

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Franko, P., 2014. Vpliv soli na sanacijske omete. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Bokan-Bosiljkov, V., somentorica Štukovnik, P.): 30 str.

Datum arhiviranja: 20-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Franko, P., 2014. Vpliv soli na sanacijske omete. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan-Bosiljkov, V., co-supervisor Štukovnik, P.): 30 pp.

Archiving Date: 20-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO**

Kandidatka:

**PETRA FRANKO**

**VPLIV SOLI NA SANACIJSKE OMETE**

Diplomska naloga št.: 104/B-GR

**INFLUENCE OF SALTS IMPACT ON RESTORATION  
PLASTERS**

Graduation thesis No.: 104/B-GR

**Mentorica:**

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

**Predsednik komisije:**

**Somentorica:**

asist. Petra Štukovnik

Ljubljana, 30. 06. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

---

**IZJAVE**

Podpisana PETRA FRANKO izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »VPLIV SOLI NA SANACIJSKE OMETE«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 5.6.2014

Petra Franko

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 693.62(497.4)(043.2)  
**Avtor:** Petra Franko  
**Mentor:** izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov  
**Somentor:** asist. Petra Štukovnik, univ. dipl. inž. geolog.  
**Naslov:** Vpliv soli na sanacijske omete  
**Tip dokumenta:** diplomska naloga – univerzitetni študij  
**Obseg in oprema:** 30 str., 4 pregl., 41 sl.  
**Ključne besede:** soli, sanacijski ometi, pospešeni test kristalizacije, kristali, 3D optični mikroskop, raztopina soli

### **Izvleček**

Delovanje soli ima velik negativen vpliv na malte in omete, ter posledično zmanjša njihovo učinkovito delovanje. V diplomski nalogi je prikazano delovanje soli na sanacijske omete. V ta namen so bili izdelani preizkušanci, ki so sestavljeni iz nosilne podlage in sanacijskega ometa. V posebej izdelanih komorah so bili preizkušanci izpostavljeni različnim pogojem okolja (relativni vlagi in temperaturi) ter delovanju soli tako, da smo najprej izzvali pospešeno kristalizacijo soli, v nadaljevanju pa njihovo raztapljanje. S pomočjo različnih laboratorijskih tehnik smo na preizkušancih analizirala poškodbe, nastale zaradi procesa kristalizacije in/ali raztapljanja soli. Izpostavili smo tudi probleme, s katerimi smo se soočali med eksperimentalnim delom.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 693.62(497.4)(043.2)  
**Author:** Petra Franko  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Violeta Bokan-Bosiljkov, Ph.D.  
**Co-supervisor:** Assist. Petra Štukovnik, B.Sc.  
**Title:** Influence of salts impact on restoration plasters  
**Document type:** Graduation Thesis - University studies  
**Notes:** 30 p., 4 tab., 41 fig.  
**Key words:** salts, restoration plasters, accelerated crystallization test, crystal, 3D optical microscope, salt solution

**Abstract**

Salts have a significant negative influence on mortars and plasters and consequently reduce their effectiveness. The diploma thesis describes the effects of salts on restoration plasters. For this purpose we prepared samples, made of loadbearing support and restoration plaster. In specially adapted chambers the samples were exposed to different environmental conditions (relative moistures and temperatures) and salts, in order to provoke accelerated crystallization and dissolution of salts. With the help of various laboratory techniques we analysed the damages on the samples that occurred due to the process of crystallization and/or dissolution of salts. We also describe the problems that we were facing during the experimental work.

## **ZAHVALA**

Rada bi se zahvalila svoji mentorici izr. prof. dr. Violeti Bokan-Bosiljkov in somentorici asist. Petri Štukovnik za usmerjanje, spodbujanje in svetovanje pri nastajanju diplomske naloge, ter Franciju Čeponu za pomoč pri laboratorijskem delu.

Hvala tudi podjetju Kema iz Puconcev za materiale, ki so bili uporabljeni v raziskavah.

Zahvaljujem se staršem in prijateljem, ki so me spodbujali in podpirali ves čas študija.

**KAZALO VSEBINE**

<b>IZJAVE .....</b>	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA.....</b>	<b>V</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 Namen.....	1
<b>2 RAZISKAVE.....</b>	<b>2</b>
2.1 Opis materialov .....	2
2.1.1 Sanacijski ometi.....	2
2.1.2 Soli .....	4
2.1.2.1 Kristalizacija in oblika kristalov soli .....	5
<b>3 EKSPERIMENTALNI DEL DIPLOMSKE NALOGE.....</b>	<b>6</b>
3.1 Priprava preizkušancev .....	6
3.2 Opis pogojev.....	11
3.2.1 Komore.....	11
3.2.1.1 Vgrajevanje preizkušancev v komore.....	12
3.2.2 Ustvarjanje umetnih pogojev.....	13
3.2.2.1 Vzdrževanje konstantne relativne vlažnosti.....	13
3.2.3 Spreminjanje pogojev okolja .....	13
3.3 Test vzdrževanja konstantne temperature in relativne vlažnosti.....	14
3.4 Delovanje soli na preizkušance v komorah .....	16
<b>4 ZAKLJUČEK .....</b>	<b>28</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>29</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Rezultati razleza in prostorninske mase pri določeni količini dodane vode na dejanskih vzorcih sanacijskih ometov .....	8
Preglednica 2: Tipi preizkušancev razporejeni v komorah.....	17
Preglednica 3: Poškodbe na preizkušancih ( 0 = začetno stanje, 5 = max), opazovanje po tednih (1-5).....	23
Preglednica 4: Poškodbe na preizkušancih (0 = začetno stanje, 5 = max), opazovanje po tednih (6-10).....	26

