovnává rozdíl v koncentracích mezi podkladem a obkladem.

### 4.4.2. Advekční (kapilárně aktivní) zábal

(Sawdy, A., *A. Heritage and L. Pel. 2008, Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010*)

U advekčních zábalů je nutno brát v potaz distribuci pórů ve struktuře. Zábal musí obsahovat dostatečné množství pórů menších, než většina pórů podkladu, tak, aby zábal schnul poslední - až po podkladu. V podstatě by měl jemně porézní kapilárně aktivnější zábal fungovat, jako houba, která vlhkost odsaje z hruboporézního materiálu.



obr. 9 Vlhkost se solemi z podkladu je nasáta kapilárami obkladu.

**Výhody a nevýhody difuzního zábalu** (Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010.):

výhody - ve velice dlouhém čase a při opakované výměně zábalů by mohl mít i 100% efekt, funguje nezávisle na porézní struktuře podkladu

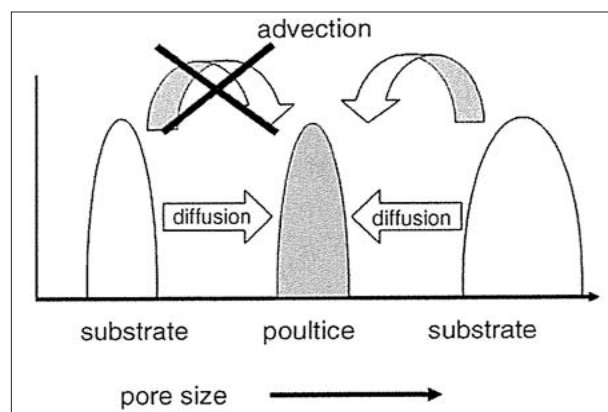
nevýhody - velice pomalé, nutno provádět více cyklů (menší efekt jednotlivých cyklů), riziko dlouhodobého vlhčení (bionapadení..)

**Výhody a nevýhody advekčního zábalu** (Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010):

výhody - větší efekt každého cyklu, rychlejší - kratší doba působení, méně vlhkosti

nevýhody - nutno přizpůsobit odsolovanému materiálu, odstranění solí pouze z povrchu, nutno přesně odhadnout chvíli, kdy odstranit zábal (nenechat zábal doschnout - pak difuze), nelze použít na trvale vlhké podklady.

Jako další nevýhoda difuzního zábalu je v literatuře (Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010) uváděno, že je po odsolení objekt mokrá - dosychá, tudíž je riziko, že dojde k distribuci solí zpět k povrchu. Avšak vzhledem k tomu, že můžeme nechat difuzní zábal doschnout, domnívám se, že by to mohl být problém naopak spíše advekčních zábalů (v případě, že po odstranění zábalu ještě dobíhá na povrchu podkladu první fáze schnutí). Možnosti řešení jsou nastíněné v kapitole 5.2.4. Odsolovací směs.



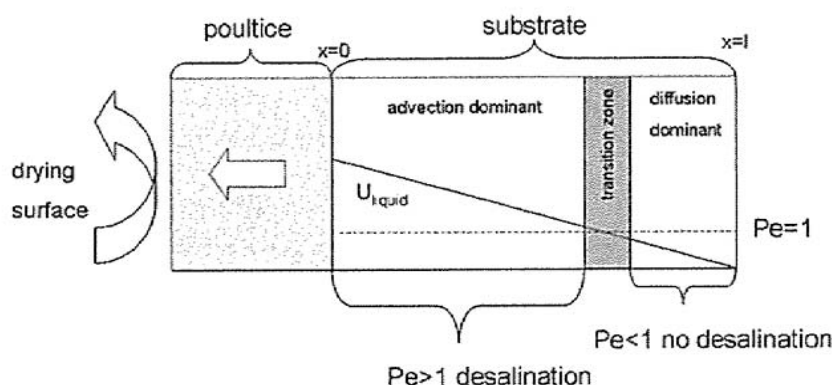
**obr. 10** Zleva doprava roste velikost pórů. Obklad je ve středu. Jemně porézní podklad je nalevo, hruboporézní je napravo. Z jemně porézního podkladu do hrubě porézního obkladu se přesouvají soli pouze za pomoci difuze. Z hruboporézního podkladu do jemněporézního obkladu se přesouvají soli za pomoci advekce i difuze. (Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010)

#### 4.4.3. Kombinace advekce a difuze (Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010)

Při pohybu vody (solí) v porézním materiálu dochází vždy k soutěži mezi difuzí a advekcí. Soutěž mezi advekcí a difuzí je charakterizována  $Pe$  - Pecletovým číslem (poměr mezi advekcí a difuzí). Pokud je  $Pe$  větší, než 1, tak dominuje advekce, pokud je  $Pe$  menší, než 1, dominuje difuze.

Která z těchto sil vítězí je dáno prostorovým umístěním (viz obr.11) a časem. První fáze

schnutí a dominance advekce končí, když se začínají kumulovat ionty na povrchu materiálu. Koncentrace na povrchu roste, protože materiál začíná od povrchu vysychat. Zároveň se i snižuje odpar z povrchu působením akumulace solí (snížení tlaku par slaného roztoku). Začíná probíhat druhá fáze schnutí a začíná převažovat difuze.



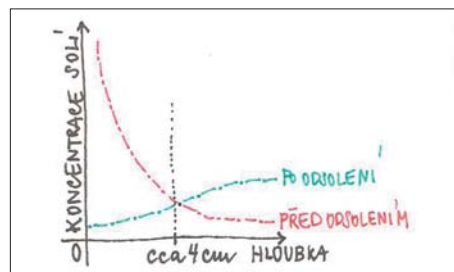
**obr. 11** Prostorové rozmístění advekce a difuze v první etapě schnutí. (Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010) Nalevo je obklad, napravo je podklad. Při vysychání se pohyb vody směrem k povrchu zrychluje. V hloubce, kde je rychlost pomalá, převažuje i v první fázi schnutí difuze nad advekcí - Pecletovo číslo je menší, než 1. Tuto oblast nelze odsolit advekcí. Tuto oblast také nelze odsolit difuzí - trvalo by velice dlouho. Tudíž je to neodsolitelná oblast. Zároveň je to táž oblast v níž dochází k redistribuci solí do hloubky (viz obr. 12).

#### 4.4.4. Hloubka odsolení

(Sawdy, A., A. Heritage and L. Pel. 2008).

Hloubka odsolení zábalem je zhruba 2-3 cm, kde zpravidla dochází k více, než 50% redukci solí. Od hloubky cca 4 cm je zpravidla patrná redistribuce - zvýšení zasolení (viz obr. 11, 12). Hloubka mobilizace a kam budou soli distribuovány závisí na původním rozložení solí, na vztahu podkladu a obkladu a na podmínkách schnutí.

Lze předpokládat, že míra a distribuce zasolení i míra a distribuce odsolení je v případě heterogenních materiálů, jako je podklad nástěnné malby závislá nejen na porositě povrchové vrstvy, ale logicky i na porositách dalších, hlubších vrstev (jádrová omítka, typ zdiva, omítka ve spárách...).



**obr. 12** Typická křivka koncentrace solí před a po odsolení.

## 5. Odsolovací zábaly - praxe

### 5.1. Příprava odsolovaného materiálu

#### 5.1.1. Čištění

Podklad je vhodné předem očistit od prachu apod. kvůli lepší přilnavosti zábalu. Zároveň je třeba odsát vysavačem výkvěty solí (zbytečně by se opět při vlhčení dostaly zpět do podkladu). Odsátí se zdá být lepší, než pouhé ometení.

#### 5.1.2. Odstraňování tmelů a doplňků

Je zcela zbytečné odsolovat tmely a doplňky, které budeme odstraňovat. Proto je vždy před odsolováním odstraníme. Zároveň se tím ale otevře struktura a hloubky podkladu. To na jednu stranu přispěje k lepší přilnavosti obkladu k podkladu, zároveň se zvýší riziko, že bude zábal zanesen do hloubek, odkud ho pak bude obtížné odstranit (např. ze spar zdiva).

#### 5.1.3. Tmelení

Někdy je třeba před nanesením zábalu některou část zatmelit, či obtmelit (např. kvůli ochraně). Pak je nutno počítat s tím, že ne zcela dozrálý vápenný tmel se ve vlhkém prostředí chová, jako čerstvý. Materiál zábalu na něm bude freskovatět, i po relativně dlouhé době ponechané na vyzrání. Například jemná buničina ze separace se propojí s tmelem a zůstane neodstranitelně propojena s povrchem tmelu.

#### 5.1.4. Předzpevnění, předfixáž

(Vergès-Belmin, V. 2006.)

Zpevněním je možno omezit vodorozpustnost podkladů, či zpevnit degradovaný materiál. Obecně, jako nejvhodnější se jeví předzpevnění ES (etylsilikáty), či MTMOS (methyltrimethoxysilany). Nakolik zpevnění snižuje kvalitu odsolení není zcela prověřené. Rozhodně by, ale neměla před nanesením odsolovacího zábalu setrvat zbytková hydrofobita (po zpevnění ES může trvat i několik měsíců).

Reakce zpevňovacího prostředku může být ovlivněna přítomností solí. Zpevňovací prostředek nemusí fungovat dobře, pokud je sůl ve vyšší koncentraci. Např. při 4 % koncentraci Na Cl začíná klesat efekt zpevnění ES. Také vyšší Rh (více, než 50 %) hygroskopických solí může způsobit nevhodnou, příliš rychlou reakci konsolidantu (Vergès-Belmin, V. 2006.).

#### 5.1.5. Ochrana lokálně citlivých míst

Citlivá místa je možno ochránit např. přelepou gázou např. s Tylozou. Otázkou je o kolik se zhorší v tomto místě kvalita odsolení.

## 5.2. Postup při odsolování zábalem

### 5.2.1. Předvlhčení podkladu

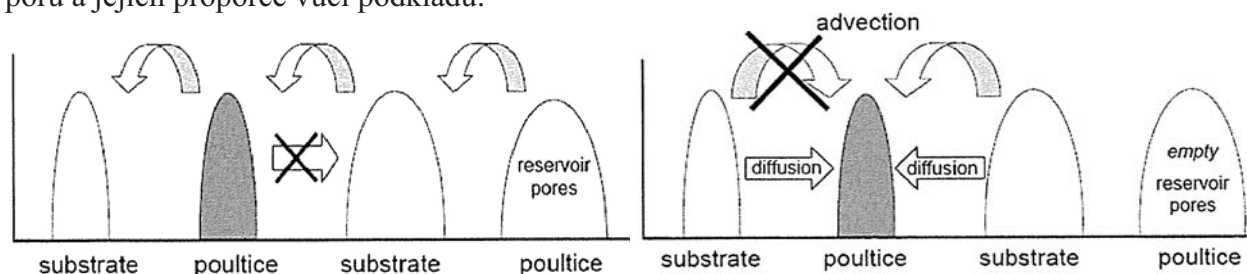
V prostudované literatuře nedochází ke shodě jakým způsobem a jak moc vlhčit. V některé literatuře (*Young, Da. and Do. Ellsmore. 2008*) je uvedeno, že zeď vůbec není třeba vlhčit - zabal se nanáší na suchou zeď a soli jsou rozpuštěné vodou obsaženou v zábale.

Kladem zvlhčení je, že se odstraní prvotní hydrofobita povrchu a tím se zlepší adheze s obkladem. Zároveň se do určité hloubky rozpustí soli v odsolovaném materiálu, tak, aby je bylo možné následně zábalem odstranit. Na druhou stranu negativem je, že čím více vlhčím, tím více a do větší hloubky mobilizuji soli. Proto je vlhčení nebezpečné, nejen pro materiály citlivé na vodu, ale i kvůli redistribuci solí do hloubky. Nejlepší by bylo zvlhčit pouze do takové hloubky, kam ještě bude zabal schopen fungovat. Při vlhčení sprayováním lze určit, kolik litrů bude nastříkáno na metr čtvereční. *Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010* doporučuje ještě přesnější vlhčení - zábalem, nikoli sprayováním. Při vlhčení zábalem je lepší kontrola množství, rychlosti a hloubky průniku vody.

### Je možné najít advekční zabal, který by vlhčil i odsoloval?

#### A. Zabal s kombinovaným porézním systémem (*Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010*)

Aby zabal mohl plnit oba úkoly, musel by mít širokou distribuci pórů. Aby mohl vlhčit, musí mít větší póry, než podklad. Aby mohl odsolovat advekci (schnout rychleji, než obklad), musí mít menší póry, než obklad. Otázkou je, jak přesná by musela být kombinace jednotlivých druhů pórů a jejich proporce vůči podkladu.



**obr. 13** Schema obkladu s kombinovanou funkcí odsolovacího zabalů - nalevo vlhčení, napravo schnutí (odsolování advekci). *Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010*.

#### B. Zabal s dvojitou funkcí separace

Je možné, že by tento úkol mohl plnit i jílový zabal nanesený na tenkou stříkanou separaci z jemné buničiny. Separace předvlhčí kontrolovaně podklad, po nanesení zabalů se porézní systém buničiny zaplní jílem a tím se póry zmenší - zaktivní. Tuto teorii je nutno prověřit.



### 5.2.2. Separace

Separace se používá z více důvodů - kvůli ochraně citlivějších podkladů (např. nástěnná malba), kvůli odstanitelnosti zábalu (např. z hrubších struktur podkladu) a kvůli ochraně před znečištěním jemnými částicemi ze zábalu (např. bílý závoj z kaolínového zábalu).

Nejčastěji se jako separace využívá japonský papír. Jako druhá možnost nám byla doporučena (ing. K. Bayer) stříkaná separace z jemné buničiny.

Zkoušky separací jsme provedli v roce 2001 při restaurování východní fasády zámku Kratochvíle. Na základě těchto zkoušek bylo patrné, že samotný japonský papír není schopen zadržet jemné částičky jílu a po odsolování zůstává na povrchu bílý zákal. Oproti tomu tenký podstřík jemnou buničinou (Arbocel BC 200) velice dobře odfiltruje jíl, tak, aby neznečistil povrch malby.

Otázkou je nakolik ovlivňuje separace vlastnosti zábalu. Jedna ze stěžejních vlastností - přilnavost zábalu k podkladu je zjevně separací ovlivněna. Separální mezivrstva z japonského papíru dle literatury (Lombardo, T., S. Simon. 2006.) zlepšuje přilnavost obkladu k podkladu (není jasné proč). Pokud je separace z japonského papíru užitá pod buničinovou separací (jako dvojitá separace), naopak adhezi snižuje a zábal z hladké omítky odpadává. Samotná buničina přilnavost zábalu snižuje, avšak ne nijak významně.

Co se týká porézní struktury, která je důležitá pro advekční zábal, není zcela jasné, jak může separace fungovat. Japonský papír je tak tenký, že nemá patrně vůbec vliv na míru odsolení. Buničinový podstřík je silnější a má velké póry. Teoreticky by mohl být podstřík přínosem a fungovat ke kontrolovanému předvlhčení (viz 5.2.1. Předvlhčení podkladu). Na druhou stranu by, ale také mohl být kontraproduktivní neaktivní bariérou pro advekční odsolení (to v případě, že se jeho póry nezmenší zanesením jílovitými částičkami).

### 5.2.3. Ochrana před zanesením jemné stříkané separace do hloubek

Při aplikaci pomocí omítací pistole se materiál zábalu může dostat i do skulin a míst, odkud se obtížně odstraňuje. Proto je možné největší hloubky zaplnit čistou dlouhovláknitou buničinou, která se dá snáz odstranit. Nutno brát v potaz, že v těchto místech neodsolují vybraným zábalem, nýbrž pouze čistou buničinou - difuzně.

### 5.2.4. Odsolovací směs

Většinou se jedná o směs dále vyjmenovaných materiálů. Jako záměsová se ideálně používá destilovaná (demineralizovaná) voda, avšak pro práci v terénu ji lze nahradit i vodou z vodovodního řádu.

#### Jednotlivé složky užívané do odsolovacích směsí

A. Papíroviny- buničina, celulóza, filtrační papír, noviny...

Dosud jsou papíroviny využívány dominantně. Příčinou jejich širokého užití je, že jsou citlivé k podkladu a po vyschnutí jdou snadno odstranit. Přičemž je práce s nimi relativně čistá (neponechávají zbytky, nepráší atd.). Smrštivost při schnutí mají relativně malou.

B. Jíly - bentonit, kaolín, zeolit, atapulgit, sepiolit...

Jíly se používají, protože mají dobrou absorpční kapacitu, dobrou retenci vody, dobrou zpracovatelnost. Jejich nevýhodou je, že se smršťují (způsobují oddělování zábalu od podkladu) a zanechávají stopy nečistot na povrchu (je nutné je separovat).

C. Plniva - písek, pemza, perlit, diatomit (křemelina)...

Snižují smrštivost ostatních materiálů (zejména jíly, ale i buničiny). Obyčejné písky neovlivňují porozitu tolik, jako jíly. Ostatní plniva mají otevřenou porézní strukturu.

D. Další přísady - minerální vata, vápno, iontoměniče, CMC (zvýšení přilnavosti), dezinfekční prostředky...

### **Výběr odsolovací směsi**

Vybraná směs nesmí obsahovat vodorozpustné soli (méně, než 0,1 hm.%) a nesmí mít smrštivost větší, než 5%. Musí mít dobrou zpracovatelnost a po odsolení i odstranitelnost. V neposlední řadě musí být její účinnost co nejvyšší a cena přiměřená.

Volba zábalu je ovlivněna stavem vlhkosti objektu:

Pokud byl odstraněn zdroj vlhkosti a jedná se o rapidní vysychání (např po povodních), budou se soli pomalu, ale ve větší míře přesouvat k povrchu. Pak je rozhodně vhodnější použít místo krátkodobých advekčních zábalů dlouhodobý difuzní zábal (obětní omítku). Difuzní zábal by měl být nanesen až do doby, než bude materiál podkladu doschlý. Další postup bude odvislý od aktuálního stavu zasolení po odstranění difuzního zábalu.

Ve standartních případech kdy vysychání není rapidní, je výhodnější využít odsolování advekčním zábalem (rychlejší, efektivnější, méně zavlhčení). Pak je ale nutné přizpůsobit porozitu směsi porozitě odsolovaného podkladu.

### **Měření porozity**

Je třeba dořešit, jak můžeme efektivně a jednoduše určit porozity zábalu a substrátu.

Přesné měření porozity je relativně složité. Na vzorcích z podkladu lze využít klasickou metodu měření porozity MIP (merkury intruzion porozimetrie = rtuťová porozimetrie). U obkladů je měření porozity komplikovanější. Obklady se tlakem potřebným k MIP deformují. Zároveň je u mnoha materiálů rozdíl v porozitě vlhkého a suchého materiálu. Přičemž při odsolování je důležitější porozita vlhkého zábalu. MIP nelze měřit porozitu vlhkého materiálu. Za tímto účelem je nutno využít NMR měření (nuclear magnetic resonance = nukleární magnetická rezonance) v kombinaci se SEM (skenovací elektronový mikroskop).

Další, méně náročnou, zajímavou možnost nastínil Eberhard Wendler na konferenci Desalination Colloquium Cologne v Kolíně nad Rýnem (viz. 1.2. Projekt Desalination). E.W. testoval vhodnost zábalů tak, že zábal nanasl na vzorek odsolovaného materiálu, pak sledoval vývoj přesunu vody (hmotnosti vzorků). Na základě toho lze určit, který materiál má jemnější porézní strukturu.

### 5.2.5. Dezinfekce

S rizikem biologického napadení je nutno vždy počítat předem, a to zejména u difuzních (dlouhodobých) zábalů a v interierech, kde je vysychání pomalejší. Dezinfekci je lepší provádět vždy a preventivně a to vysoce efektivním prostředkem, který však nesmí obsahovat vodorozpustné soli. Nejvhodnější se jeví provést, jak nástřik dezinfekcí před nanesením zábalu, tak dezinfikovat samotný zábal. Dezinfekci je vhodné použít (v nižší koncentraci) i u krátkodobějších advekčních zábalů.

### 5.2.6. Způsob nanesení zábalu

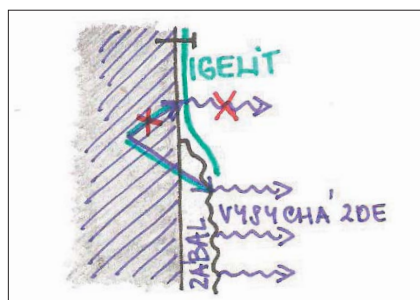
Zábal může být nanesen rukou, či zednickou lžící (pouze některé materiály - např. bentonitové směsi). Zábal může být nanesen stříkácí pistolí na kompresor, obdobně, jako separace jemným buničínovým podstříkem.

### 5.2.7. Síla zábalu

Většinou se nanáší v tloušťce cca 1-2 cm, ale není otestováno, zda má tloušťka zábalu nějaký vliv. Teoreticky by mělo jít o minimálně nezbytnou tloušťku (z hlediska úspor financí za materiál a práci). Přičemž by zároveň měla být dostatečná, tak, aby pojmula soli kumulující se u povrchu a případně snížila i rychlost vysychání.

### 5.2.8. Zakrytí okrajů zábalu

Aby nedocházelo k přesunu solí za hranici zábalu je nutno překrýt hranici zábalu pásem fólie (*doporučení ing.K. Bayera*). V minulosti jsme měli zkušenost, že se daný jev může projevit i vizuálně. Po odstranění zábalu bez pásu fólie byla podél okraje zábalu vlhká skvrna - hygroskopické soli se přesunuly a způsobovaly viditelnou mapu. Při překrytí pásem fólie, se skvrna neobjevuje.



obr.14 Ochrana pásem igelitu před odsycháním a redistribucí solí okolo zábalu

### 5.2.9. Ošetření povrchu zábalu v průběhu procesu

Při odsolování je nevhodné, pokud zábal vysychá příliš rychle. Pokud se jedná o zasolení v důsledku vztlínání vlhkosti, či v interierech, je nepravděpodobná potíž s rychlým odeschnutím - naopak zábal často odsychá velmi pomalu.

V případech odsolování suchých oblastí (např. na osluněných fasádách) je reálné riziko rychlého odparu vody ze zábalu a tím pádem snížení jeho efektu. Oproti dřívějším názorům se současná literatura shoduje na tom, že udržování zábalů ve vlhkém stavu kropením jeho povrchu vodou je zcela nevhodné (solí jsou distribuovány spolu s vodou zpět ze zábalu do podkladu). Větší provlhčení podkladu též není vhodné vzhledem k mobilizaci solí do větší hloubky. Jako nejvhodnější se jeví dočasně zakrýt zábal například perforovanou fólií.

### 5.2.10. Čas působení zábalu a množství cyklů

Na tomto poli dochází k neshodě, patrně i kvůli terminologii - kdo čemu říká mokrý (wet poultice) a schnoucí (drying poultice). Sawdy uvádí, že mokrý zábal pracuje na základě difuze a schnoucí zábal funguje na základě kapilárních sil (Sawdy, A., A. *Heritage and L. Pel. 2008*). Zcela opačně Lombardo uvádí, že mokrý zábal funguje na základě kapilárních sil a schnoucí zábal funguje na základě difuze (Lombardo, T., S. *Simon. 2006*). Doporučení *WTA Merkblatt (2003)* jsou mokrý zábal 5-10 dní, opakovat 4-6 krát, schnoucí zábal 3-6 týdnů, opakovat 2 krát. Přičemž zde není uvedeno který zábal funguje jakou silou. Nicméně na základě doporučovaných časů lze předpokládat, že to odpovídá spíše Lombardově teorii. Množství cyklů zase naopak odpovídá spíše Sawdy teorii.

Příčinou této rozdílné terminologie je, že difuze funguje při vlhkém (dokonce i nevysychajícím) materiálu, avšak zábal mohou nechat doschnout. Oproti tomu kapilární síly fungují při vysychání (při první fázi schnutí), avšak zábal nesmím nechat doschnout (mohlo by dojít k redistribuci). Proto je obtížné říci, co je vlhký zábal a co je schnoucí zábal. Na každý pád k potížím nebude docházet, pokud budeme zábal nazývat podle dominantních sil, jimiž odsolují, nikoli dle způsobu schnutí.

#### **Aktuální doporučení:**

##### Difuzní zábal

V případě difuzních zábalů je nutné držet obsah solí v zábalu co nejnižší, tak, aby byl dodržen gradient mezi koncentracemi solí. Mělo by docházet k relativně častému vyměňování zábalů po dlouhý čas. Odhadem by měla být frekvence vyměňování difuzních zábalů v rámci týdnů, či měsíců (vzhledem k tomu, že difuze je velice pomalý proces). V případě difuzních zábalů by každý cyklus měl trvat cca 3-6 týdnů s výměnou 4-6 krát.

##### Advekční zábal

V případě advekčních zábalů stačí ponechat zábal v rámci dnů. Povrchová vlhkost zábalu by měla začít klesat, na povrchu se mohou začít utvářet krystaly solí. V tomto momentě by se měl advekční zábal odstranit. Pokud zábal odstraním později, mohlo by docházet díky difuzi k redistribuci solí ze zábalu zpět do substrátu. Advekční zábal by pak měl nižší efekt, srovnatelný s jedním cyklem difuzního zábalu. V případě advekčního zábalu by cyklus měl trvat cca 5-10 dní a měl by být opakován 2-3 krát.

### 5.2.11. Způsob odstranění zábalu

Zábal odstraňujeme plastovou, či dřevěnou špachtlí, nejlépe se zahnutou rukojetí (ve tvaru zednické lžice), tak, aby se dobře dostávala mezi zeď a zábal. Zbytky zábalu lze omést štětcem. Z hloubek lze zbytky vykartáčovat, či vyfoukat tlakovým vzduchem. Odstraňování mokrou cestou se jeví, jako nevhodné - opět dojde k provlhčení a k migraci solí k povrchu.

## 5.3. Jak hodnotíme efekt odsolení

Efekt odsolení udáváme v procentech (100 % je množství solí před odsolováním), ale nelze ho posoudit jedním číslem.

Efekt odsolení hodnotíme více způsoby - míra odstranění určitých solí, míra odsolení v určitých hloubkách, celkové odsolení (průměrná hodnota v měřených oblastech). Zároveň je účinnost zábalu vždy vztažena ke konkrétnímu času - krátkodobý a dlouhodobý efekt odsolení (nutno posoudit v delším časovém horizontu - nejlépe 1 rok i déle). Rozdíl může být i mezi výsledky těsně po zábalu a např. 1 měsíc po zábalu, protože zábal při snímání není nikdy zcela suchý. Proto může docházet k přesunu solí zpět k povrchu.

Zároveň je nutno si vždy uvědomovat, že nejzásadnější je, co v objektu ponecháváme, nikoli to, co se podařilo odstranit. Proto, i pokud dojde k vysoké (např. 70%) redukci, nemusí jít o úspěšný, respektive dostatečný zásah, pokud byly původní hodnoty zasolení velice vysoké. Identifikovat, co je dostatečné odsolení je komplikované. Mohou nám napomoci extrakce ze zábalů (vždy ze stejného místa) - ty určí, kdy zvolená metoda již ztrácí efekt.

## 5.4. Monitoring a další údržba

Efekt odsolení je nutno sledovat v čase. V momentě, kdy se opět začnou objevovat poškození způsobená solemi, či krystaly solí, je vhodné posoudit další postup. Každá redukce solí je údržbou, která napomáhá minimalizovat poškození i oddaluje nutnost většího zásahu.

Navíc sledování čtvrté časové dimenze přispívá ke zhodnocení smyslu toho kterého zásahu a k pochopení celého doposud částečně záhadného mechanismu chování solí.

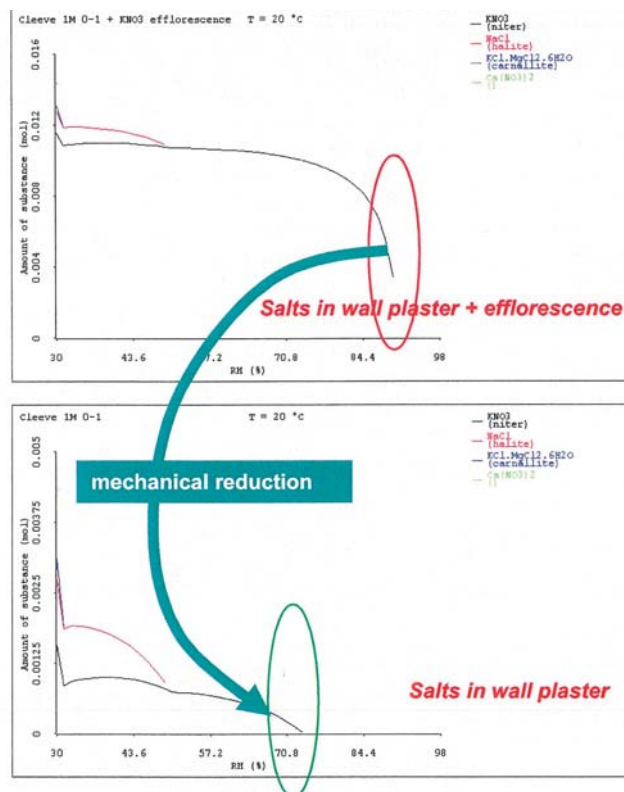
### Suché ometání solí

(Sawdy, A., *A. Heritage and L. Pel. 2008*)

Tradičním doporučením pro prevenci objektů je ometání (odsávání vysavačem) krystalů solí, které se zejména v zimním období (při poklesu Rh) objevují na povrchu zasolených materiálů. Pozitivní vliv tohoto přístupu však není zcela zřejmý. Na jedné straně dojde k redukci solí v povrchové vrstvě, na druhé straně dochází ke změně ve složení směsi solí. Tudíž dojde ke změně v chování solí. Například rozpustnost sádrovce je mnohem vyšší za přítomnosti Na Cl (Doehne, E. 2002. - Robinson, Williams, 2000)). Nebo odstraněním hygroskopických solí se zvýší rekrystalizace ostatních solí (Leitner, H. 2005).

Pokud se suché ometání solí provádí jako jeden z kroků před odsolovacím zábalením není

nutno o něm pochybovat (stejně dojde ke změně složení směsi solí). Pokud se suché ometání solí provádí, jako průběžná údržba, je nutno brát v úvahu, že jeho vliv může být jak pozitivní, tak negativní.



**obr.15** Změna termodynamického chování solí po odstranění eflorescencí (snížení relativní vlhkosti při níž soli krystalizovaly) (Sawdy, A., A. Heritage and L. Pel. 2008)

## 5.5. Rizika odsolování zábalem

### 5.5.1. Riziko dlouhodobého provlhčení

Díky dlouhodobé expozici se vodorozpustné materiály (např. pojiva maleb) mohou stát rozpustnými. Dále může docházet k botnění organických materiálů, k chemickým změnám pigmentů a pojiv. V neposlední řadě může být aktivováno bionapadení.

### 5.5.2. Výběrová extrakce solí

Z hlediska destruktivního chování jsou důležité nejen jednotlivé soli, ale i jaká je jejich směs. Zábalem vždy provedeme pouze výběrovou redukci solí. Tím ovlivníme vlastnosti jednotlivých solí. Obdobný problém může přinést i suché ometání solí (viz 5.4. Monitoring a další údržba).

### 5.5.3. Rekrystalizace v mezivrstvě pod zábalem

Existuje nebezpečí rekrystalizace solí v mezivrstvě mezi podkladem a obkladem (to je známé z růstu krystalů mezi souvrstvími omítek). Proto je rizikové, pokud nemá zábal dobrou adhezi (díky hladkému podkladu, smrštivosti zábalu, separaci..). Nutno zajistit úplný kontakt mezi zábalem a podkladem.

### 5.5.4. Redistribuce solí do hloubky

Riziko redistribuce solí do hloubky je sníženo, pokud dochází ke kontrolovanému předvlhčení podkladu a pokud není zábal dodatečně povrchově vlhčen (v exteriéru je riziko deště). Avšak do určité míry k němu dochází vždy (v oblasti, kde je advekce tak pomalá, že ji difuze převáží).

### 5.5.5. Zbytky obkladu

Zábal by měl být maximálně dočištěn. Zbytky zábalu mohou být rušivé opticky (např. bílý závoj od kaolínu), ale mohou být i např. živnou půdou pro mikroorganismy.

# EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST



## 6. Úvod

Experimentální část mojí práce proběhla v Lovecké jídelně na zámku Kratochvíle. V průběhu roku 2008 zde probíhalo restaurování v jehož rámci bylo provedeno i odsolování soklových partií. Na nich byly otestovány vytypované odsolovací směsi.

Na stěnách a klenbě Lovecké jídelny je vápenná secco malba na hladké kletované renesanční omítce. Omítka je ve spodních partiích poškozena vlhkostí a rekrystalizacemi solí. Povrch omítky je místy rozrušen, vápenná podmalba většinou chybí.

### **Průzkum vlhkosti** (Wichterlová, Z. 2010.)

Omítky soklových partií jsou poškozené rekrystalizací vodorozpustných solí (místy jsou i viditelné výkvěty solí). Vodorozpustné soli sem zanáší voda. Původ vlhkosti je z hladiny spodní vody a ze zatékající dešťové vody.

Celá budova zámku je založena na bažině, hladina spodní vody zde značně kolísá, je však vždy vysoko, zhruba ve výšce hladiny vody ve vodním příkopu kolem vily. Před započítím restaurátorských prací byly provedeny v interieru (u paty zdi) větrací kanály. Ty by měly redukovat výšku vztlínání z hladiny spodní vody.

Terén okolo vily je vodorovný, místy spíše spádovaný směrem k budově. Před rokem 2002 byla v exteriéru okolo celé paty vily vykopána drenáž, která měla redukovat zatékající (déšť, sníh) vodu.

Plošné měření povrchové vlhkosti přineslo zajímavé hypotézy. Měřili jsme kapacitním vlhkoměrem v rozponu 0,5 m (sít' 0,5 x 0,5). Měřené hodnoty jsou pouze relativní, vztažené vzájemně na sebe, neudávají žádnou absolutní hodnotu. Na obvodových zdech jsme naměřili vlhkosti vyšší, než na interierových zdech (nejvyšší hodnoty ve výšce až 2 m). Toto rozložení vlhkosti dokládá, že se jedná dominantněji o zatékající vlhkost, nikoli o původně předpokládanou vlhkost z hladiny spodní vody. Výsledky měření jsou informativní, naměřené hodnoty jsou ovlivněny obsahem hygroskopických solí, které zvyšují naměřené hodnoty u povrchu. Proto by bylo nutné tuto hypotézu potvrdit rozšířeným průzkumem s odběrem vzorků z hloubky a vlhkost stanovit gravimetricky. Pokud by byla tato hypotéza potvrzena, jednalo by se o přínosný závěr. Dosud se všechny vlhkostní problémy přízemí vily dominantně odkazovaly k extrémním podmínkám stavby na bažině. Zatékající vodu lze snáze redukovat - redukce vlhkosti z hladiny spodní vody je vždy náročnější.

Relativní vlhkost a teplota byly měřeny v Lovecké jídelně v průběhu let 2003-07 (v archívu zámku Kratochvíle). Bylo zjištěno, že zde v průběhu roku relativní vlhkost kolísá mezi 56 % a 87 %, přičemž nejčastěji se hodnoty pohybují mezi 65 % a 75 %. Teploty se pohybují mezi -5 °C a 26 °C. Vzhledem k rozsahu hodnot relativní vlhkosti a teploty, vodorozpustné soli opakovaně rekrystalizují a poškozují povrch omítky a malbu.



## 7. Použité materiály

**Arbocel BC 200**, CTS-srl, info@ctseurope.com, dodavatel - krustashop.cscstavby.cz  
- celulóza s délkou vlákna 300mikrometrů

**Ajatin Plus 10% roztok**, Profarma produkt s.r.o., www.profarma.cz

**Bentonit**, Keramost, a.s. Most, závod Obrnice  
- přírodní zeolit s příměsemi

**Buničitá vata**, Bohemia Kraft Pulp SW ECF (Frantschach Pulp a Paper Czech a.s., Štětí)  
- dlouhovláknitá celuloza lisovaná v arších

**Funcosil Entsalzungskompresse**, www.remmers.cz  
- směs bentonitu, přírodní celulózy a čistého křemičitého písku

**Fungispray super**, Qualichem, sr.o., Mělník, obchod@qualichem.cz  
- didecyldimethylamonium chlorid

**Ifest OH 50 %**, Imesta spol.s r.o., www.imesta.com  
- ester kyseliny křemičité

**Japonský papír, Kashmir, 11 g**, dodavatel – Ceiba, www.ceiba.cz

**Kaolín MKM**, Sedlecký kaolin, Božičany, www.sedlecky kaolin.cz  
- plavený přírodní kaolinit s křemenem a slídovými minerály

**Pemza Vulka Bims TypG**, Vulkatec Riebensahm GmbH, Kertz/Andernach, SRN, www.vulkatec.de  
- vyvřelá hornina s pórovitou texturou

**Písek**, zdroj neznámý, dodavatel Stavebniny Pfeffr Netolice

**Primal® SF 016**, Rohm and Haas Company, www.rohmhaas.com  
- akrylátová disperze

**Voda** z vodovodního řádu zámku Kratochvíle

**Zeolit**, Zeocem, a.s. Bystré, Slovensko, dodavatel www.kamenzeolit.cz  
- krystalický hydratovaný hlinitokřemičitan alkalických kovů a kovů alkalických zemin.