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Skladiščenje soli v porah [7] .....	2
Slika 2: Prednost sušilnega ometa - velika propustnost za paro in stabilna struktura por [6] ..	3
Slika 3: Cone vlage v zidu (levo); razporeditev različnih soli v apnenem ometu (desno) [8] ...	4
Slika 4: Stopnje razvoja kristalov v odvisnosti od vlažnosti zidu [10] .....	5
Slika 5: Razvoj kristalov v poroznem materialu [11] .....	5
Slika 6: Skladiščeni vzorci suhe mešanice v laboratoriju .....	6
Slika 7: Priprava kalupov .....	6
Slika 8: Koščki opeke v mešanici apneno-cementne malte .....	7
Slika 9: Vzorci suhe mešanice ometov, ki se med seboj razlikujejo po sestavi .....	7
Slika 10: Merjenje razleza .....	9
Slika 11: Vgrajevanje vzorcev v kalupe .....	9
Slika 12 Strjeni vzorci v kalupih .....	10
Slika 13 Sušenje vzorcev .....	10
Slika 14: Neuspešen poskus odstranitve kalupa .....	10
Slika 15: Obarvana površina preizkušancev .....	10
Slika 16: Komora iz pleksi stekla .....	11
Slika 17: Vgradnja preizkušancev in sušenje silikona .....	12
Slika 18: Vgrajena komora .....	12
Slika 19: Vzdrževanje konstantne relativne vlažnosti in temperature .....	14
Slika 20: Priprava testa .....	15
Slika 21: Izvedba testa .....	15
Slika 22: Pripravljena ena molarna raztopina NaCl .....	16
Slika 23: Puščanje komore .....	16
Slika 24: Preizkušanci izpostavljeni močenju z vodno raztopino soli v 1. komori .....	17
Slika 25: Preizkušanci izpostavljeni močenju z vodno raztopino soli v 2. komori .....	18
Slika 26: Mikroskopiranje s 3D optičnim mikroskopom .....	18
Slika 27: Začetno stanje preizkušanca št.1 .....	19
Slika 28: Začetno stanje preizkušanca št.2 .....	19
Slika 29: Začetno stanje preizkušanca št.7 – sklop .....	20
Slika 30: Pogoji v komori od 12.7 – 12.8. 2013 .....	20
Slika 31: Preizkušanec št.1 po 2 tednih (levo) 3D in 2D po 5 tednih (desno) .....	21
Slika 32: 3D fotografija kristala preizkušanca št. 1 (zgoraj) in diagram spreminjanja višine kristalov po osi z (spodaj) po 2. tednih .....	21
Slika 33: Rast kristalov na preizkušancu št. 2 po 2.tednu (levo) in po 5.tednu (desno) .....	22
Slika 34: Kristalizacija na preizkušanci št. 7 – sklop .....	22

Slika 35: Prikaz grafa visoke konstantne relativne vlažnosti v obdobju med 19.8.-26.8.2013 (en teden).....	24
Slika 36: Posnetek komore s preizkušanci po spremembi pogojev .....	24
Slika 37: Preizkušanec št. 1 po raztapljanju kristalov soli .....	25
Slika 38: Preizkušanec št. 2 po raztapljanju kristalov soli .....	25
Slika 39: Preizkušanca št. 1 (levo) in št. 2 (desno) - spremembe po 10 tednih opazovanja..	26
Slika 40: Preizkušanec št. 4 - kristali v obliki tankih iglic.....	27
Slika 41: Prelomljen preizkušanec; brez poškodb v notranjosti zaradi kristalizacije.....	27

» Ta stran je namenoma prazna. «

## 1 UVOD

### 1.1 Namen

Propadanje materiala z mineralnim vezivom in poškodbe na konstrukcijskih in ne konstrukcijskih elementih (maltah in ometih), največkrat zasledimo na starejših stavbah, ki so pogosto uvrščene med nepremično kulturno dediščino. Za prenovo takšnih stavb uporabimo materiale, ki zaščitijo stavbo pred zunanjimi vplivi in ne povzročijo dodatnega propadanja. V diplomski nalogi obravnavamo sanacijske omete po namenu in njihovi učinkovitosti. Jedro naloge predstavljajo eksperimentalne preiskave na večjem številu preizkušancev.

Osnovna funkcija malte pri gradnji je povezovanje zidakov (kamnitih in/ali opečnih) v kompaktno celoto konstrukcijskega elementa. Naloga zunanjega ometa (v nadaljevanju ometa) pa je zaščita zgradbe pred zunanjimi vremenskimi vplivi. Poškodbe v malti in ometu so lahko posledica:

- vplivov iz okolice,
- vplivov gradnje in uporabe,
- tekočih popravil.