## 8. Složení zkušebních směsí

Doposud jsme na zámku Kratochvíle při odsolovacích pracích používali buď čistě buničínové zábaly, či zábaly ze směsi kaolínu, buničiny a písku.

V rámci této práce byly vytypovány další možné absorpční materiály, kromě kaolínu ještě bentonit a zeolit, jako plnivo kromě písku ještě pemza. Receptury jsem začala míchat od objemového poměru cca 1:1:4 (buničina : jíl : plnivo) u kaolínových a zeolitových obkladů. U bentonitových jsem začínala na cca 1:1:6 (buničina : jíl : plnivo). Poměry jsou objemové a proto nejsou přesné - použitá buničina je lisovaná v arších (1 arch buničiny má 340g, z 1 archu se rozmíchá s vodou 3,75 l mokré buničiny).

V průběhu práce jsem receptury upravovala. Přidávala jsem inertní složku, pokud se směs oddělovala od omítky (bentonitová směs č.1 a č.4). Recepturu na zeolitovou směs (č.3 a č.6) jsem upravila, protože se ukázalo, že námi použité zeolity mají malou tendenci ke smrštivosti, tudíž jich můžeme přidat více. Také byl zvýšen obsah dezinfekce v odsolovací směsi z cca 0,5 obj.% v prvním cyklu na dvojnásobek v druhém cyklu.



obr.15 Přípravné vzorky odsolovacích směsí

### Použité směsi :

#### Zábal č. 1 bentonit-písek

- I.cykus*      č.1(I). 2 archy buničiny + 5l bentonitu + 30l písku + 165ml Ajatinu (1:1:6)  
                  č.1(II). 2 archy buničiny + 5l bentonitu + 40l písku + 225ml Ajatinu (1:1:8)
- II.cykus*      č.1(III). 2,5 archy buničiny + 3l bentonitu + 30l písku + 395ml Ajatinu (2:1:10)  
                  č.1(IV). = č.2

#### Zábal č. 2 kaolín-písek

- I.cykus*      č.2. 2,5 archu buničiny + 7l kaolínu + 28l písku + 165ml Ajatinu (1:1:4)
- II.cykus*      č.2. 2,5 archu buničiny + 7l kaolínu + 28l písku + 375ml Ajatinu (1:1:4)

### **Zábal č. 2x2. dvouvrstvý vzorek č. 2 kaolín-písek**

*I.cyklos* č.2x2. Dvě vrstvy č.2.

*II.cyklos* č.2x2. Dvě vrstvy č.2.

### **Zábal č. 3 zeolit-písek**

*I.cyklos* č.3(I). 4 archy buničiny + 5l hrubého zeolitu + 5l jemného zeolitu + 30l písku + 175ml Ajatinu (1:1:3)

*II.cyklos* 3(II). 3,5 archu buničiny + 10l hrubého zeolitu + 10l jemného zeolitu + 30l písku + 431ml Ajatinu (1:2:3)

### **Zábal č. 4 bentonit-pemza**

*I.cyklos* č.4(I). 2 archy buničiny + 5l bentonitu + 40l pemzy + 225ml Ajatinu (1:1:8)

*II.cyklos* č.4(II). 2,5 archu buničiny + 3l bentonitu + 24l pemzy + 395ml Ajatinu (2:1:8)

č.4(III). Do směsi jsme přidali 6l pemzy na dávku (2:1:10)

č.4(IV). 1díl směsi 4(III) + 1díl směsi 2

č.4 (V) = 2

### **Zábal č. 5 kaolín-pemza**

*I.cyklos* č.5. 2,5 archu buničiny + 7l kaolinu + 28l pemzy + 165ml Ajatinu (1:1:4)

*II.cyklos* č.5. 2,5 archu buničiny + 7l kaolinu + 28l pemzy + 375ml Ajatinu (1:1:4)

### **Zábal č. 6 zeolit-pemza**

*I.cyklos* č.6(I). 4 archy buničiny + 5l hrubého zeolitu + 5l jemného zeolitu + 30l pemzy + 175ml Ajatinu (1:1:3)

*II.cyklos* č.6(II). 3,5 archu buničiny + 10l hrub. zeolitu + 10l jem. zeolitu + 30l pemzy + 431ml Ajatinu (1:2:3)

### **Zábal č. 7 bentonit-kaolin-písek**

*I.cyklos* č.7(I). 1díl směsi č.1(II)+1díl směsi č.2

*II.cyklos* č.7(II). 1díl směsi č.1(III)+ 1díl směsi č.2

### **Zábal č. 2x7. dvouvrstvý vzorek č. 7 bentonit-kaolin-písek**

*I.cyklos* č.2x7(I). Dvě vrstvy č.7(I).

*II.cyklos* č.2x7(II). Dvě vrstvy č.7(II).

### **Zábal č. 8 buničina-pemza**

*I.cyklos* č.8. 5 archů buničiny + 18l pemzy + 180ml Ajatinu (1:1)

*II.cyklos* č.8. 5 archů buničiny + 18l pemzy + 367ml Ajatinu (1:1)

### **Zábal č. 9 buničina**

*I.cyklos* č.9. 12 archů buničiny + 250ml Ajatinu

*II.cyklos* č.9. 12 archů buničiny + 450ml Ajatinu

### **Zábal č. 10 Remmers - Funcosil Entsalzungskompresse**

*I.cyklos a II.cyklos* č.10. 2 díly Remmers směsi + 1 díl vody, bez přídavku dezinfekce

## 9. Postup při míchání odsolovacích směsí

Buničina, písek i pemza byly před použitím plaveny. Při plavení byl materiál třikrát proprán ve vodě. Při plavení a míchání nebyla užita destilovaná voda, pouze pitná voda z vodovodního řádu. Materiály byly smíchány ruční míchačkou.



obr. 16,17 Plavení buničiny a míchání odsolovacích směsí

## 10. Postup při aplikaci odsolovacích zábalů

### 10.1. Výběr vhodné oblasti na porovnání odsolovacích směsí

V rámci místnosti jsem se pokoušela vytypovat takovou oblast, v níž by panovaly relativně srovnatelné podmínky - a to jak, co se týká předpokládaného obsahu solí, tak i mikroklimatu. Odsolování dvěma cykly bylo provedeno do výšky cca 2,4 m na všech stěnách. Zde srovnávané směsi byly naneseny na soklové partie vnějších stěn (severní a západní). Na soklové partie ostatních stěn byl nanesen jednotně kaolínopískový materiál č.2.

Na vnějších stěnách (severní a západní), kde byl obsah solí vyšší, byl nanesen cyklus třikrát. Třetí zábal byl proveden všude kaolínopískovým materiálem č.2. Stav solí po třetím cyklu není posuzován v rámci této práce.

Všechny vytypované zábaly byly naneseny na plochu cca 5 m<sup>2</sup>. Pouze dvouvrstvé zábaly byly naneseny na plochu pouze cca 0.8 m<sup>2</sup>.



obr. 18 Vnější západní stěna, na níž jsou nanesené zkušební zábaly

## 10.2. Příprava odsolované zdi

### 10.2.1. Odstranění větších tmelů a čištění povrchu

Zasolená soklová partie místnosti byla v minulosti na mnoha místech tmelena. Velkoplošné tmely byly odstraněny před odsolováním. Menší tmely a přeštukované oblasti byly ponechány. Předpokládali jsme, že po dlouhodobé expozici vlhkostí ze zábalů budou tmely snáz odstranitelné. To se bohužel nepotvrdilo.

Povrch omítek byl mechanicky očištěn od prachu a krystalů solí.

### 10.2.2. Zkoušky citlivosti pův. malby a možnosti její ochrany

Ochrana malby může být zvýšena buď předzpevněním, či separací. Provedli jsme zkoušky, jak předzpevnění (akryláty a etylsilikáty), tak druhé vrstvy separace (japonský papír). Separaci podstříkem z jemné buničiny *Arbocel* jsme netestovali, protože jsme ji považovali za nezpochybnitelně vhodnou.

#### Zkušební vzorky předzpevnění

1. 1 díl *Primal AC 35* + 10 dílů vody + 9 dílů lihu
2. 1 díl *Primal AC 35* + 15 dílů vody + 15 dílů lihu
3. *Imesta OH 50* nátěr
4. *Imesta OH 50* nátěr přes japonský papír
5. + 6. nepředzpevněno

#### Zkušební vzorky jednoduché a dvojité vrstvy separace

A japonský papír + podstřík z arbocelu + odsolovací směs

B podstřík z arbocelu + odsolovací směs

Všechny vzorky byly provedeny na místě a posuzovány pouze vizuálně.

U vzorku 4 oproti vzorku 3 bylo nanášení zpevňovacího prostředku mnohem rovnoměrnější, nedocházelo k rychlému odtěkání, nebylo nebezpečí mechanického stržení původní malby.

Na vzorky 3. a 4. nebyl zábal nanášen, protože u nich stále setrvala i po třech týdnech zbytková hydrofobita. Na vzorek 1. a 2. byly nanášeny zábal A, B, na vzorek 5. byl nanášen zábal A, na vzorek 6. byl nanášen zábal B. U všech zábalů A (s japonským papírem) byly menší ztráty původní barevné vrstvy. Tyto zábalové směsi měly ale tendenci oddělovat se od podkladu (od hladké kletované omítky). U vzorků předzpevněných nebyly ztráty barevných vrstev téměř žádné, u vzorků nepředzpevněných drobné.

Posuzované typy japonských papírů - *Cetex*, *Mino Tengujo*, *Kashmir*, *Tengujo*. Hodnotili jsme jejich adhezi a pevnost. Nejvhodnější se nám jevil *Kashmir 11g* - dostatečně jemný, aby přilnul k malbě a neměl tendenci se oddělovat, zároveň dostatečně pevný, aby ho zábal netrhal

V Lovecké jídelně jsou soli jedním z hlavních destruktivních faktorů. Předzpevnění může zvýšit riziko povrchové bariéry a snížit efekt odsolení. Proto jsme se rozhodli malbu nepředzpevnit, pouze v místech dochovaných fragmentů maleb použít separaci z japonského papíru. I tu jsme ale nakonec nepoužili (viz 10.3.3. Separace).

## 10.3. Odsolovací zábal

### 10.3.1. Předvlhčení

Před nanesením separace (v obou cyklech) byly zdi důkladně provlhčeny vodou. Před nanesením odsolovací směsi bylo nutno již nanesenou separaci opět vlhčit, tudíž došlo ještě k druhému předvlhčení.

### 10.3.2. Dezinfekce

V průběhu celé akce jsme se potýkali s aktivovanými plísněmi. Z důvodu výskytu plísní na odsolovacím zábalu I. cyklu byl na celou odsolovanou plochu nastříkán biocidní prostředek *Fungispray super* (po navlhčení před II. cyklem). Zároveň byla v separaci II. cyklu trojnásobně zvýšena koncentrace dezinfekčního prostředku *Ajatin* z 0,5 obj.% na 1,5 obj.%. I v odsolovací směsi byla zvýšena koncentrace dvojnásobně z cca 0,5 obj.% na cca 1 obj.%.

### 10.3.3. Separace

Jako separační vrstva mezi malbu a odsolovací směs byl použit podstřík z jemné buničiny s dezinfekcí (30 l voda + 150 ml *Ajatin* + 15 l *Arbocel BC 200*), který byl aplikován tlakovým omítacím přístrojem. V druhém a třetím zábalu byla trojnásobně zvýšena koncentrace dezinfekce (30 l voda + 450 ml *Ajatin* + 15 l *Arbocel BC 200*). Hlubší spáry zdiva a další hlubší škvíry, odkud by mohlo být obtížné stříkaný odsolovací zábal odstranit, byly ucpány buničinou rozmáčenou ve vodě.

V počáteční fázi jsme na oblastech s fragmenty maleb použili dvojí separaci - buničinový podstřík přes japonský papír. Tak, jak bylo vybráno na základě zkoušek. Japonský papír však malbu separoval tolik, že zábal na malbě nedržel a vždy do druhého dne odpadnul. Proto jsme se dodatečně rozhodli, že v tomto případě, kdy je omítka hladká a v soklových partiích se dochovala fragmentální, relativně dost voděodolná malba, budeme využívat pouze jednoduchou separaci buničinovou mezivrstvou.



obr. 19,20,21 Nanášení separačního podstříku a odsolovací zábal na separaci

#### 10.3.4. Odsolovací směs

Bylo naneseno deset základních typů zábalů, s tím, že některé bylo nutno během práce modifikovat - každá změna je provázena doplněním římskou číslicí (podrobně viz 8. Složení zkušebních směsí).

- č. 1-3 (bentonitový, kaolínový a zeolitový) mícháno s pískem
- č. 4-6 (bentonitový, kaolínový a zeolitový) mícháno s pemzou
- č. 7 směsný kaolín, bentonit, písek
- č. 8 pemza a buničina
- č. 9 čistá buničina
- č. 10 Funcosil Entsalzungskomprese

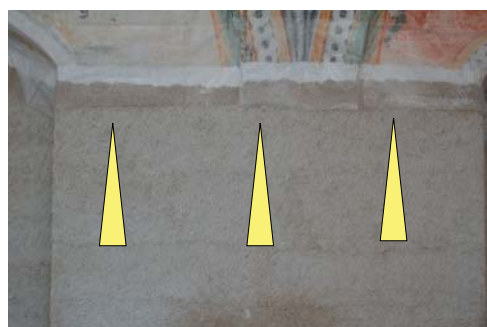
#### 10.3.5. Způsob nanesení

Separace jemnou buničinou (*Arbocel BC 200*) byla nanesena stříkácí omítací pistolí připojenou na kompresor. Návazně na ni byla nanášena odsolovací směs. Těsně před nanášením odsolovací směsi bylo nutné separaci provlhčit. Jinak se separace při aplikaci odsolovací směsi oddělovala od podkladu (lepila se na materiál v ruce).

Zábal byl nanášen ručně.

#### 10.3.6. Ošetření v průběhu procesu

Zábaly nebyly nijak ošetřovány - ani vlhčením, ani zakryty. Pouze okraje zábalu byly překryty pásem plastové fólie.



obr. 22 Pás folie natažený přes okraj zábalu zamezuje vysychání a přesunu solí mimo zábal

#### 10.3.7. Čas působení

Zábaly byly odstraněny cca po 1 měsíci. Zábaly byly na základě vizuálního posouzení částečně doschlé, částečně vlhké.

#### 10.3.8. Odstraňování zábalů

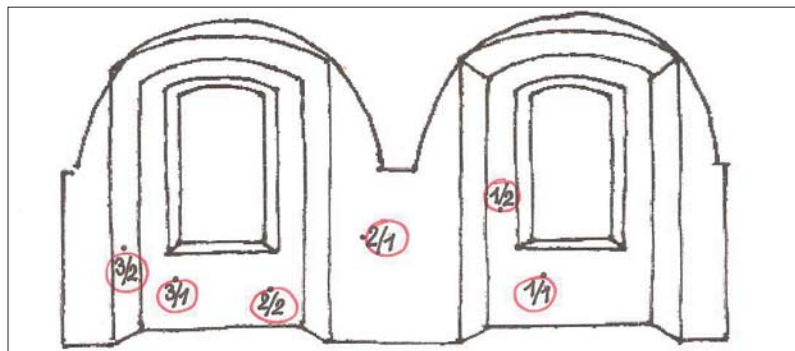
Sundávání zábalů jsme prováděli špachtlem bez ostrých hran. Zbytky separace jsme ometli štětcem.

## 11. Odběr vzorků

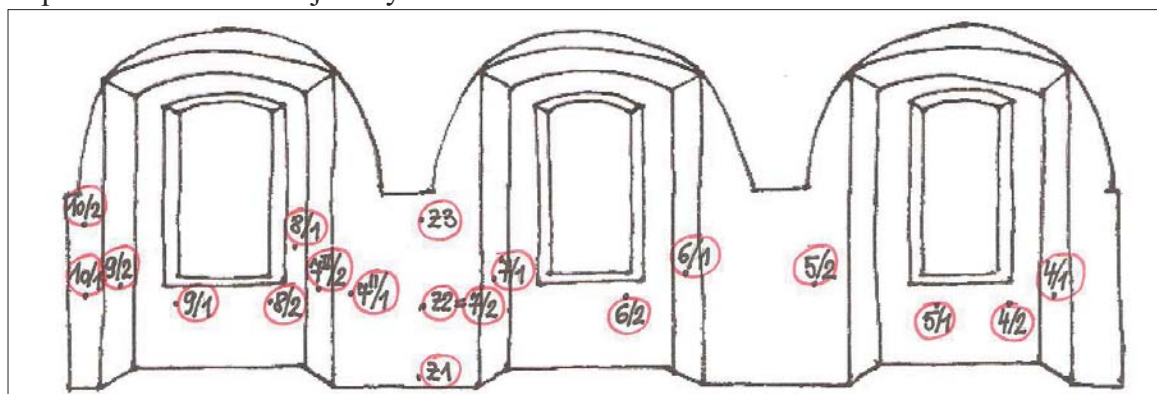
### 11.1. Odběr vzorků omítek

Před odsolováním a po II. cyklu byly odebrány vzorky omítek na porovnání účinnosti jednotlivých odsolovacích směsí. Tyto vzorky byly odebrány z oblasti největšího zasolení 60-120 cm nad zemí. Lokalizace odebraných vzorků viz obr. 23. Soupis vzorků s přesnějšími údaji o místě odběru jsou v příloze 3.

Severní stěna Lovecké jídelny



Západní stěna Lovecké jídelny



obr. 23 Lokalizace odebraných vzorků

### 11.2. Odběr vzorků jednotlivých materiálů a odsolovacích směsí

U odsolovacích směsí jsem analyzovala jednotlivé materiály. Materiály, které jsme plavili jsem analyzovala i před i po plavení, tak, aby mohl být posouzen efekt plavení.

Dále jsem analyzovala odsolovací směsi po I. i po II. cyklu, tak, aby bylo možno posoudit efekt jednotlivých cyklů. Vzorky zábalů byly odebrány z obdobné výšky, jako vzorky omítek (60 a 120 cm od země) - to znamená z oblasti největšího poškození omítek.



## 12. Použité zkušební metody

### 12.1. Metoda posouzení vlastností odsolovacích směsí

Byly posuzovány tyto vlastnosti - kvalita nanášení a odstranění a obsah volné vody. Nanášení a odstranění materiálu zábalu musí být v přijatelné míře snadné. Volná voda v zábalu je nevhodná - stéká působením gravitace do spodní části zábalu a tak dochází k nerovnoměrnému zvlhčování a přesunu solí.

Vzhledem ke speciálnímu významu byla zvlášť posuzována přilnavost odsolovací směsi k omítce v průběhu od nanesení až po doschnutí.

Vlastnosti byly posuzovány pouze vizuálně. Přilnavost k podkladu byla doplňkově hodnocena také poklepem na povrch zábalu.

### 12.2. Metoda stanovení obsahu vodorozpustných solí

Obsah vodorozpustných solí byl stanoven za použití metody UV/VIS spektrofotometrie. Definované hmotnosti vzorků omítek byly vyluhovány v daném objemu destilované vody (zhruba v desetinásobku hmotnosti luhovaného vzorku). Výluhy byly po 24 hodinách přefiltrovány. V kyvetách k nim byla přidána indikační činidla. U takto připravených vzorků byla ve spektrofotometru (při určitých vlnových délkách) změřena hodnota absorbance. Z naměřené hodnoty absorbance pak lze spočítat koncentraci vodorozpustných anionů.

#### Vlnové délky a indikační roztoky jednotlivých analyzovaných solí

stanovený anion	l (nm)	indikační roztok
sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	345	0,5 % BaCl <sub>2</sub>
dusičnany (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	525	Illoswayovo činidlo (roztok kys. sulfanilové + a -naftylaminu v kys. octové)
chloridy (Cl <sup>-</sup> )	456	Hg(SCN) <sub>2</sub> + Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·9H <sub>2</sub> O v HNO <sub>3</sub>

## 13. Výsledky experimentů

### 13.1. Posouzení vlastností odsolovacích směsí

#### 13.1.1. Nanášení

Odsolovací směsi byly naneseny rukama, pouze zábal č.1 a č.10 byl nanášen špachtlí a zednickou lžící.

Kvality nanášení se mírně liší. Obecně lepší plasticitu a trochu snazší nanášení mají bentonitové zábaly (č.1, č.4, č.10), pak směsné kaolínobentonitové (č.7, č. 2x7) a kaolínové (č.2, č.5, č.2x2), na posledním místě zeolitové (č.3 a č.6). Je nutno, ale podotknout, že by se to patrně změnilo, pokud bychom měli zeolit srovnatelně jemné frakce, jako bentonit, či kaolín. Ještě o trochu hůř, než zeolitový zábal, jde nanášet buničinový. Nejhůř se nanáší buničinovopemzový zábal.

Rozdíly v nanášení jednotlivých zábalů nejsou takové, že by tím byl nějaký z nich hendikepován.

#### 13.1.2. Odstraňování

Nejlépe šly sundat zábaly s tendencí k oddělování (zejména bentonitové). Oba dvouvrstvé zábaly (č.2x2, č.2x7) lze odstranit hůř, protože už vytvářejí soudržnou, pevnou, samonosnou hmotu. Ostatní zábaly jdou odstranit relativně dobře. Ani zde není rozdíl tak markantní, že by bylo nutno nějaký zábal zatratit.

#### 13.1.3. Obsah volné vody

Bentonit, jako jediný z použitých jílových materiálů vyžaduje vyšší množství záměsové vody, která se i po ustátí v podstatě neodděluje. Kaolínové a zeolitové zábaly se usazují částečně. U zábalů z buničiny, bez jílu (č.8, č.9) se voda rychle odděluje od buničiny.

### 13.2. Posouzení přilnavosti odsolovacích směsí k podkladu

(přesnější popis je v kapitole 13.3)

Zcela nepoužitelně se oddělují bentonitové zábaly č.1, č.4 a č.7, vyjma komerčně vyráběné směsi č.10. Příčinou oddělování je smrštivost. Bentonit má nejvyšší smrštivost ze všech testovaných jílu (kaolín má výrazně menší a zeolit nemá téměř žádnou).

Tendence k oddělování prudce vzrostla u druhého cyklu, kdy se oddělují i tyto zábaly - č.2, č.4(I), č.9, č.10.

Zábaly, které se v ani jednom cyklu neoddělují jsou tyto zábaly - č.2x2, č.3, č.5, č.6, č.2x7, č.8. U dvouvrstvých zábalů může být výsledek ovlivněn tím, že byly naneseny pouze na mnohem menších plochách (cca 0,8 m<sup>2</sup>).

### **13.3. Stanovení obsahu vodorozpustných solí**

V následujících grafech jsou uvedeny hodnoty vodorozpustných solí v analyzovaných vzorcích. Dále je tam uvedeno, kterými zábaly se v místě odebraného vzorku odsolovalo. A pro přehlednost je tam i uvedeno, zda se zábal odděloval od podkladu, protože to zásadně kvalitu odsolení ovlivňuje.

Na závěr jsou grafy s výsledky analýz jednotlivých materiálů a zábalů.

## Zábal č. 1 bentonit-písek

### Odebrané vzorky a použité směsi:

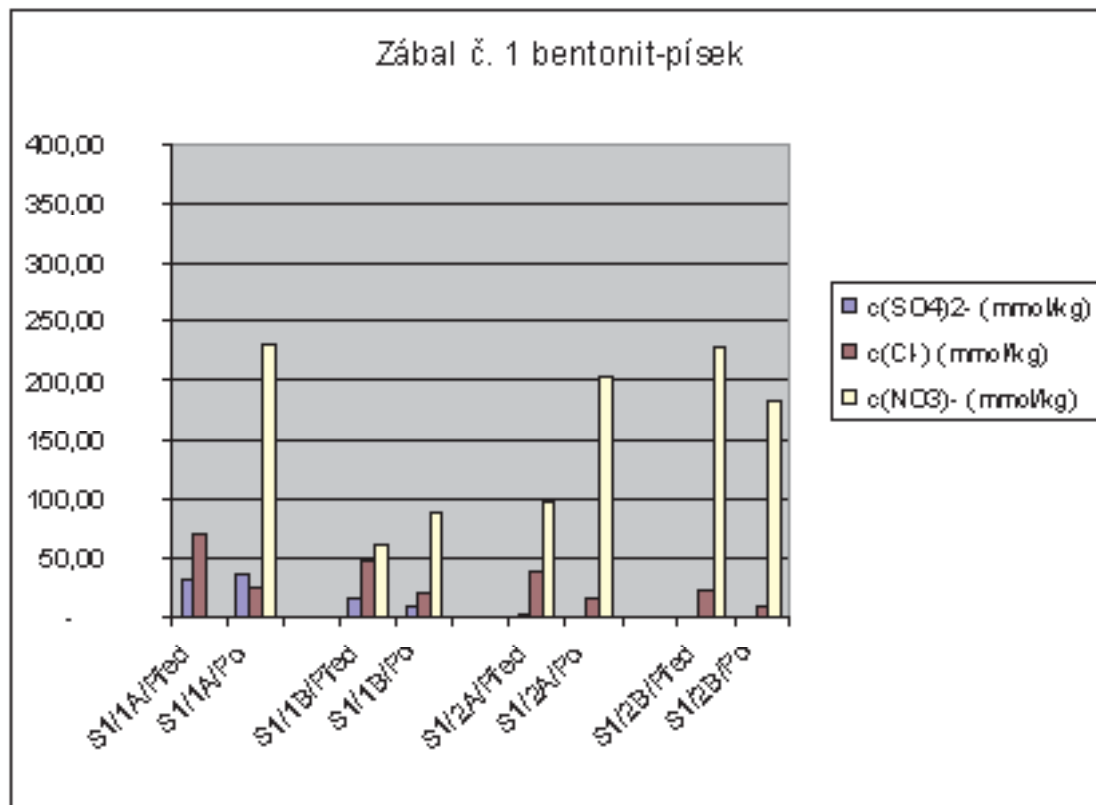
Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cyklus	Vzorek po II.cyklu
S1/1 AB před	1(II)	2	S1/1 ABpo
S1/2 AB před	1(II)	2	S1/2 AB po

### Receptury jednotlivých směsí:

I.cyklus	č.1(I). 2 archy buničiny + 5l bentonitu + 30l písku + 165ml Ajatinu (1:1:6)
	č.1(II). 2 archy buničiny + 5l bentonitu + 40l písku + 225ml Ajatinu (1:1:8)
II.cyklus	č.1(III). 2,5 archy buničiny + 3l bentonitu + 30l písku + 395ml Ajatinu (2:1:10)
	č.1(IV). = č.2

### Oddělování od podkladu:

Zábal 1(I) se 3.den odděluje od podkladu a praská, proto byla nanesena druhá varianta 1(II). I ta se na okrajích odděluje od podkladu. Na druhý cyklus mícháme variantu 1(III), kde je ještě vyšší podíl písku a buničiny. Vzorek se opět oddělil. Vzdáváme boj s bentonitem a nanášíme zábal č.2 z kaolínu.



V podstatě ve všech vzorcích stoupl po zábalu obsah dusičnanů. Problém patrně souvisí s tím, že se zábal odděloval a podklad byl opakovaně vlhčen. U žádné jiné směsi není výsledek tak špatný. Zajímavé je, že obsah chloridů všude mírně klesl.

## Zábal č. 2 kaolín-písek

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklu	Směs na II.cyklu	Vzorek po II.cyklu
S2/1	2	2	S2/1
S2/2	2	2	S2/2

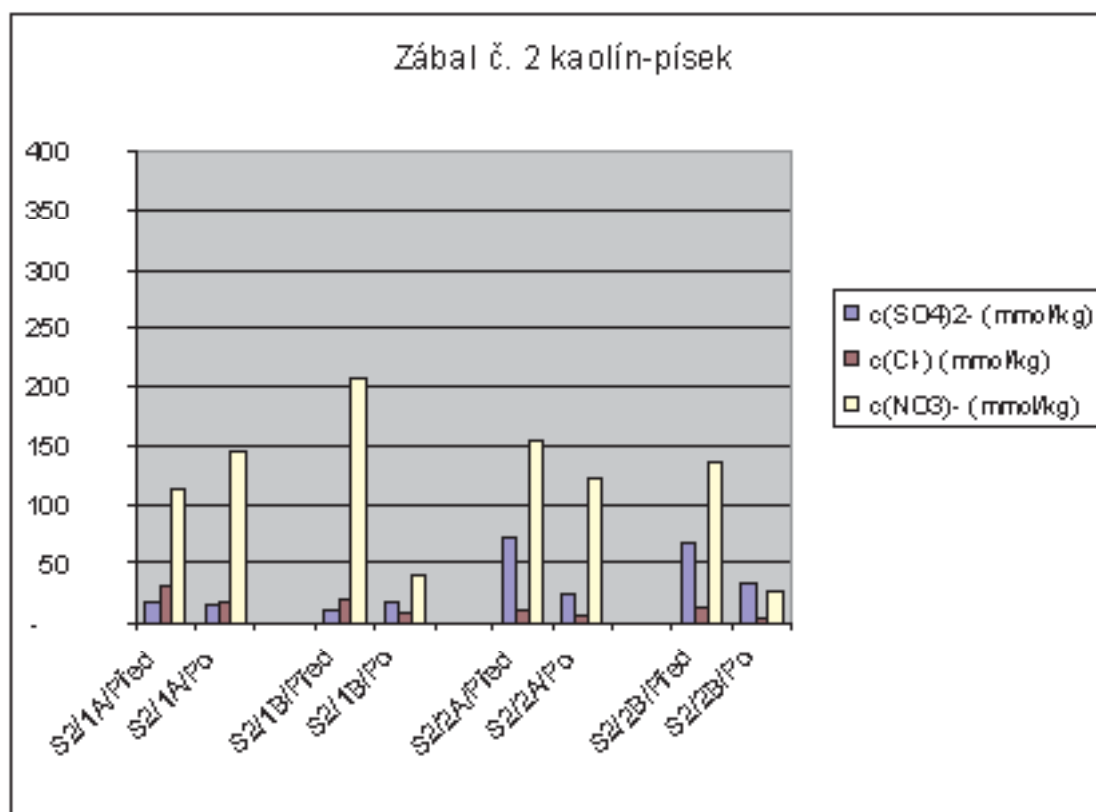
### Receptury jednotlivých směsí:

I.cyklu *č.2.* 2,5 archu buničiny + 7l kaolínu + 28l písku + 165ml Ajatinu (1:1:4)

II.cyklu *č.2.* 2,5 archu buničiny + 7l kaolínu + 28l písku + 375ml Ajatinu (1:1:4)

### Oddělování od podkladu:

Zcela vyjimečně se při schnutí odděluje od podkladu. Ve třetím cyklu se odděluje častěji, i když nanášeno postupně, v pruzích nad sebou.



Ve všech vzorcích došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí. Pouze v povrchovém vzorku 1A mírně stoupl obsah dusičnanů.

## Zábal č. 2x2. dvouvrstvý vzorek č. 2 kaolín-písek

(směs nanesená v silné vrstvě složené ze dvou standardních vrstev - tloušťka celkem cca 3 cm)

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cyklus	Vzorek po II.cyklu
S7II/2 AB před	2x2	2x2	S7II/2 AB po

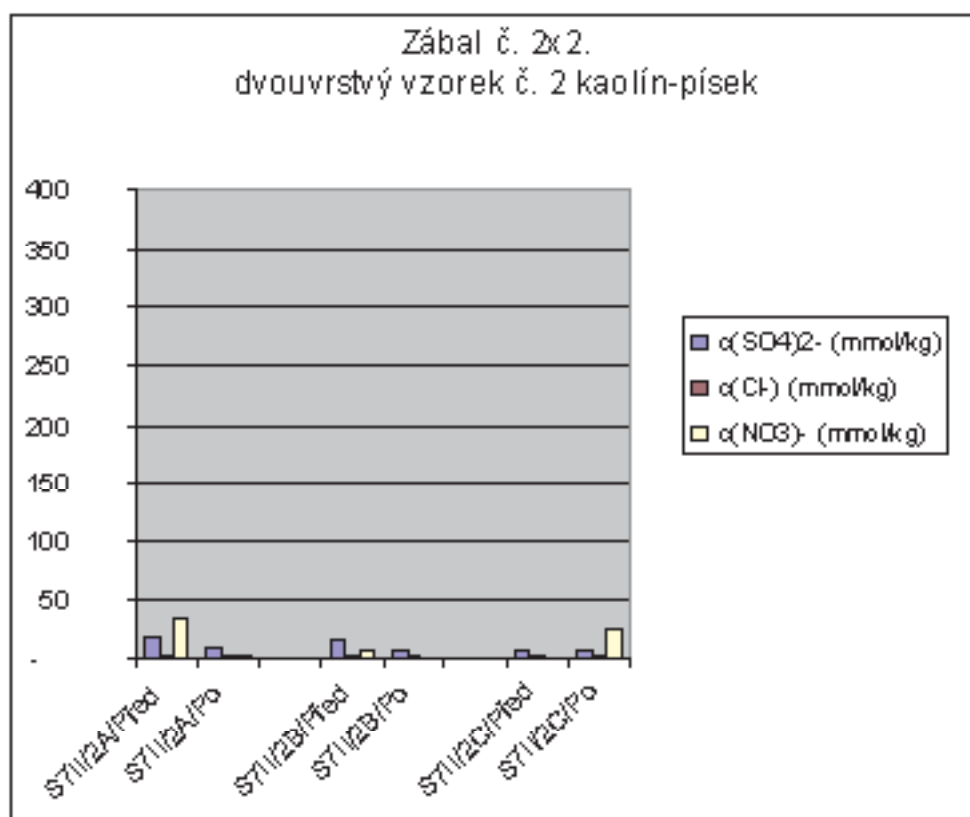
### Receptury jednotlivých směsí:

I.cyklus      č.2x2. Dvě vrstvy č.2.

II.cyklus      č.2x2. Dvě vrstvy č.2.

### Oddělování od podkladu:

Ani v jednom cyklu se zábal neodděloval od podkladu.



Ve vzorcích A,B došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí. Ve vzorku C došlo k mírnému nárůstu dusičnanů.