Preiskave vpliva soli na malte in omete velikokrat niso standardizirane in pogosto posegajo tudi v fizikalne, kemijske in mehanske lastnosti materialov. S temi dejstvi, katere povzemajo razni strokovni članki [1 - 5], smo se raziskovalne naloge lotili tudi v okviru diplomske naloge.

Eksperimentalne metode raziskav se pogosto uporabljajo za vrednotenje stanja obstoječih malt in ometov. V strokovni literaturi se preiskave v glavnem delijo v štiri skupine:

- vizualna analiza,
- eksperimentalne raziskave,
- vrednotenje rezultatov eksperimentov, s ciljem definiranja sanacijskega materiala,
- odločitev o izboru najprimernejšega materiala za sanacijo [1].

V laboratoriju smo s preiskavo ti. pospešene kristalizacije preverili hitrost izločanja kristalov soli iz sanacijskega ometa, ki je zelo obremenjen z vodno raztopino soli.

S preiskavo smo želeli odgovoriti na nekatera vprašanja oz. zadostiti naslednjim zahtevam:

- dobiti rezultate v relativno kratkem času,
- oceniti in ovrednotiti odpornost različnih vzorcev ometov na tako obremenitev,
- oceniti hitrost izločanja vlage in kristalizacije,
- oceniti poškodbe ometa.

Literatura navaja, da pospešene preiskave ne dajo zmeraj zadovoljivih rezultatov za učinkovito analizo. Pri tem predstavlja bistveno vlogo kombinacija podlaga-omet. Vez med obema slojema je namreč ključna za ocenjevanje učinkovitosti sanacijskega ometa [2].

Pri preiskavi smo želeli izvesti čim več učinkovitih primerov ti. pospešene kristalizacije. Pri tem smo opazovali izsuševanje podlage ali ometa, ki je bila zelo prepojena z vlago in solmi. Spremljali smo proces kristalizacije, po obsegu in hitrosti. Na koncu smo ocenili razlike med preizkušanci oz. posameznimi materiali.

## 2 RAZISKAVE

### 2.1 Opis materialov

#### 2.1.1 Sanacijski ometi

Sanacijski ometi se uporabljajo za obnovo ometov, ki jih je poškodovala kapilarna vlaga ali kot preventivna zaščita pri novogradnjah, na z vlago in solmi obremenjenih področjih. Že z zamenjavo klasičnega ometa s sanacijskim dosežemo obstojnost in odpornost površine na vpliv soli. [6].

Pri uporabi klasičnega ometa se pogosto pojavljajo poškodbe, kot so:

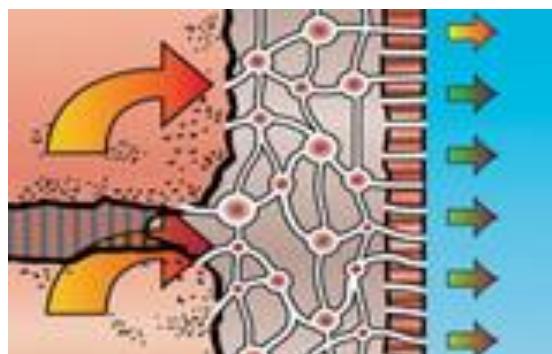
- odpadanje ometa,
- luščenje barve,
- temni madeži zaradi vlage,
- razpoke v ometu.

Na objektih, ki nimajo izvedene hidroizolacije ali je ta poškodovana, so zidovi izpostavljeni kapilarni vlagi. S to vlago se lahko v zid prenašajo soli iz terena in s časoma prehajajo v omet, ter povzročajo njihov razpad. Ob procesu kristalizacije soli se povečuje volumen soli, za kar pa v ometu velikokrat ni na razpolago dovolj prostora. Posledica so mehanske poškodbe na ometu. Zaradi higroskopičnosti soli prihaja tudi do stalne interakcije z vlago iz zraka. S tem mehanizmom se širjenje soli nadaljuje, z njim pa tudi širjenje vlage v zidovih [6].

Prednosti sanacijskih ometov se pokažejo prav na takšnih objektih. Uporabljamo jih pri sanaciji notranjih ali zunanjih zidnih površin, nad terenom ali za sanacijo kletnih površin pod nivojem terena. Poznamo več vrst sanacijskih ometov. Takšne s fino zrnato strukturo, do bolj grobo zrnate strukture in z različnimi dodatki [6].