## Zábal č. 3 zeolit-písek

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cyklu	Vzorek po II.cyklu
S3/1 AB před	3(I)	3(II)	S3/1 AB po
S3/2 ABC před	3(I)	3(II)	S3/2 ABC po

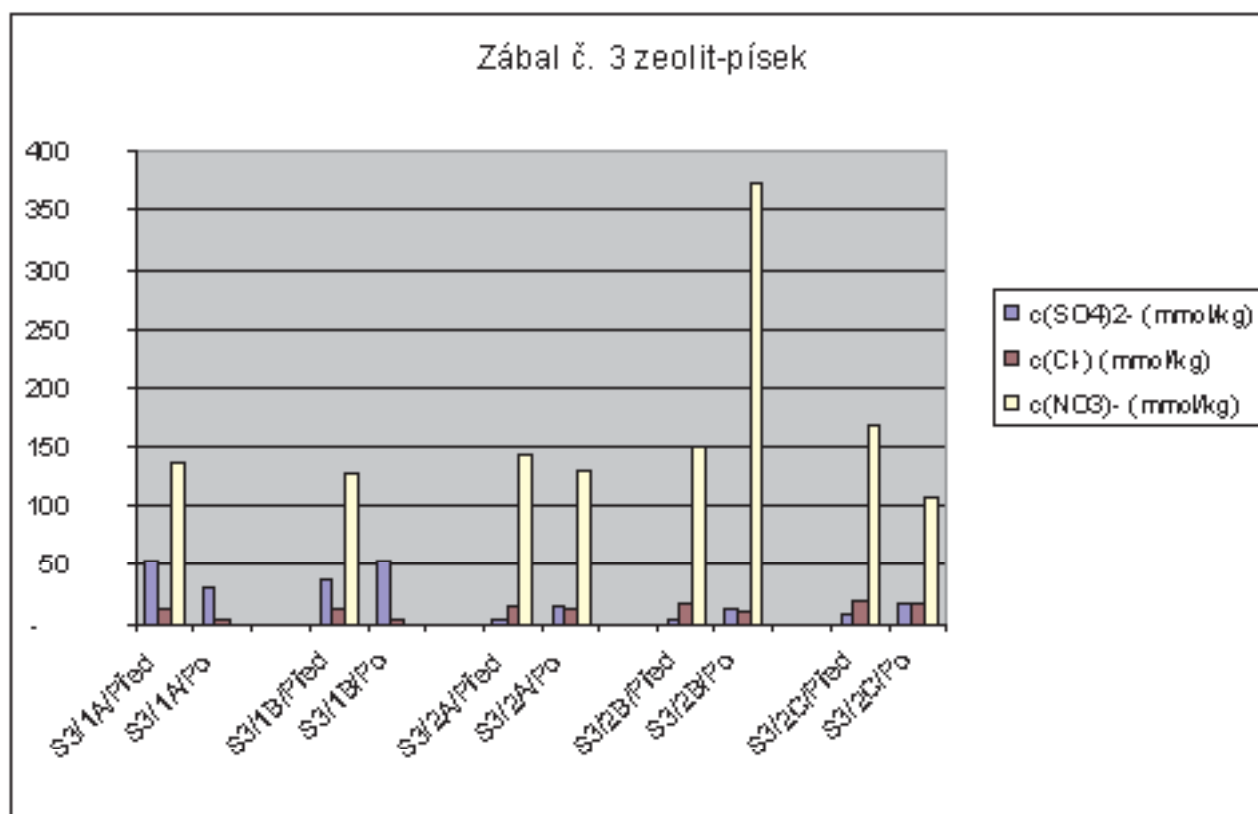
### Receptury jednotlivých směrů:

I.cyklu **č.3(I).** 4 archy buničiny + 5l hrubého zeolitu + 5l jemného zeolitu + 30l písku + 175ml Ajatinu (1:1:3)

II.cyklu **3(II).** 3,5 archu buničiny + 10l hrubého zeolitu + 10l jemného zeolitu + 30l písku + 431ml Ajatinu (1:2:3)

### Oddělování od podkladu:

Ani v jednom cyklu se zábal neodděloval od podkladu.



Ve všech vzorcích došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí. Pouze ve vzorku 2B došlo k rapidnímu nárůstu dusičnanů.

## Zábal č. 4 bentonit-pemza

### Odebrané vzorky a použité směsi:

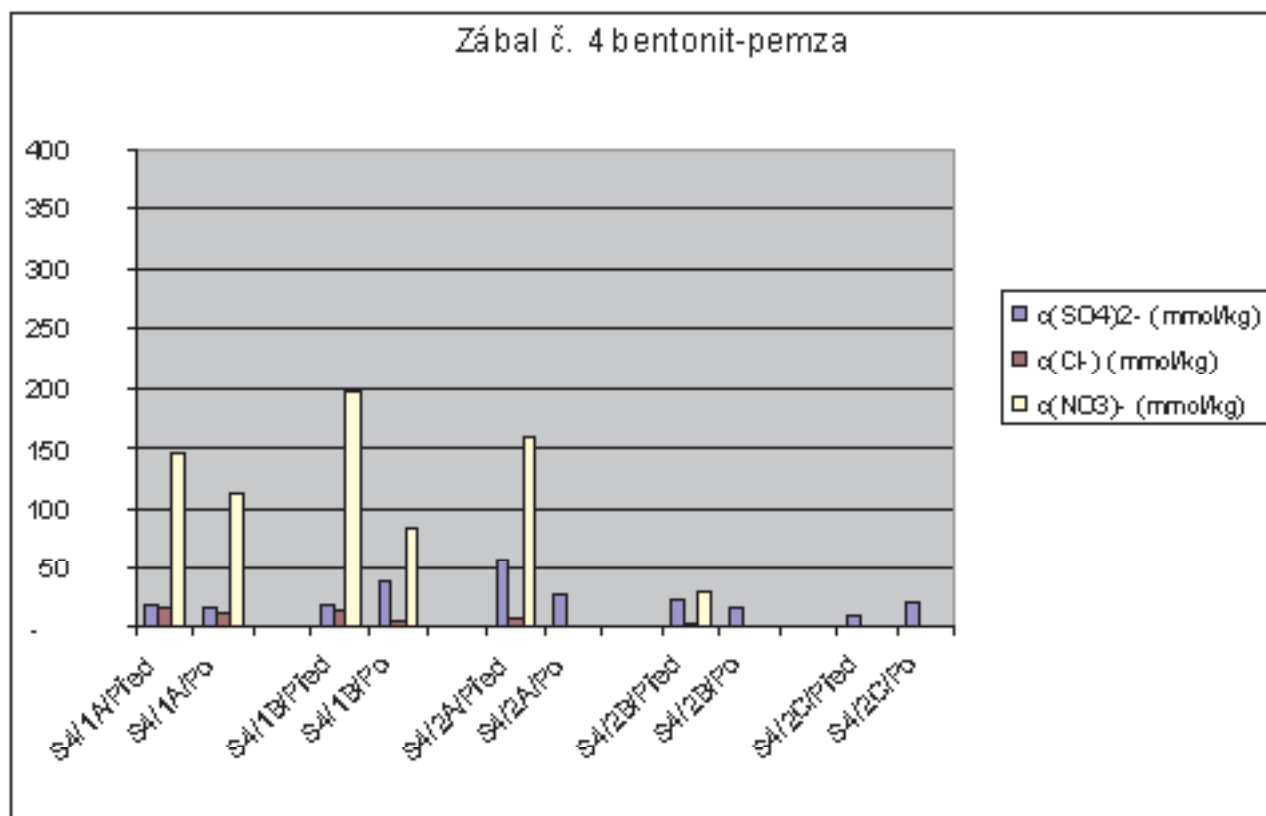
Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cykus	Vzorek po II.cyklu
S4/1 AB před	4(I)	4(III)	S4/1 AB po
S4/2 ABC před	4(I)	4(IV)	S4/2 ABC po

### Receptury jednotlivých směsí:

- I.cykus      **č.4(I).** 2 archy buničiny + 5l bentonitu + 40l pemzy + 225ml Ajatinu (1:1:8)  
II.cykus     **č.4(II).** 2,5 archu buničiny + 3l bentonitu + 24l pemzy + 395ml Ajatinu (2:1:8)  
               **č.4(III).** Do směsi jsme přidali 6l pemzy na dávku (2:1:10)  
               **č.4(IV).** 1díl směsi 4(III) + 1díl směsi 2  
               **č.4 (V) = 2**

### Oddělování od podkladu:

Směs v I.cyklu dobře držela. Zvýšením množství buničiny jsme pouze zamýšleli po-  
jistit přilnavost, avšak situace se zhoršila a zábal druhý den odpadl. Vycházeli jsme z mylného  
předpokladu, že se buničina nesmršťuje. Směs č.4(III) odpadla. Směs č.4(IV) zůstala držet pouze  
ve spodní části. Situaci vzdáváme a na horní část odsolované oblasti nanášíme směs č.2.



Ve všech vzorcích došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí.



## Zábal č. 5 kaolín-pemza

### Odebrané vzorky a použité směsi:

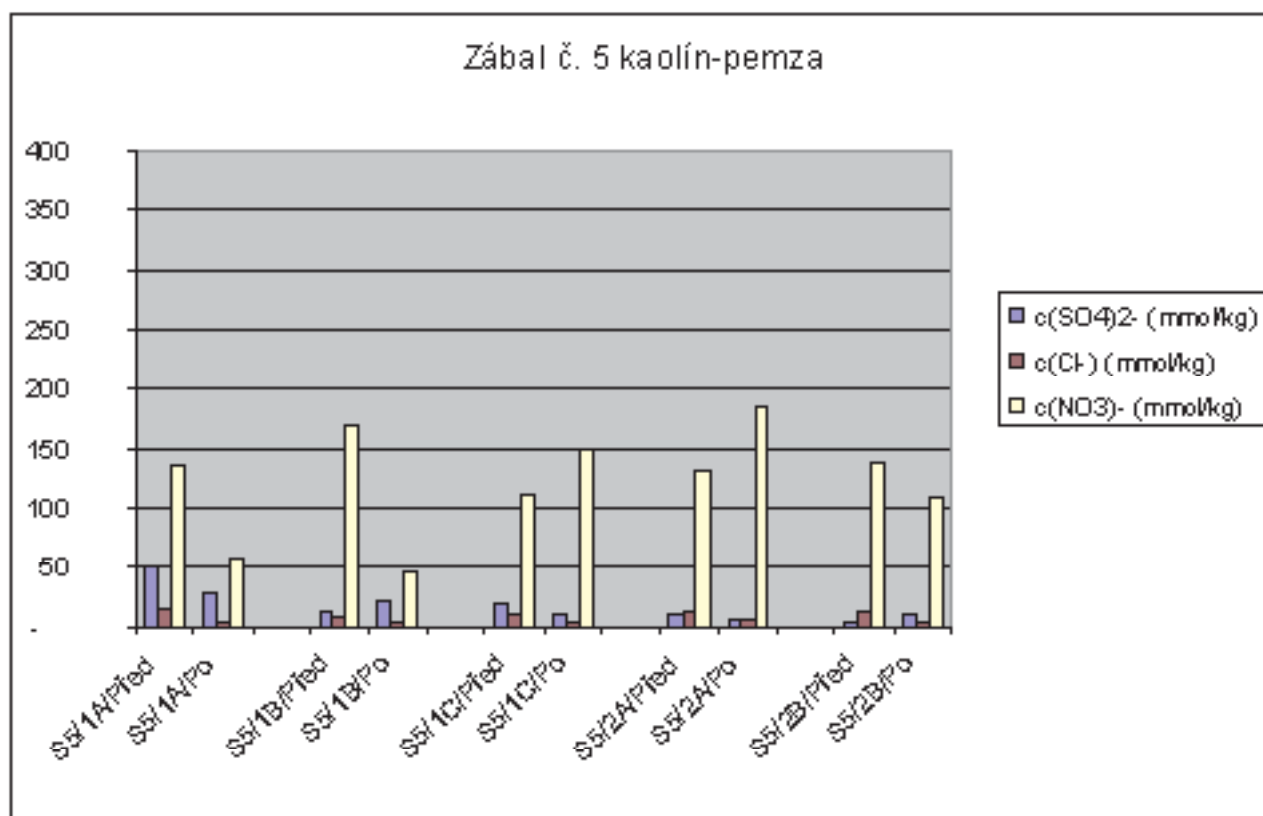
Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cyklu	Vzorek po II.cyklu
S5/1 ABC před	5	5	S5/1 ABC po
S5/2 AB před	5	5	S5/2 AB po

### Receptury jednotlivých směsí:

I.cyklu	č.5. 2,5 archu buničiny + 7l kaolinu + 28l pemzy + 165ml Ajatinu (1:1:4)
II.cyklu	č.5. 2,5 archu buničiny + 7l kaolinu + 28l pemzy + 375ml Ajatinu (1:1:4)

### Oddělování od podkladu:

Ani v jednom cyklu se neodděloval od podkladu.



Ve vzorcích 1A, 1B a 2B došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí. V ostatních vzorcích došlo ke zvýšení obsahu vodorozpustných solí.

## Zábal č. 6 zeolit-pemza

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cyklus	Vzorek po II.cyklu
S6/1 AB před	6(I)	6(II)	S6/1 AB po
S6/2 AB před	6(I)	6(II)	S6/2 AB po

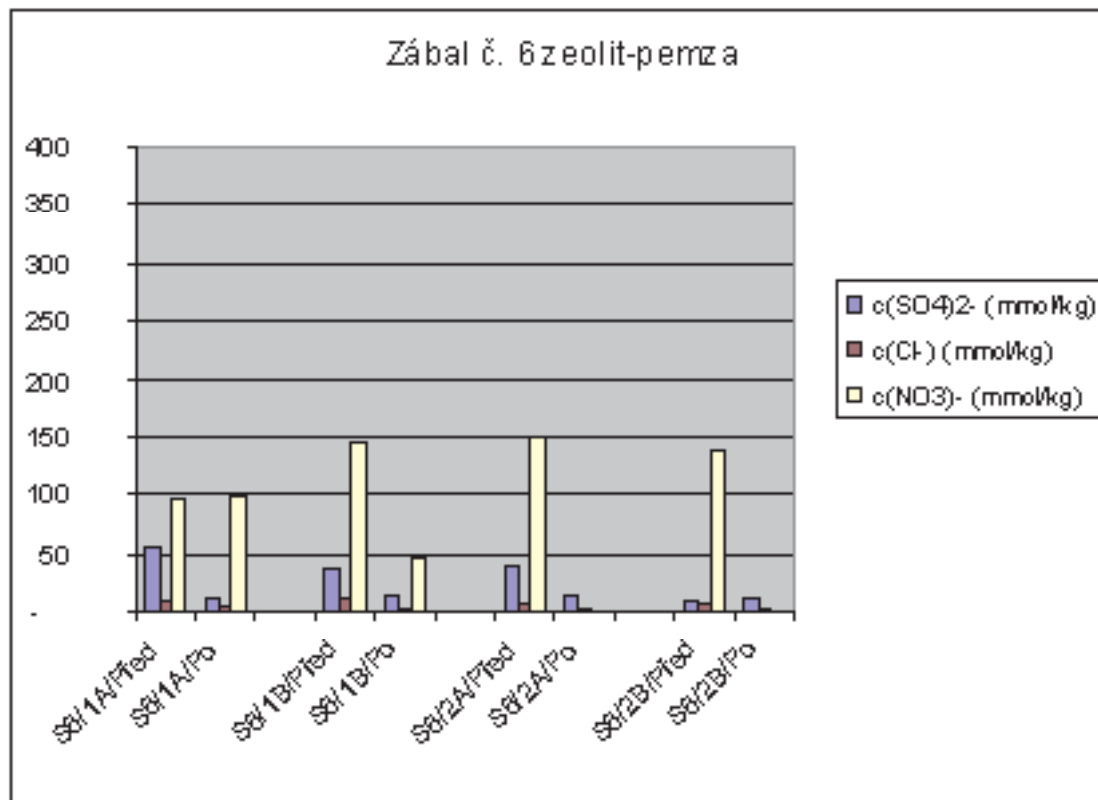
### Receptury jednotlivých směsí:

I.cyklus **č.6(I).** 4 archy buničiny + 5l hrubého zeolitu + 5l jemného zeolitu + 30l pemzy + 175ml Ajatinu (1:1:3)

II.cyklus **č.6(II).** 3,5 archu buničiny + 10l hrub. zeolitu + 10l jem. zeolitu + 30l pemzy + 431ml Ajatinu (1:2:3)

### Oddělování od podkladu:

Ani v jednom cyklu se zábal neodděloval od podkladu.



Ve všech vzorcích došlo ke snížení celkového obsahu vodorozpustných solí. U vzorku 1 jsou rozdíly menší, u vzorku 2 jsou rozdíly markantnější.

## Zábal č. 7 bentonit-kaolin-písek

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklus		Směs na II.cykus	Vzorek po II.cyklu
S7/1	7(I)	0	7(II)	S7/1
Z1	7(I)	Z1	7(II)	Z1
S7/2=Z2	7(I)	Z2	7(II)	Z2
Z3	7(I)	Z3	7(II)	Z3
S7II/1	2x7(I)	0	2x7(II)	S7II/1

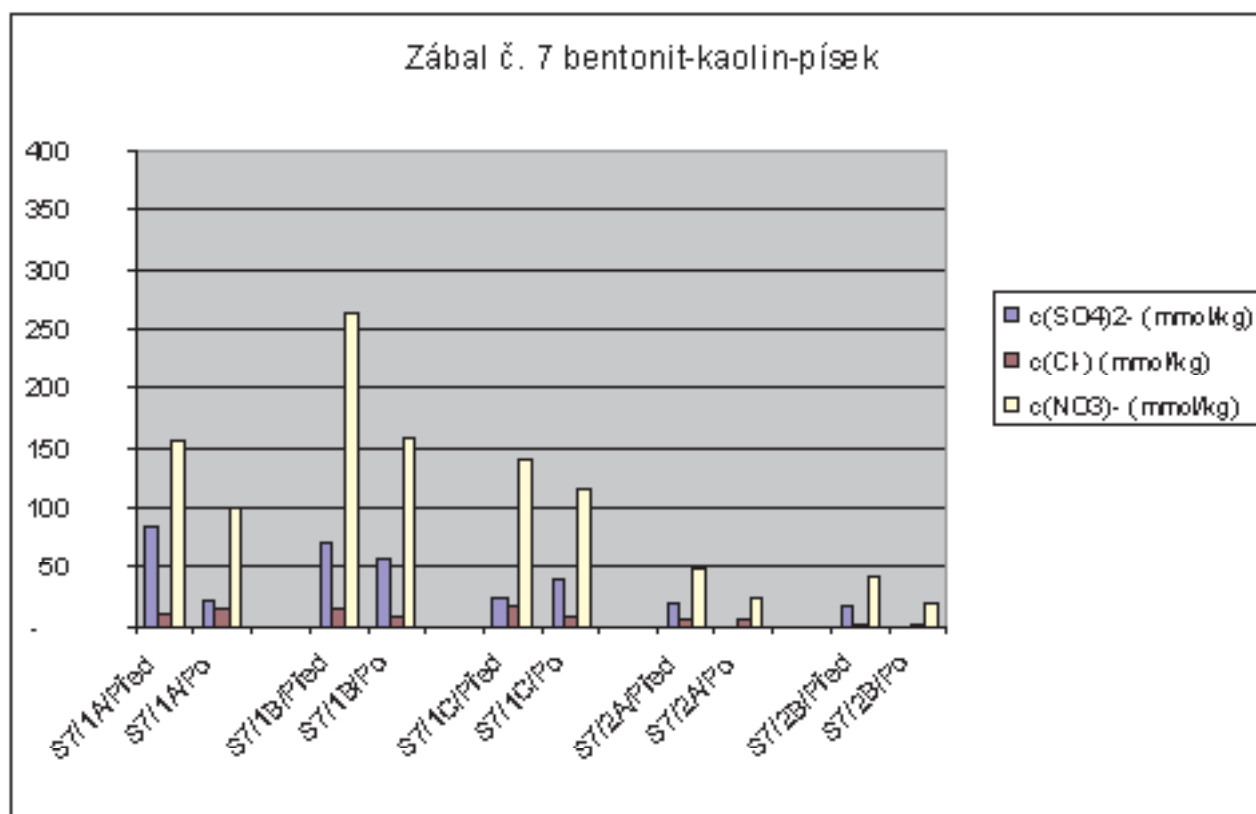
### Receptury jednotlivých směsí:

I.cykus č.7(I). 1díl směsi č.1(II)+1díl směsi č.2

II.cykus č.7(II). 1díl směsi č.1(III)+ 1díl směsi č.2

### Oddělování od podkladu:

Místy se při schnutí v obou cyklech zábal odděloval od podkladu.



Ve všech vzorcích došlo k mírnému snížení celkového obsahu vodorozpustných solí.

## Zábal č. 2x7. dvouvrstvý vzorek č. 7 bentonit-kaolin-písek

(směs nanesená v silné vrstvě složené ze dvou standardních vrstev - tloušťka celkem cca 2 cm)

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cyklus	Vzorek po II.cyklu
S7II/1 AB před	2x7(I)	2x7(II)	S7II/1 AB po

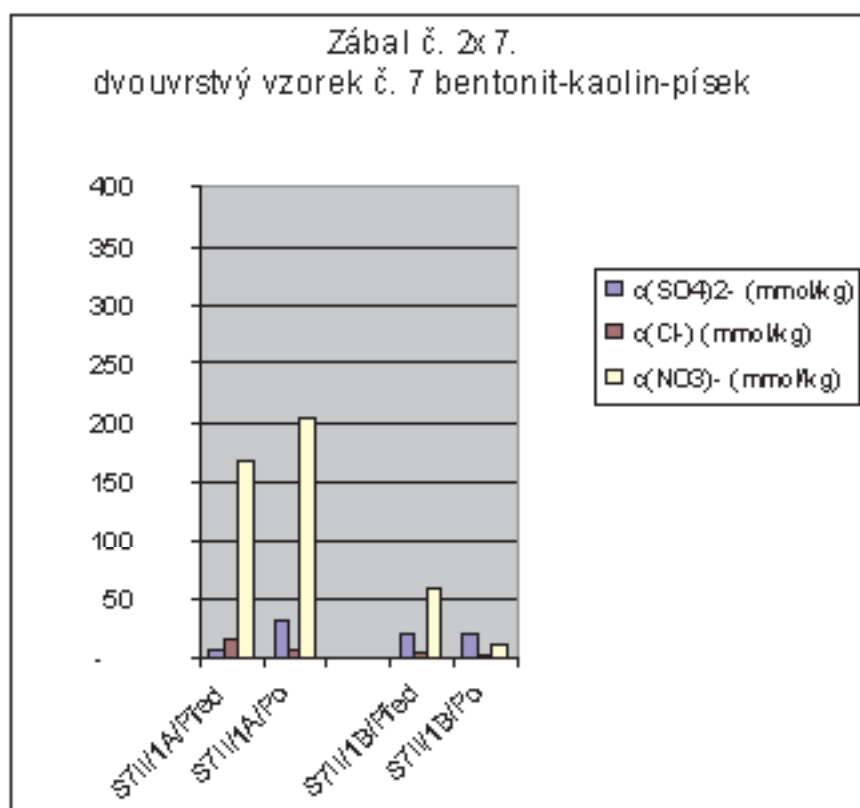
### Receptury jednotlivých směsí:

I.cyklus      *č.2x7(I). Dvě vrstvy č.7(I).*

II.cyklus     *č.2x7(II). Dvě vrstvy č.7(II).*

### Oddělování od podkladu:

Ani v jednom cyklu se zábal neodděloval od podkladu.



U povrchového vzorku A došlo k mírnému zvýšení a u vzorku B došlo k mírnému snížení obsahu vodorozpustných solí.

## Zábal č. 8 buničina-pemza

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cyklus	Vzorek po II.cyklu
S8/1 ABC před	8	8	S8/1 ABC po
S8/2 ABC před	8	8	S8/2 ABC po

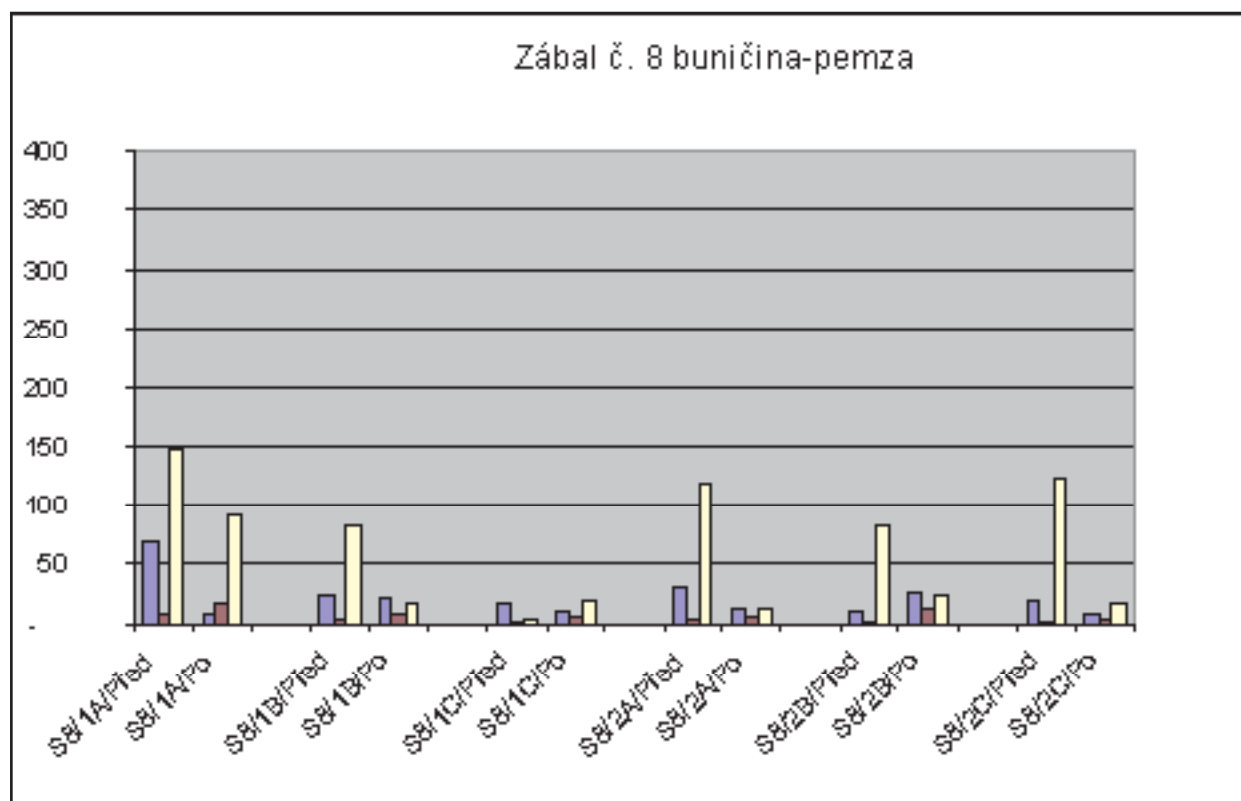
### Receptury jednotlivých směsí:

I.cyklus      č.8. 5 archů buničiny + 18l pemzy + 180ml Ajatinu (1:1)

II.cyklus     č.8. 5 archů buničiny + 18l pemzy + 367ml Ajatinu (1:1)

### Oddělování od podkladu:

Ani v jednom cyklu se zábal neodděloval od podkladu.



Ve všech vzorcích došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí. Pouze u hloubkového vzorku C v místě 1 setrval celkový stav vodorozpustných solí v podstatě nezměněn.

## Zábal č. 9 buničina

### Odebrané vzorky a použité směsi:

Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cykus	Vzorek po II.cyklu
S9/1 AB před	9	9	S9/1 AB po
S9/2 AB před	9	9	S9/2 AB po

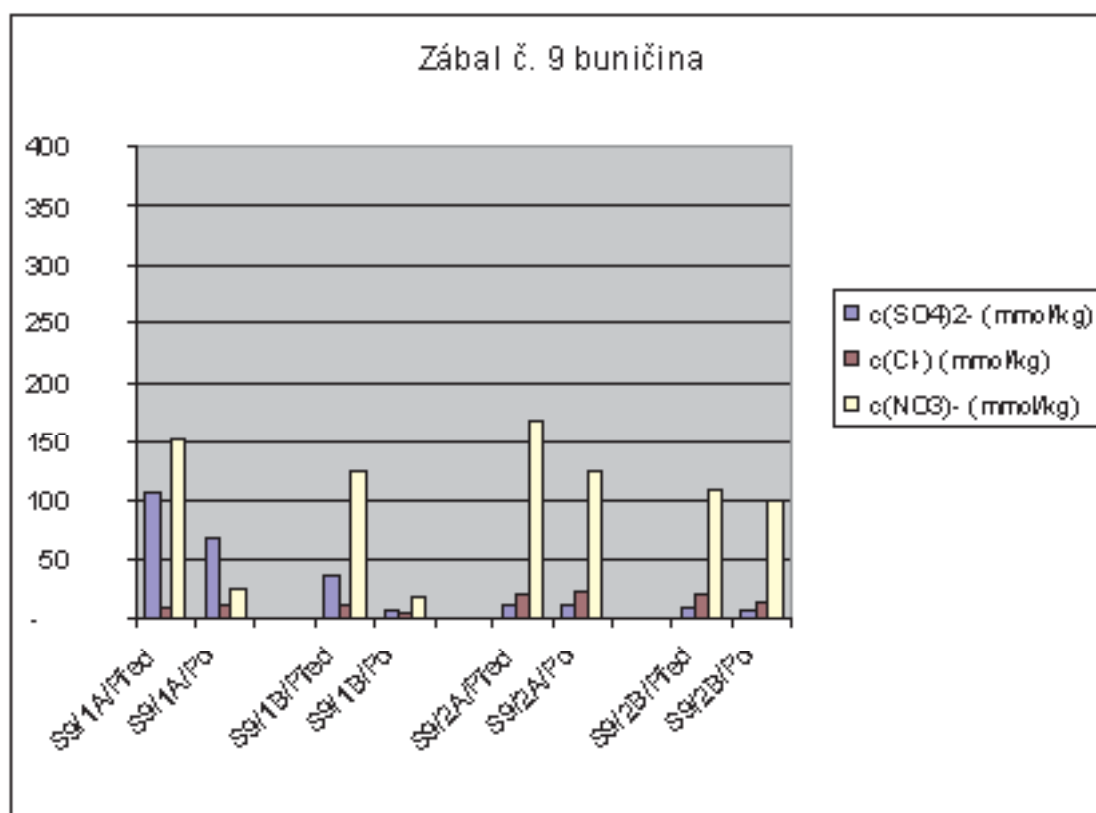
### Receptury jednotlivých směsí:

I.cykus      č.9. 12 archů buničiny + 250ml Ajatinu

II.cykus     č.9. 12 archů buničiny + 450ml Ajatinu

### Oddělování od podkladu:

Při II.cyklu se zábal odděluje od podkladu.



Ve všech vzorcích došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí.

## Zábal č. 10 Remmers - Funcosil Entsalzungskomprsse

### Odebrané vzorky a použité směsi:

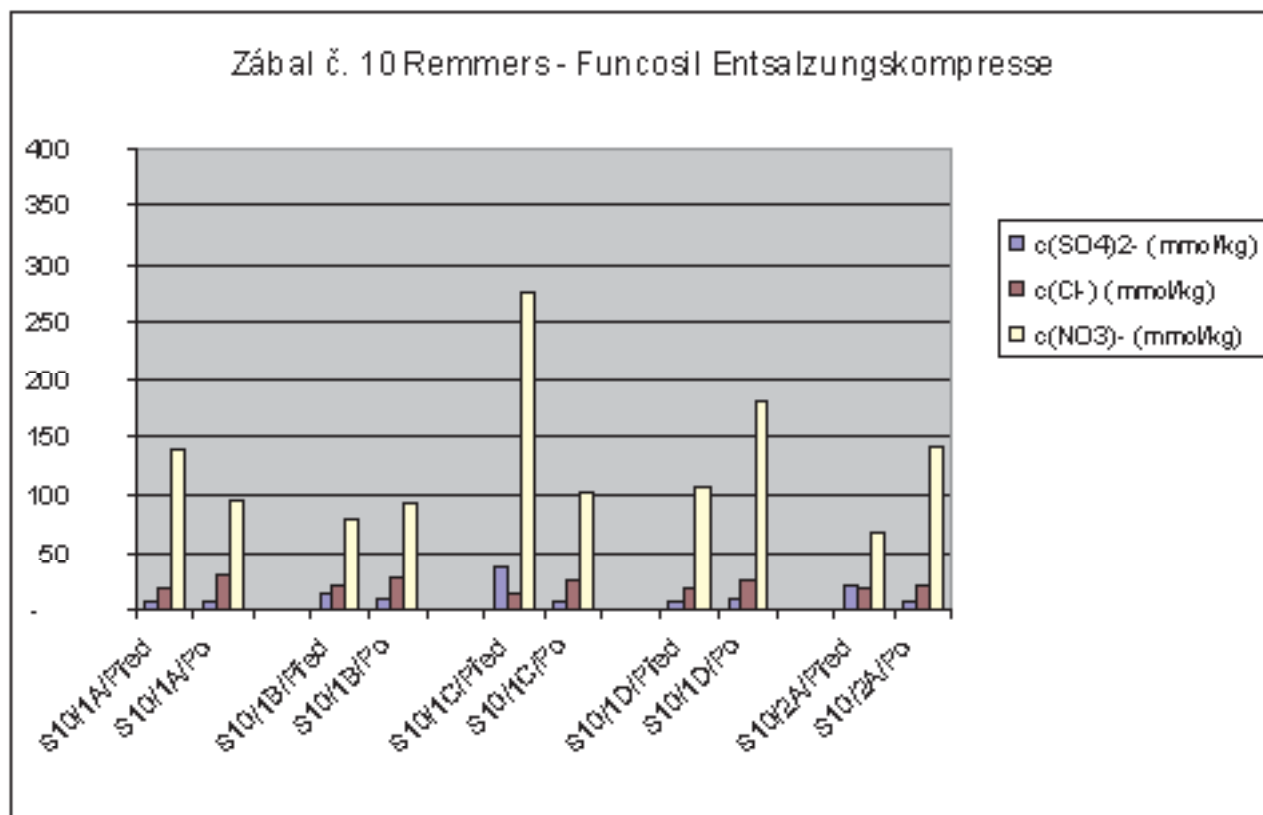
Vzorek před	Směs na I.cyklus	Směs na II.cykus	Vzorek po II.cyklu
S10/1 ABCD před	10	10	S10/1 ABCD po
S10/2 A před	10	10	S10/2 A po

### Receptury jednotlivých směsí:

I.cykus a II.cykus č.10. 2 díly Remmers směsi + 1 díl vody, bez přídavku dezinfekce

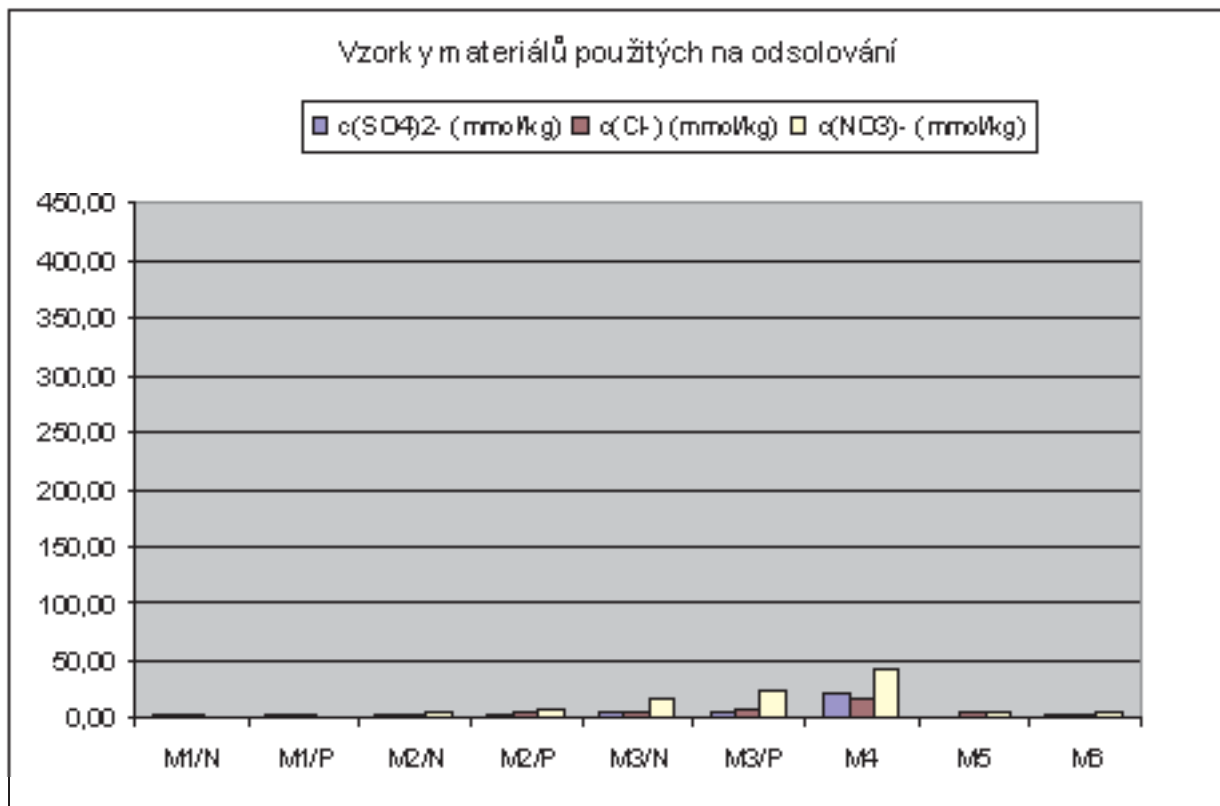
### Oddělování od podkladu:

Při II.cyklu se místy odděluje od podkladu.