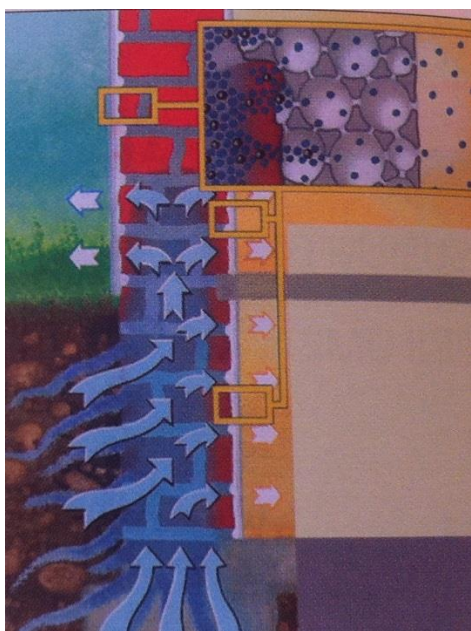
Sanacijski ometi se ločijo po tipu, kjer je najpomembnejši dejavnik kvaliteta agregata in dodatki:

- a.) Sanacijski omet z visokim volumnom por – uporaben je v primerih, ko gre za popravila. Vlaga mora hitro penetrirati v sanacijski omet in izhlapeti v ozračje. Sanacijski omet ima sposobnost navzemanja soli zaradi por relativno velikega volumna (Slika 1). V porah se soli skladiščijo, zmrzujoča vlaga pa se kljub temu lahko razteza in ne povzroča poškodb. Preko sanacijskega ometa se lahko nanese le mineralni omet ali premaz (apneni, silikatni, silikonski), ki je prepusten za paro [7].



Slika 1: Skladiščenje soli v porah [7]

- b.) Sušilni sanacijski omet – deluje na sistemu odvajanja odvečne vlage v zidu preko kapilar v ometu, ki se ob srečanju s toplejšim zrakom na površini ometa pretvarja v paro in se neopazno odvaja v okolje (Slika 2). Preko kapilar v ometu prihaja toplejši zrak v notranjost zidu. Do stika med vlažnimi notranjimi parami in toplejšimi zunanji prihaja na mestu stika ometa z zidom. Tu nastaja obrambni stik, ki ne dovoljuje, da vlaga prodre v omet, ampak se ob stiku s toplejšim zrakom spremeni v paro. Pri tem procesu se upari samo čista voda. V zidu prisotne soli ne morejo prodreti v omet, kjer bi s kristalizacijo lahko povzročile zapiranje kapilar. Tako tudi v daljšem času ne pride do ustavljanja procesa difuzije [6].



Slika 2: Prednost sušilnega ometa - velika propustnost za paro in stabilna struktura por [6]

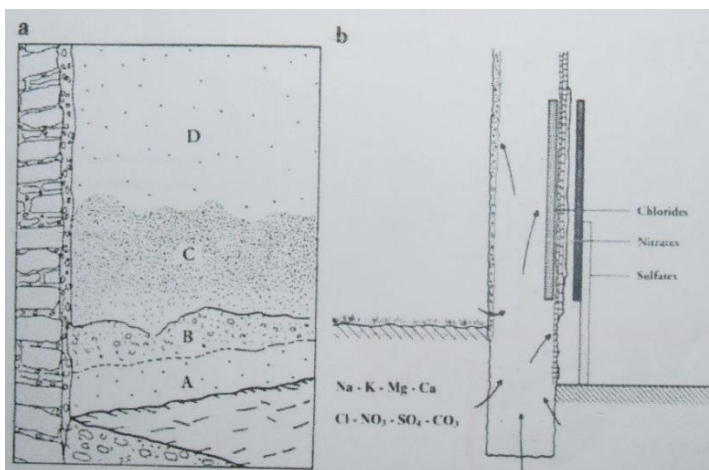
Obravnavani vzorci ometov imajo izrazito povečano vsebnost zračnih por v sveži malti. Te pore imajo sposobnost izločanja vlage in soli. Vsaka od aplikacij uporabe ometa ima različne granulacije peska ter vsebnost in velikost zračnih por. Pri podjetju KEMA izdelujejo sanacijske omete s komercialnim imenom *Kemasan* in *Hydroment* različnih zrnivosti. Bolj grobe malte se nanašajo v začetnih slojih in debelejših nanosih. Za končni nanos se uporabljajo bolj fine malte, ki se morajo nanašati na površino v tankih nanosih. Večina sanacijskih ometov, ki se uporabljajo praviloma nad višino terena, ima v svoji sestavi tudi različne vrste apna [8].

## 2.1.2 Soli

V svojem okolju se srečujemo z veliko različnimi solmi, ki negativno vplivajo na konstrukcijske elemente zgradb. Soli so nedvomno eden izmed pomembnejših dejavnikov, ki povzročajo poškodbe na objektu. Kapilarna vlaga po kapilarah zidu in ometu ne potuje sama, temveč s seboj nosi v vodi topne snovi, kot so kloridi, sulfati, nitrati in druge soli, ki se nahajajo v zemlji in gradbenem materialu. Pri tem pride do prehajanja v vodi raztopljenih soli iz tekočega v trdno agregatno stanje oziroma kristalizacije soli [9].

Med kristalizacijo povzročajo soli kristalizacijske pritiske in s tem poškodbe zidu ali ometa. Soli, ki kristalizirajo blizu površine ometa pa ne povzročijo samo odpadanja ometa, temveč zaradi svoje higroskopičnosti pripomorejo k dodatnemu povečanju vlažnosti ometa, zaradi vlage iz zraka, in s tem posledičnemu širjenju vlage naprej po ometu in zidu. Skoraj v vseh stenah so topne soli. Te so razpršene v porah materialov, ali razporejene lokalno, po navadi v močnejših koncentracijah. Soli so prisotne v različnih oblikah kristalov (na površini, pod površino ali v vodni raztopini znotraj sten oz. zidov) [9].