Ve vzorcích 1A a 1C došlo ke snížení obsahu vodorozpustných solí. V ostatních vzorcích došlo ke zvýšení obsahu vodorozpustných solí.

## Vzorky materiálů použitých na odsolování (molární hmotnosti)



M1/N Písek neplavený

M1/P Písek plavený

M2/N Pemza neplavená

M2/P Pemza plavená

M3/N Buničina neplavená

M3/P Buničina plavená

M4 Bentonit 75

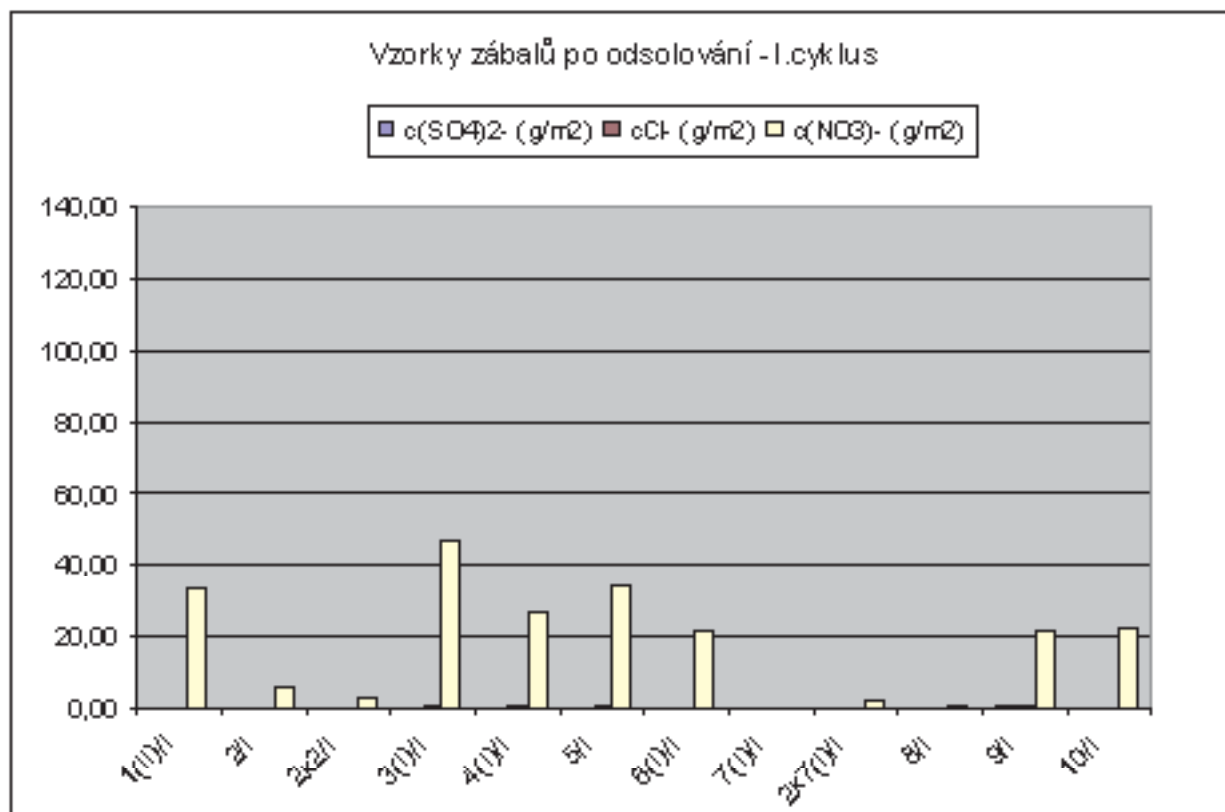
M5 Zeolit přírodní (směs dvou frakcí)

M6 Kaolin MKM

Ve vzorcích je relativně málo vodorozpustných solí, pouze v buničině a bentonitu je zvýšený obsah všech třech anionů. Plavení nemá na obsah solí žádný vliv, dokonce v plavených vzorcích je obsah vodorozpustných solí o maličko vyšší.



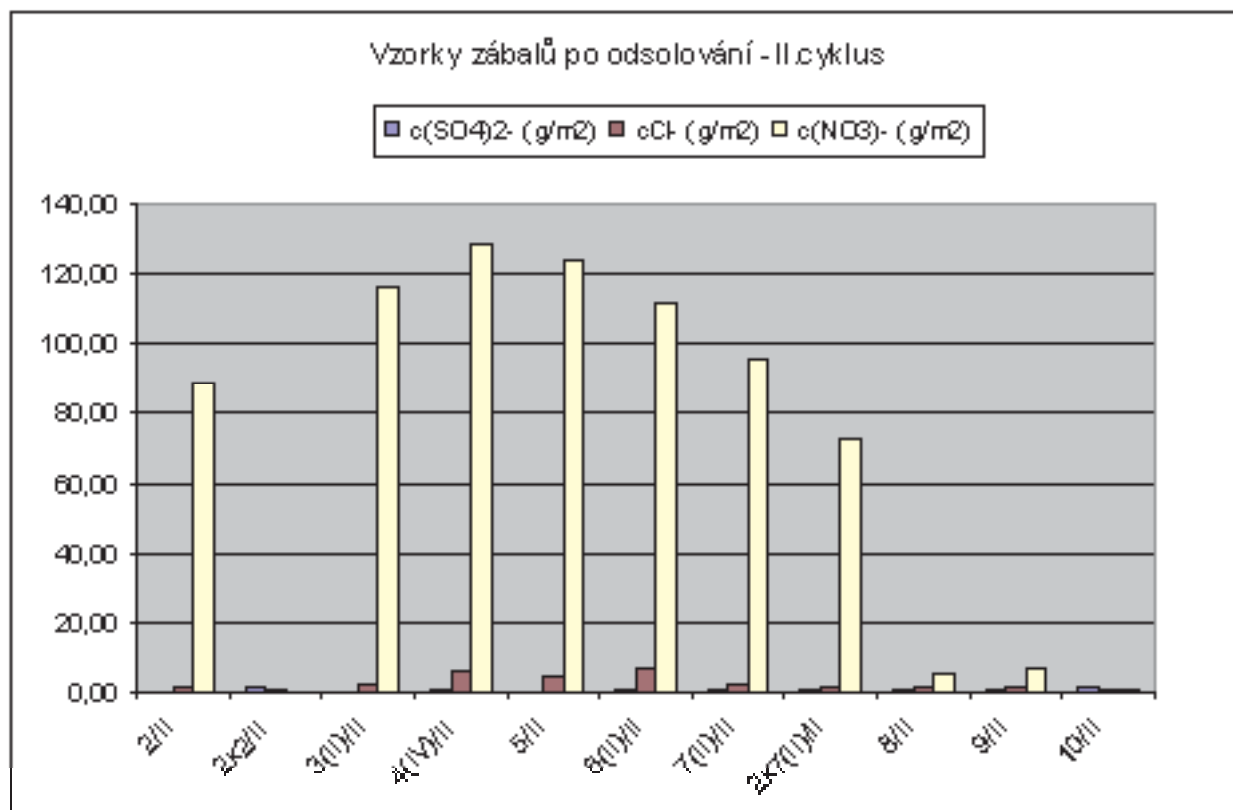
## Vzorky zábalů po odsolování I.cyklu (gramy anionů na metr čtvereční)



<b>1(I)/I</b>	<b>Bentonit+písek</b>	<b>I.cyklu</b>
2x2/I	Kaolin+písek - dvě vrstvy	I.a II.cyklu
2/I	Kaolin+písek	I.a II.cyklu
<b>3(I)/I</b>	<b>Zeolit+písek</b>	<b>I.cyklu</b>
<b>4(I)/I</b>	<b>Bentonit+pemza</b>	<b>I.cyklu</b>
<b>5/I</b>	<b>Kaolin+pemza</b>	<b>I.a II.cyklu</b>
<b>6(I)/I</b>	<b>Zeolit+pemza</b>	<b>I.cyklu</b>
7(I)/I	Bentonit+kaolin+písek	I.cyklu
2x7(I)/I	Bentonit+kaolin+písek - dvě vrstvy	I.cyklu
8/I	Pemza+buničina	I.a II.cyklu
<b>9/I</b>	<b>Buničina</b>	<b>I.a II.cyklu</b>
<b>10/I</b>	<b>Remmers</b>	<b>I.a II.cyklu</b>

V zábalích po odsolení jsou přítomny zejména rozpustné dusičnany. Ostatní soli tam v podstatě nejsou. Nejvíce vyluhovaných solí bylo dosaženo barevně označenými zábalami.

## Vzorky zábalů po odsolování II.cyklus (gramy anionů na metr čtvereční)



<b>2/II</b>	<b>Kaolin+písek</b>	<b>I.a II.cykus</b>
2x2/II	Kaolin+písek - dvě vrstvy	I.a II.cykus
<b>3(II)/II</b>	<b>Zeolit+písek</b>	<b>II.cykus</b>
<b>4(IV)/II</b>	<b>Bentonit+pemza</b>	<b>II.cykus</b>
<b>5/II</b>	<b>Kaolin+pemza</b>	<b>I.a II.cykus</b>
<b>6(II)/II</b>	<b>Zeolit+pemza</b>	<b>II.cykus</b>
<b>7(II)/II</b>	<b>Bentonit+kaolin+písek</b>	<b>II.cykus</b>
<b>2x7(II)/II</b>	<b>Bentonit+kaolin+písek - dvě vrstvy</b>	<b>I.cykus</b>
8/II	Pemza+buničina	I.a II.cykus
9/II	Buničina	I.a II.cykus
10/II	Remmers	I.a II.cykus

V zábalch po odsolení jsou přítomny zejména rozpustné dusičnany. V malém množství jsou vyluhované chloridy. Sírany tam v podstatě nejsou. Nejvíce vyluhovaných solí bylo dosaženo barevně označenými zábalami.

## 13.4. Výsledky experimentů

Experiment proběhl na reálném objektu - v reálných podmínkách. To znamená, že i přes veškerou snahu, aby byly podmínky shodné, nejsou shodné. Stěny jsou orientované na různé světové strany. Cirkulace vzduchu je odlišná v rohu a ve středu zdi. Střídají se tenčí stěny parapetů se silnějšími nosnými zdmi mezi okny. Zdivo je smíšené, podklad je nehomogenní apod. Z toho všeho vyplývá, že naměřené hodnoty jsou zatíženy relativně velkou chybou.

Na základě analýz odebraných vzorků solí před odsolováním bylo zjištěno zvýšené množství vodorozpustných solí a to zejména dusičnanů. Sírany a chloridy se vyskytují ve vzorcích v menším množství. Zdroj dusičnanů je zřejmý - areál zamku v minulosti využívalo zemědělské družstvo.

Bylo provedeno odsolování, po něm klesly hodnoty dusičnanů průměrně o 30 %. Výsledky odsolení jednotlivými zábalami jsou vcelku srovnatelné (vyjma bentonitového zábalu č.1).

Oblasti parapetů oken jsou lépe odsolené (větší rozdíl mezi výchozími hodnotami a konečnými hodnotami), než bloky zdiva mezi okny. Přičemž to platí nezávisle na zábalu, jenž byl použit. Kromě nefunkčních bentonitových zábalů č.1 je lepší efekt odsolení patrný u těchto vzorků 2/2, 3/1, 4/2, 5/1, 6/2, 8/1, 8/2, 9/1 lokalizovaných v oblasti parapetů. Není zřejmé proč tomu tak je.

Z hloubkových vzorků C je zřejmé, že k redistribucím solí do hloubky došlo v relativně malé míře.

Bentonitové zábalení se při testování neosvědčily (č.1 dokonce neodsoluje, ale zasoluje, všechny se oddělují od podkladu). Avšak není možné bentonit celkově zavrhnout. Neúspěch těchto zábalů byl způsoben nevhodným poměrem jednotlivých materiálů. Předpokládám, že pokud by se navýšila proporce materiálu ve prospěch plniva, k oddělování od podkladu by nedocházelo.

Obecně je problém s přilnavostí zábalů mnohem větší v druhém cyklu. Patrně proto, že po prvním cyklu byla zeď zbytkově vlhká a zábal nepřisála tak, jako, když je sušší.

Materiály použité na odsolování mají relativně nízký obsah solí. Pokud nějaké soli obsahují, plavení vodou z vodovodního řádu k jejich odstranění vůbec nepomůže.

Vzorky zábalů měly být odebrány po obou cyklech ze shodného místa, zároveň to ideálně mělo být i ze shodného místa s místem odběru omítky. Tak se nestalo a vzorky byly odebrány z různých míst. Proto jsou porovnatelné o něco hůř, než bylo nutné.

Výsledky analýz vzorků omítek nekorrespondují vždy s výsledky analýz odsolovacích zábalů. - např u zábalu č.8 nejsou vyluhované téměř žádné soli v zábalách, zatímco podle analýz omítek je úroveň odsolení dobrá .

Z analýz zábalů je zjevné, že vyšší efekt má druhý cyklus odsolování, než první.

## 13.5. Testování odsolovacích zábalů v kontextu s praxí

Testování zábalů jsme provedli přímo na objektu, nikoli v laboratorních podmínkách. To přináší pro interpretaci výsledků značné nevýhody. Přínosem ale je, že je možné sledovat efekt zásahu v praxi, v reálných podmínkách a v čase.

Těsně po odsolování bylo dosaženo průměrného snížení hodnot zasolení cca o 40 %. Přesto již po relativně krátké době (cca 5 měsíců) od ukončení odsolovacích prací se opětovně začaly objevovat krystaly solí.

### Proč byl efekt odsolení tak krátkodobý?

Původně jsme se domnívali, že hlavní chyba byla v přílišném provlhčení - ve spojení s tím zábalý nestihly doschnout a proto došlo k redistribuci solí k povrchu. Před nanášením zábalů jsme omítku navlhčili (tak, jak jsme byli zvyklí z exteriérů). Opětovně jsme vlhčili nastříkanou separaci před nanášením odsolovací směsi. Při nanášení zábalů jsme měli potíže s jejich odpadáváním, takže jsme je na některých místech nanášeli opakovaně (a každým zábalem zeď vlhčili). Zábalý ani po necelém měsíci, kdy už jsme je museli odstranit, nedoschly zcela.

Na druhou stranu dle nové teorie (uvedené v teoretické části této práce) je sice potřeba vlhčit odsolovanou zeď kontrolovaně, ale k redistribuci k povrchu by v druhé fázi schnutí nemělo dojít (pokud není vlhkost dotovaná zevnitř). I další fakt potvrzuje, že příčinou by nemuselo být předvlhčení. V dalším sále v přízemí vily jsme při odsolování předvlhčili podklad minimálně. Zároveň jsme nanесли tenké, stříkané zábalý a nechali jsme maximální čas na doschnutí. Přesto se tam obdobně začínají po zhruba stejné době objevovat krystaly solí.

Zbývá tedy ještě jedna teoretická příčina - k aktivním přesunům solí by mohlo docházet, jako důsledek toho, že po ukončení stavebních prací (včetně mokrych procesů), začala budova vysychat (vlhkost je dotovaná zevnitř). Zároveň se mohl projevit i efekt nově zprovozněných odvlhčovacích kanálů u paty zdí.

### Další příčiny vedoucí k rychlejšímu návratu solí k povrchu

I přes snahu o zodpovědný přístup, jsme zanedbali některé kroky souvisejících s rekrystalizací solí. Neomezili jsme důsledně zdroj vlhkosti a neomezili jsme vliv vnějšího klimatu.

Zdroj vlhkosti jsme důsledně nerozluštili, a to i přesto, že to mohlo být vcelku jednoduché. Když už jsme měli odebrané vzorky na soli z různých míst a hloubek, bylo by snadné gravimetricky stanovit i jejich vlhkost.

Zároveň ani ohledně omezení vlivu klimatu jsme neprovedli dostatečné zásahy. Neprovedli jsme dlouhodobější aktuální monitoring relativní vlhkosti a teploty v interieru. Ani jsme nestanovili vhodnou oblast Rh.

### Negativní důsledky odsolovacích zábalů

Po odsolování v Lovecké jídelně bylo patrné, že místy došlo k redukci barevných vrstev. Patrně díky dlouhodobé expozici vlhkosti se pojivo naměkčilo a malba se stala citlivější.

Na zábalách, ale i na malbách se začaly v průběhu odsolování vyskytovat plísně, houby a kvasinky. Hlavní příčinou výskytu biologického napadení je dlouhodobá expozice vlhkosti v kombinaci s bílkovinou, která se vyskytuje v původní barevné vrstvě.

# ZÁVĚR

Během práce na mé bakalářské práci se pozměnila základní teorie o funkci odsolovacích zábalů. V podstatě se jednalo o nešťastnou časovou souhru, kdy paralelně dobíhal výzkumný projekt Desalination. Některé z jeho výsledků byly prezentovány jen pár měsíců po realizaci praktické části mojí práce. Některé ještě publikovány nebyly - publikace sborníku z konference v Kolíně nad Rýnem patrně vyjde až v září 2011.

## Závěr z teoretické části této práce

Na základě této situace jsem se rozhodla pozměnit cíl své práce. Považovala jsem za nejprínosnější prostudovat aktuální literaturu a připravit souhrn nové teorie o odsolovacích zábalech, se zaměřením na praxi.

Je nutno dodat, že jsem prozkoumala jen část aktuální literatury. S dalším studiem, doporučeními a názory se zdá lepší počkat, až bude publikována všechna práce, která byla v rámci Desalination projektu provedena. Jedním z cílů Desalination projektu bylo také připravit praktická doporučení pro restaurátory. Například určit jednoduchou a nedestruktivní možnost stanovení porozity substrátu, měřit porozitu vybraných typických stavebních materiálů, vytypovat několik odsolovacích směsí atd. Není zřejmé, zda skutečně nějaký praktický výstup je. Avšak, pokud se chystá, bylo by škoda ho nevyužít.

Při studiu modelů, jak věci fungují, člověk snadno propadne nadšením z toho, jak je vše jednoduché a přesvědčivé. Obdobně i mě nadchlo, že jsou mechanismy fungování zábalů jednoduché a jasné. Pak se ale začaly vyjevovat nepřesnosti, otazníky, trhliny, či pochybnosti. Zde jsou některé otázky týkající se aplikace nové teorie o odsolování do praxe. V některých případech nastiňuji i možnosti, jak k otázkám přistupovat.