Tipičen način delovanja soli v zidu starejšega objekta je nazorno prikazan na Sliki 3. Cone so razdeljene od točke, označene z A (pri tleh), do točke D (zgoraj). Najbolj poškodovan je omet v coni B, kjer se le ta drobi in razpada. Glede na obseg je največja cona C, kjer poškodb običajno (še) ni. Pri starih zgradbah cono C prepoznamo kot temen in vlažen omet, ki je lahko v velikosti nekaj centimetrov do nekaj metrov po višini. Na Sliki 3 – desno, je prikazan razpored vrste vodotopnih soli po višini zidu [8].



Slika 3: Cone vlage v zidu (levo); razporeditev različnih soli v apnenem ometu (desno) [8]

Model na Sliki 3 kaže razvoj prisotnosti soli po višini. Vlaga prihaja v zid iz podlage in iz zunanjega okolja, s padavinami. Izhlapenja se začne znotraj stavbe takoj nad nivojem tal in zunaj nad nivojem terena. Vlažnost doseže tisti nivo oz. višino, kjer je ravnotežje med izhlapevanjem in dovodom vedno nove vlage [8].

Soli, katere negativno vplivajo na gradbene materiale, so posledica kemičnega in biološkega preperavanja. Soli so v gradbenih materialih prisotne že v surovinah, po vgradnji v samih zgradbah, ko so le te v eksploataciji - s strani uporabnikov ali onesnažene atmosfere. Prisotnost vlage oz. vode v zidovih namreč s sabo praviloma prinaša raztopljene soli.

Sol kristalizira kot odziv na nihanja v temperaturi in relativni vlagi. Kristalizacija soli je relativno dolgotrajni proces, zato so eksperimenti v laboratoriju lahko zelo zahtevni [2].

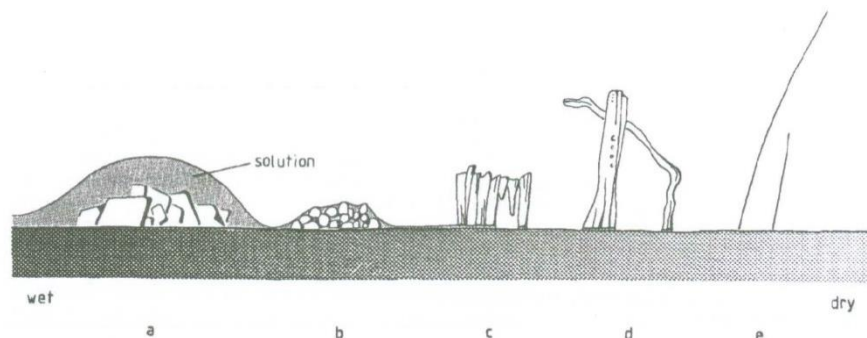


### 2.1.2.1 Kristalizacija in oblika kristalov soli

Sol lahko kristalizira na ali pod površino poroznih materialov, kot posledica izhlapevanja vode. Če kristalizacija nastane na površini, vidimo kristale v »razcveteni« obliki. Oblike kristalov so različne, glede na pogoje in trajanje kristalizacije [10].

Različne oblike kristalov v odvisnosti od vlažnosti podlage prikazuje Slika 4. Oblike kristalov tvori natrijeva sol ( $\text{NaNO}_3$ ) na porozni podlagi. Kristalizacija je razdeljena v 5 stopenj, glede na obliko kristalov. Oblike kristalov sledijo od leve proti desni in so odvisne od deleža vlage:

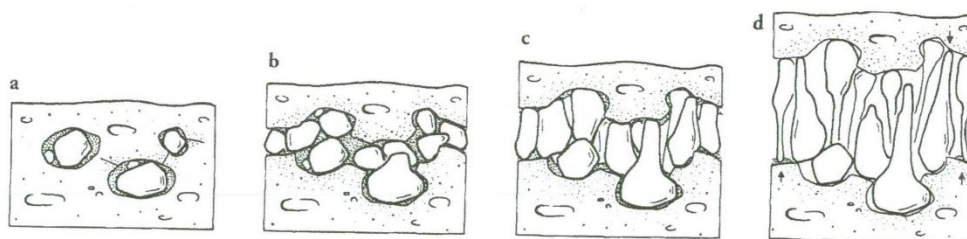
- Na začetku so kristali veliki nekaj sto mikronov. Kristali so prekriti s plastjo raztopine na mokri podlagi.
- Oblika kristalov v stopnji 2 je podobna, vendar bistveno manjša. Doseže velikost manj kot 100 mikronov in ima okrogle robove.
- Tretja stopnja predstavlja oblikovanje v podolgovate oblike.
- Palični in nitasti kristali na rahlo vlažni podlagi so značilnost četrte stopnje.
- V peti stopnji preidejo kristali v povsem igličasto obliko, podobno lasem. Premer takih kristalov doseže samo nekaj deset mikronov. Njihove dolžine dosežejo dolžine do enega centimetra in rastejo iz skorajda suhe površine [10].



Slika 4: Stopnje razvoja kristalov v odvisnosti od vlažnosti zidu [10]

Slika 5 prikazuje razvoj in rast kristalov v poroznem materialu v štirih fazah:

- Kristali soli se oblikujejo v porah velikosti 1-10  $\mu\text{m}$ .
- V drugi fazi kristali soli presežejo velikost pore, pritiski povzročijo razpoke, ki pore povežejo in zdaj lahko kristali zavzamejo celoten prostor povezanih por.
- Ob prisotnosti raztopine soli kristali izometrično rastejo in razmikajo stene povezanih por.
- Z znižanjem deleža vode v območju povezanih por postanejo razmere podobne kot pri stopnji d ali e na Sliki 4, rezultat česar so tanjši kristali soli, ki rastejo v višino in razmikajo stene por [11].



Slika 5: Razvoj kristalov v poroznem materialu [11]

### 3 EKSPERIMENTALNI DEL DIPLOMSKE NALOGE

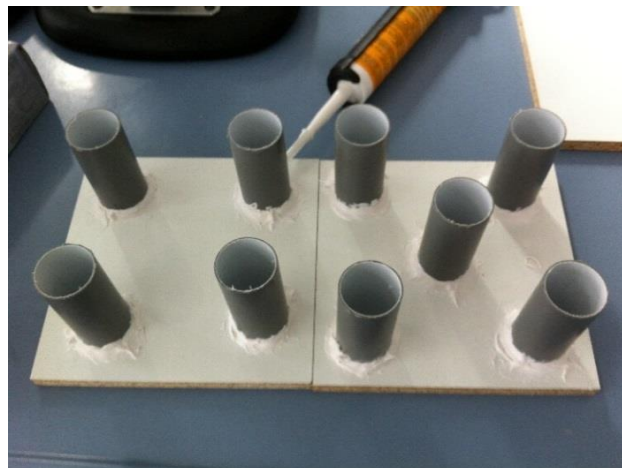
#### 3.1 Priprava preizkušancev

Pri proizvajalcu gradbenih materialov KEMA Puconci smo dobili v analizo štiri različne vrste sanacijskih ometov. Po namenu so podobni (sušenje, sanacija) se pa razlikujejo v sestavi osnovnega materiala in strukturi končnega ometa. Natančne kemijske in mineraloške sestave ter ostalih lastnosti sanacijskih ometov ne poznamo. Vzorce samo označili z oznakami 1, 2, 3 in 4 (Slika 6).



Slika 6: Skladiščeni vzorci suhe mešanice v laboratoriju

Eksperimentalne preiskave kristalizacije in raztapljanja soli smo opravili v ta namen posebej izdelanih komorah, na valjastih vzorcih premera  $\varnothing 55$  mm in dolžine do 20 cm. Dimenzije valjev smo izbrali glede na dimenzije ometov in zidu, saj valjasti preizkušanec najbolje predstavlja notranjost nekega elementa – če želimo simulirati transportne mehanizme. Pripravili smo kalupe - narezane plastične cevi (Slika 7) z višino 15 cm in premerom 5 cm, ter jih s silikonom pritrdili na podlago. Material smo v kalupe vgradili po enem dnevu, ko se je silikon strdil [12].



Slika 7: Priprava kalupov

V kalupe smo vgradili različne vzorce po njihovi sestavi in funkciji, ki so vsebovali:

- a.) Celotni sklop, ki predstavlja zid in je sestavljen iz:
  - Mešanice apneno cementne malte z zdrobljenimi zrni apnenega ometa in opeke, kot podlaga in
  - končni sloj nanesenega sanacijskega ometa.
- b.) Sanacijski omet z majhnimi koščki opeke.

Mešanico apneno cementne malte smo zamešali v volumskem deležu apno-cement-pesek 2:1:4 in dodali še 1,5 volumskega deleža zdrobljenih zrn apnenega ometa. Med vgrajevanjem malte v kalupe, smo dodajali še koščke opeke (Slika 8). S tako sestavo smo preizkušane najboljše približali sestavi dejanskega zidu.



Slika 8: Koščki opeke v mešanici apneno-cementne malte

Po enem dnevu smo zamešali še sanacijske omete po receptu, ki je podan v Preglednici 1 in jih nanесли na mešanico že strjene apneno cementne malte. Predhodno smo apneno cementno malto spraskali z žebljem – na vrhu je nastala vlažna plast, da je bila sprejemnost z zamešanimi sanacijskimi ometi in že strjeno mešanico boljša. Ker sem pri proizvajalcu dobila štiri različne vrste sanacijskih ometov, smo pripravila štiri različne mešanice.



Slika 9: Vzorci suhe mešanice ometov, ki se med seboj razlikujejo po sestavi

V 2 kg suhe mešanice smo zamešali vodo po navodilih proizvajalca in po mešanju v trajanju 10 minut določili razlez in prostorninsko maso svežih mešanic. Podatki o količini dodane vode, lastnostih mešanic v svežem stanju in izgledu suhih mešanic (pred dodajanjem vode) so navedeni v Preglednici 1.