### **Jak volit advekční zábal?**

Otázkou je, jak přesně je nutno se napasovat na porézní strukturu podkladu. Stačí, že bude mít jemnější kapilární strukturu, nebo jsou nutné obdobné porozity? Je možné připravit v podstatě jednu recepturu zábalu s jemnou porézní strukturou na všechny stavební materiály?

### **Jak volit difuzní zábal ?**

Co je důležitým faktorem pro výběr funkčního difuzního zábalu? Vlastně to vypadá, že u difuzních zábalů je jedno, jaký zábal nanese, pouze by měl mít dobrou přilnavost, neměl by být biologicky napaden a měli bychom ho častěji vyměňovat. Odsolují tedy všechny difuzní zábaly stejně? Je možné využít na difuzní zábal shodného receptu, jako na advekční? Nebo je důležité, aby byly póry větší, aby nebrzdily průběh difuze - pak ale bude závěrečná fáze dosychání probíhat v podkladu, nikoli v obkladu.

### **Má ještě smysl používat buničinu na zábaly?**

Buničina je pro kapilárně aktivní zábaly nevhodná. Čistá buničina má větší póry, než stavební materiály (nemá menší póry, než 15 mikrometrů) (*Lubelli, Barbara and Rob P.J. van Hees. 2010*). Dokonce patrně nejsou buničiny vhodné, ani jako součást směsi - v čistě písko-kaolínovém zábalu jsou jemnější póry, než v buničino-pískovo-kaolínovém zábalu (*Bourgeois Anna - Desalination Colloquium Cologne v Kolině nad Rýnem*). Zároveň i volná voda, která je v čisté buničině, se jeví obecně, jako nevhodná (stéká gravitací).

Může mít využití buničiny nějaký přínos v difuzních zábalech?

Zdá se, že již dominantní role buničiny končí, že není důvod ji nadále používat.

### **Jak poznáme čas, kdy zábal vyměnit - odstranit?**

U advekčních zábalů je načasování důležitější, než u difuzních. Teoreticky je vhodný moment, když začne klesat povrchová vlhkost. Respektive chvilku potom, tak, aby se schnutí už přesunulo pod úroveň povrchu odsolovaného materiálu. Jinak by hrozila redistribuce solí k povrchu, tím, že by po odstranění zábalu opět převážila advekce. Vhodný okamžik by patrně mohl být vytyčován pomocí povrchového vlhkoměru.

U difuzních zábalů jsou koncentrace dorovnány v momentě, kdy již nestoupá koncentrace solí v zábalu. Celkové množství solí v některých typech zábalů lze jednoduše sledovat pomocí měření konduktivity. Ale pozor, pokud by byl zábal kapilárně aktivnější, koncentrace v zábalu by teoreticky od určitého okamžiku měla začít klesat....

### **Je nebezpečí redistribuce solí při dosychání po odstranění zábalu?**

Původně se předpokládalo, že při závěrečném dosychání materiálu dochází k přesunu solí k povrchu. Pokud ale dochází k vysychání pouze ve výše uvedených dvou, jasně ohraničených fázích, není pro to důvod. Při dosychání (v 2. fázi schnutí) by pouze mělo docházet k dosychání v nejužších pórech podkladu, v největší hloubce, kam se vlhkost dostala. Distribuci solí k povrchu, která by trvala delší čas, by bylo možné předpokládat pouze v případě do hloubky provlhčeného materiálu (např. po odsolování v lázni). V případě kontrolovaného vlhčení by nemělo být (dle teorie) riziko redistribuce solí po odstranění advekčního zábalu.

**V případě, že bude setrvávat pochybnost o nutnosti ponechat doschnout zábal, je možné provést odsolení ve dvou fázích (tato teorie by musela být dále prozkoumána).**

#### 1. fáze odsolování - advekční zábal

Při advekčním zábalu se rychle zbavíme nakumulovaných solí u povrchu (např. ve dvou cyklech). Po včasném odstranění advekčního zábalu zůstane povrch vlhký, s dispozicí k dodatečnému přesunu a kumulaci solí v rizikové oblasti u povrchu. Proto musí následovat druhá fáze odsolování.

#### 2. fáze odsolování - difuzní zábal, či obětní omítka

Díky první fázi nebude gradient v koncentracích tak rychle dorovnán. Difuzní zábal můžeme nechat doschnout. Případně může být, jako difuzní zábal využita obětní omítka.

## Závěr z praktické části této práce

Dle původní teorie jsme odsolovali tzv.schnoucím zábalem, dle nové teorie jsme odsolovali méně vhodným difuzním zábalem. Místo toho by bylo vhodnější použít advekční zábal, avšak museli bychom přesně zvolit porozity zábalů s ohledem na podklad. Je možné, že některé zábaly měly náhodou vhodnou porozitu, avšak tím, že jsme je nanесли na relativně dlouhou dobu, již fungovaly, jako difuzní. Dosud publikované texty hovoří o ideálních vlastnostech efektivnějších advekčních zábalů. Ideálními vlastnostmi difuzních zábalů se nezabývají. Tudíž ani není jasné, které vlastnosti zde užitých odsolovacích směsí mohlo být zajímavé znát

Vzhledem k tomu, že moje experimentální část práce nekoresponduje s novými poznatky, je relativně komplikované ji v nových souvislostech interpretovat. Nicméně z výsledků je patrné, že efekt všech užitých zábalů je víceméně srovnatelný. To by mohlo novou teorii odsolování podpořit - zábaly fungují difuzně a jejich složení není zásadní.

Dále bych ráda poukázala na některé zajímavé výsledky provedených experimentů :

I přes výrazné provlhčení nedošlo k razantnější redistribuci solí do hloubky zdi

Zřetelně lépe odsolené jsou oblasti parapetů oken, než oblasti bloků zdi mezi okny

II. cyklus má vyšší efektivitu v množství vyluhovaných solí do zábalu, než I.cykus.

## Limity odsolování zábalem

Důkladnější znalost funkce odsolování je pro praxi přínosem v tom, že by zábaly mohly být ve většině případů nanášeny advekčně. To je důležité proto, že by nebyla nijak snížena funkce (dokonce by mohly odsolovat i efektivněji), zatímco by se razantně omezily rizika spojená s dlouhodobou expozicí vlhkosti. Na druhou stranu je ale zřejmé, že dosah do hloubky zůstane stejně omezený, jako dosud. Obdobně i redistribuce solí do hubších vrstev je v teorii odůvodněná a neovlivnitelná.

Takže - odsolování zábalů má smysl, avšak zůstává velice konzervativní vobou. Vždy se bude jednat o údržbovou metodu, o dočasné oddálení destrukcí způsobených solemi. Nová teorie odsolování potvrzuje, že klasické odsolování zábalů (i při ideální kombinaci poréznicích struktur) zůstává limitovanou metodou.

Proto je otázkou, zda nevzdat zábalový boj a neupnout síly k odvážnějším, inovativnějším metodám (zábaly s podporou tlaku, biometody..), které mohou skrývat efektivnější řešení.

## RESUMÉ

V teoretické části této práce jsem se pokusila shrnout aktuální informace z literatury zabývající se funkcí odsolovacích zábalů. Nové poznatky ovlivní i tradiční postupy odsolování zábalů v praxi.

V praktické části této práce jsem provedla testování účinnosti vytypovaných odsolovacích směsí. Co se týká vlastností odsolovacích směsí, byl rozdíl pouze u přilnavosti k podkladu, avšak to lze ovlivnit úpravou receptury. V odebraných vzorcích omítek před a po odsolování došlo všude k víceméně obdobné redukci vodorozpustných solí. Žádný ze zábalů nebyl vytypován, jako nejvhodnější.



# LITERATURA

**Brajer, I. and P. Klens Larsen. 2008.** The salt reduction treatment on the wall paintings in Tirsted Church. In Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures, Proceedings from the International Conference 22-24 October 2008, National Museum Copenhagen, Denmark, ed. I. Rørig-Dalgaard, L.M. Ottosen, P.K. Larsen, I. Brajer, P. Bøllingstoft, M. Marciniak and M. Svane, 29-40. Lyngby: Technical University of Denmark.

**Doehne, E. 2002.** Salt weathering: a selective review. Geological Society Special Publication 205: Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies: 51-64.

**van Hees, R.P.J., B. Lubelli. 2006,** Transport and Crystallisation of Salts in Porous Materials, Proceedings of the ARCCHIP Workshops, European Research on Cultural Heritage, State-of-the-Art Studies, Volume 5, Prague 2006

**Heritage, Ad., Al. Heritage, F. Funke, V. Vergès-Belmin, A. Bourgès. 2008.** How do conservators tackle desalination? An international survey of current polticing methods. In Cultural Heritage Research Meets Practice, 8th European Conference on Research for Protection, Conservation and Enhancement of Cultural Heritage, Conference Preprints, Ljubljana, Slovenia, November 10-14, 2008, ed. Jana Kolar and Matija Strlič, 58-59.Ljubljana: National and University Library.

**Leitner, H. 2005.** The treatment of wall paintings affected by salts: an interdisciplinary task as seen from a conservator's perspective. Restoration of Buildings and Monuments (Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege) 11 (6): 365-80.

**Lombardo, T., S. Simon. 2006.** Laboratory study on poultices, Proceedings of the ARCCHIP Workshops, European Research on Cultural Heritage, State-of-the-Art Studies, Volume 5, Prague 2006

**Lubelli, Barbara and Rob P.J. van Hees. 2010.** Desalination of masonry structures: Fine tuning of pore size distribution of poultices to substrate properties. Journal of Cultural Heritage 11 (1): 10-18.

**Nunberg, S. and Charola, A.E. 2001.** Salts in ceramic bodies II: Deterioration due to minimal changes in relative humidity. Internationale Zeitschrift fur Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, 7, 131

**Pel, L., A. Sawdy and V. Voronina. 2010.** Physical principles and efficiency of salt extraction by poulticing. Journal of Cultural Heritage 11: 59-67.

**Sawdy, A., A. Heritage and L. Pel. 2008.** A review of salt transport in porous media, assessment methods and salt reduction treatments. In Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures:

22-24 October 2008, The National Museum Copenhagen, Denmark [Proceedings from the International Conference], ed. I. Rørig-Dalgaard, L.M. Ottosen, P.K. Larsen, I. Brajer, P. Bøllingstoft, M. Marciniak and M. Svane, 1-28. Lyngby: Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

**Sawdy, A., B. Lubelli, V. Voronina and L. Pel. 2010.** Optimizing the extraction of soluble salts from porous materials by poultices. *Studies in Conservation* 55: 26-40.

**Scherer, G. W. 2004.** Stress from crystallization of salt. *Cement and Concrete Research* 34 (9): 1613-1624.

**Stillhammerová, M. 2006.** Short Overview on Problematics of Watersoluble Salts in Slovak Republic, Proceedings of the ARCCHIP Workshops, European Research on Cultural Heritage, State-of-the-Art Studies, Volume 5, Prague 2006

**Vergès-Belmin, V. 2006.** Desalination of porous building Materials: a Review, Proceedings of the ARCCHIP Workshops, European Research on Cultural Heritage, State-of-the-Art Studies, Volume 5, Prague 2006

**Wichterlová, Z. 2010,** nepublikováno, Praktická bakalářská práce, Restaurování části nástěnných maleb v tzv. Lovecké jídelně na Státním zámku Kratochvíle, FRUPCE, Litomyšl, 2010

**WTA Merkblatt, 2003,** Zerstorungsfreies Entsalzen von Naturstein und anderen porösen Baustoffen mittels Kompressen, WTA Merkblatt 3-13-01/D, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., Referat 3 Naturstein, München, 13

**Young, Da. and Do. Ellsmore. 2008.** Salt Attack and Rising Damp: A Guide to Salt Damp in Historic and Older Buildings. 2nd ed. [Australia]: Heritage Council of NSW, Heritage Victoria, South Australian Dept. for Environment and Heritage, Adelaide City Council. [www.heritage.nsw.gov.au/docs/HVC014\\_Salt\\_Damp\\_tech\\_guide\\_FA\\_web.pdf](http://www.heritage.nsw.gov.au/docs/HVC014_Salt_Damp_tech_guide_FA_web.pdf) (accessed April 19, 2010).

# PŘÍLOHY

**Příloha 1 - Vodorozpustné soli typicky přítomné ve zdivu**

**Příloha 2 - Míra zasolení dle WTA Merkblatt, 2003**

**Příloha 3 - Odebrané vzorky omítek před a po dvou cyklech odsolování**

## Příloha 1 - Vodorozpustné soli typicky přítomné ve zdivu

Funkční vzorec	Sloučenina	Rozpustnost při 20 °C [g/litr]
CaSO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	síran vápenatý dihydrát, sádrovec	2,4
MgSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	síran hořečnatý heptahydrát,	1172
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •10H <sub>2</sub> O	síran sodný dekahydrát, thenardit	583
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	síran sodný bezvodý, mirabilit	481 (při 40 °C)
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	síran draselný	111
3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •CaSO <sub>4</sub> •32H <sub>2</sub> O	ettringit, Candlotova sůl	–

Funkční vzorec	Sloučenina	Rozpustnost při 20 °C [g/litr]
CaCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	chlorid vápenatý hexahydrát, antarkticit 5359	
CaCl <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O	chlorid vápenatý dihydrát	1281
MgCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	chlorid hořečnatý, bischofit	3051
NaCl	chlorid sodný, halit, sůl kamenná	360
KCl	chlorid draselný, sylvit	340

Funkční vzorec	Sloučenina	Rozpustnost při 20 °C [g/litr]
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	dusičnan hořečnatý hexahydrát, nitromagnesit 2805	
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O	dusičnan vápenatý tetrahydrát, nitrokalcit 4305	
NaNO <sub>3</sub>	dusičnan sodný	880
KNO <sub>3</sub>	dusičnan draselný	316
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	dusičnan amonný	1920

Funkční vzorec	Sloučenina	Rozpustnost při 20 °C [g/litr]
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> •10H <sub>2</sub> O	uhličitan sodný dekahydrát, soda	217
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> •7H <sub>2</sub> O	uhličitan sodný heptahydrát, soda	489 (při 40 °C)
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> •2H <sub>2</sub> O	uhličitan draselný, potaš	110

## Příloha 2 - Míra zasolení dle WTA Merkblatt, 2003

Sírany wt.-%	Chloridy wt.-%	Dusičnany wt.-%	Koncentrace mmol/kg t	Míra kontaminace
do 0,02	do 0,01	do 0,02	do 2,5	žádná Stupeň 0
do 0,1	do 0,03	do 0,05	do 8,0	Low Stupeň I
do 0,2	do 0,1	do 0,2	do 25,0	Střední Stupeň II
do 0,8	do 0,3	do 0,5	do 80,0	Vysoká Stupeň III
do 0,8	do 0,3	do 0,5	nad 80,0	Extremní Stupeň IV

## **Příloha 3 - Odebrané vzorky omítek před a po dvou cyklech odsolování**

První odběr vzorků byl uskutečněn dne 3.a 11.6. 2008, před započítím odsolovacích prací.  
Druhý odběr vzorků byl uskutečněn dne 19.8., po provedení dvou odsolovacích cyklů.

S1/1A výška 68 cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2.odběr 0-1,5cm  
S1/1B výška 68 cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-4,3cm, 2. odběr 1,5-4,1cm  
S1/2A výška 122 cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S1/2B výška 122 cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-3cm  
S1/2C výška 122 cm od země, hloubka 1. odběr 3-9cm, 2. odběr 3-6,3cm

S2/1A výška 65cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S2/1B výška 65cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-2,8cm, 2. odběr 1,5-2,7cm  
S2/2A výška 54cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S2/2B výška 54cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3,8cm, 2. odběr 1,5-3,2cm

S3/1A výška 68cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S3/1B výška 68cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-4,2cm  
S3/2A výška 68cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,8cm  
S3/2B výška 68cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3,8cm, 2. odběr 1,8-3,8cm  
S3/2C výška 68cm od země, hloubka 1. odběr 3,8-5,5cm, 2. odběr 3,8-5,9cm

S4/1A výška 69cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S4/1B výška 69cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-2,8cm  
S4/2A výška 59cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S4/2B výška 59cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-3,2cm  
S4/2C výška 59cm od země, hloubka 1. odběr 3-5,4cm, 2. odběr 3,2-4,4cm

S5/1A výška 76cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S5/1B výška 76cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3,6cm, 2. odběr 1,5-3,6cm  
S5/1C výška 76cm od země, hloubka 1. odběr 3,6-9cm, 2. odběr 3,6-8,2cm  
S5/2A výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S5/2B výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 1,5- 3,7cm, 2. odběr 1,5-3,4cm

S6/1A výška 87cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S6/1B výška 87cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-4,2cm, 2. odběr 1,5-5,2cm  
S6/2A výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S6/2B výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3,5cm, 2. odběr 1,5-4,6cm

S7/1A výška 135cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm  
S7/1B výška 135cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-3,2cm  
S7/1C výška 135cm od země, hloubka 1. odběr 3-8,3cm, 2. odběr 3,2-8cm

S7/2A výška 100cm od země, hloubka 1. odběr 0-1cm, 2. odběr 0-1cm

S7/2B výška 100cm od země, hloubka 1. odběr 1-3cm, 2. odběr 1-3cm

S7II/1A výška 91cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm

S7II/1B výška 91cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-4,3cm

S7II/2A výška 95 cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm

S7II/2B výška 95 cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-3,3cm

S7II/2C výška 95 cm od země, hloubka 1. odběr 3-7,1cm, 2. odběr 3,3-7,5cm

S8/1A výška 115cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm

S8/1B výška 115cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-3cm

S8/1C výška 115cm od země, hloubka 1. odběr 3-4,7cm, 2. odběr 3-8cm

S8/2A výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm

S8/2B výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-3,2cm

S8/2C výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 3-9cm, 2. odběr 3,2-8cm

S9/1A výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm

S9/1B výška 85cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-5,3cm, 2. odběr 1,5-6cm

S9/2A výška 95cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm

S9/2B výška 95cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3,6cm, 2. odběr 1,5-3,6cm

S10/1A výška 90cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm

S10/1B výška 90cm od země, hloubka 1. odběr 1,5-3cm, 2. odběr 1,5-3cm

S10/1C výška 90cm od země, hloubka 1. odběr 3-4,7cm, 2. odběr 3-4,6cm

S10/1D výška 90cm od země, hloubka 1. odběr 4,7-6,8cm, 2. odběr 4,6-5cm

S10/2A výška 125cm od země, hloubka 1. odběr 0-1,5cm, 2. odběr 0-1,5cm