Preglednica 1: Rezultati razleza in prostorninske mase pri določeni količini dodane vode na dejanskih vzorcih sanacijskih ometov

	<b>VZOREC 1</b>	<b>VZOREC 2</b>	<b>VZOREC 3</b>	<b>VZOREC 4</b>
<b>Količina dodane vode [g]</b>	350	262	254	354
<b>Razlez [mm]</b>	160 x 165	170 x 170	163 x 163	140 x 143
<b>Prostorninska masa [g]</b>	1762	1188	928	1536
<b>Lastnost suhe mešanice sanacijskega ometa (Slika 9)</b>	- sivo-rjava prašna mešanica - Dmax = 2,5 mm	- siv prah - Dmax = 3 mm	- siv prah - Dmax = 3 mm	- sivo-rjava prašna mešanica - Dmax = 1 mm

Iz rezultatov v Preglednici 1 je razvidno, da smo pri sanacijskem ometu z manjšimi in bolj finimi zrni uporabili več vode, saj je mešanica šele takrat dosegla ustrezno konsistenco. Granulacijska sestava in razni dodatki vplivajo tudi na prostorninsko maso. V tistih mešanicah, kjer so zrna večja, je bila prostorninska masa občutno manjša. Zaradi tega sklepamo, da je bila vsebnost zračnih por v sveži malti večja.

Pri mešanju vzorcev nam je bilo glavno vodilo za pravilno zamešan omet - konsistenca materiala, ki se preizkuša na svežih mešanicah materialov. Konsistenca predstavlja mero vgradljivosti in obdelovalnosti svežih mešanic. Obstaja več vrst postopkov, ki med seboj niso povsem primerljivi [13]. Mi smo izbrali metodo razleza na stresalni mizici po standardu SIST EN 1015-3 [14].

Standard SIST EN 1015-3 določa uporabo stresalne mizice. Na stresalno mizico položimo prisekan stožec standardnih dimenzij, katerega napolnimo z vzorcem sveže malte oziroma ometa. Stožec odstranimo in po 15-ih padcih plošče stresalne mizice za en centimeter izmerimo razlez vzorca v dveh pravokotnih smereh. Kot rezultat podamo povprečno vrednost obeh meritev v mm. Povezava terenskih preizkusov z metodo razleza pokaže, da je za omete primerna mehko plastična malta razleza od 150 mm do 200 mm. Ustrezen razlez je odvisen od vrste ometa (grobi ali fini omet), poroznosti podlage in načina vgradnje (strojno ali ročno) [14].

Razlez za mešanico apneno-cementne malte z zdrobljenimi zrni apnenega ometa je bil 240 x 240 mm, medtem ko se je pri sanacijskih ometih le ta gibal med 150 - 185 mm. Na Sliki 10 je razlez vzorca in merjenje, ki smo ga izvedli v dveh pravokotnih smereh.



Slika 10: Merjenje razleza

Vzorci smo vgradili v kalupe (Slika 11, Slika 12) in jih pustili, da se strdijo. Čez 24 ur smo odstranili podlago in pustili, da se vzorci sušijo iz obeh strani (Slika 13). Po preteku 28 dni smo vzorce vzeli iz plastičnih cevi. Od štirih različnih skupin (sestav) preizkušancev ena skupina ni bila primerna za nadaljnjo obdelavo, saj so vsi preizkušanci po odstranitvi kalupa praktično razpadli (Slika 14). Najverjetnejši razlog temu je količina dodane vode.



Slika 11: Vgrajevanje vzorcev v kalupe



Slika 12 Strjeni vzorci v kalupih



Slika 13 Sušenje vzorcev



Slika 14: Neuspešen poskus odstranitve kalupa

Končni osušeni vzorci sanacijskih ometov so sivo-bele barve. Zaradi poznejše boljše ločljivosti kristalov soli, ki so praviloma bele barve, od površine preizkušanca in posledično ločljivosti in vidljivosti kristalov pod mikroskopom, smo pobarvali preizkušance z rdečo prekrivno barvo (Slika 15). Uporabili smo žgano seno in oksidno rdečo barvo, ki je naravna in v ničemer ne spremeni funkcije in lastnosti osnovnega materiala [12].



Slika 15: Obarvana površina preizkušancev

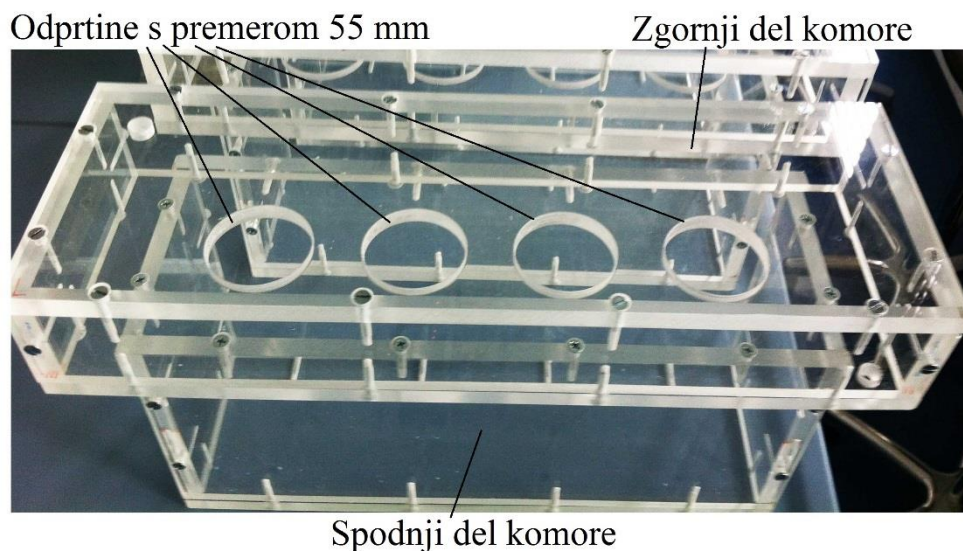
## 3.2 Opis pogojev

### 3.2.1 Komore

Eksperimentalni poskus smo si zamislili in izvedli v komorah sestavljenih iz dveh delov. V vsakem delu lahko ločeno vzdržujemo različne pogoje med preizkušanjem. Material za komore je pleksi steklo, ki je do določene meje odporno na povišano temperaturo. Skozi njega je omogočeno spremljanje sprememb na vgrajenem materialu vizualno in z mikroskopom. Preizkušanci s premerom 5 cm so nameščeni v predhodno pripravljene luknje in pritrjeni s silikonom, ki ima tudi funkcijo tesnjenja. Prehod raztopine ali vlage je omogočen izključno skozi material preizkušanca.

Komoro smo sestavili iz pravokotnih kosov pleksi stekla izrezanih po v naprej določenih merah. Z vijaki smo robove posameznih kosov povezali med sabo, tako da sta nastala dva kvadra, kjer je spodnji omogočal naleganje zgornjega. Še pred končno sestavo komore smo na tistem delu, ki je povezoval zgornji in spodnji del izvrtali krožne odprtine s premerom 5,5 cm ( $\text{Ø}55\text{mm}$ ), za kasnejše vgrajevanje preizkušancev (Slika 16).

Zgornji del komore je namenjen nasičeni vodni raztopini soli, s katero so prekriti vsi vzorci. V spodnjem delu komore smo ustvarjali ustrezne pogoje relativne vlažnosti in temperature za simulacijo pogojev okolja, ki so podobni našemu podnebjju. Na primer večja relativna vlažnost v primeru, ko gre za padavine in zmanjšana relativna vlažnost zraka, ko je temperatura višja [12].



Slika 16: Komora iz pleksi stekla

### 3.2.1.1 Vgrajevanje preizkušancev v komore

Opisana metoda za opazovanje kristalizacije in raztapljanja soli je nova in nepreizkušena. Potrebno je bilo dosti iznajdljivosti in eksperimentiranja med samim potekom preiskave, brez zapletov pa ni šlo niti pri vgradnji samih preizkušancev.

Preizkušance valjaste oblike smo vstavili v odprtine tako, da so bili približno 2-3 cm v zgornjem delu komore, kjer smo jih pozneje izpostavili nasičeni vodni raztopini soli, preostali del pa v spodnjem delu, kjer smo spreminjali pogoje relativne vlažnosti in opazovali, kaj se z vzorcem dogaja. Potrebno je bilo veliko potrpežljivosti pri samem vgrajevanju, saj je vgradnja vzorcev bila kar nekajkrat neuspešna (Slika 17). Prvi poizkus vgrajevanja ni uspel, ker sprjemnost med preizkušanci in komoro ni bila dovolj močna. Pred ponovnim vgrajevanjem smo vzorce namazali s posebnim pred namazom, ki omogoča boljši oprijem silikona na vzorec. Tokrat je silikon opravil svojo funkcijo (Slika 18).



Slika 17: Vgradnja preizkušancev in sušenje silikona



Slika 18: Vgrajena komora



### **3.2.2 Ustvarjanje umetnih pogojev**

V delu komore, ki je namenjen ustvarjanju pogojev okolja, je bilo treba ustvariti konstantne pogoje za določeno časovno obdobje. Spreminjali smo temperaturo in relativno vlago. Ta del komore je na Sliki 16 označen kot spodnji del komore.

#### **3.2.2.1 Vzdrževanje konstantne relativne vlažnosti**

Vzdrževanje konstantne relativne vlažnosti smo opravili z uporabo nasičenih vodnih raztopin različnih soli, kot je opisano v standardu ASTM E 104-02. V spodnji del komore smo dali posodo s soljo in dodano vodo, tako da je nastala nasičena solna raztopina [14]. Z ustrezno izbiro soli dosežemo, da se stopnja relativne vlažnosti ne spreminja in ostane konstantna za določen čas, dokler ne spremenimo pogojev [15].

Sam potek ustvarjanja relativne vlažnosti je opisan v poglavju 3.3.

#### **3.2.3 Spreminjanje pogojev okolja**

Pogoji, katerim so bili preizkušanci izpostavljeni, so bili vnaprej le okvirno določeni. Pustili smo možnost, da pogoje še dodatno prilagodimo glede na to, kakšen bo odziv materiala. Na voljo smo imeli več možnosti:

- sobna temperatura in relativna vlažnost v laboratoriju ( približno 22°C in Rh=60%)
- grelna komora - višja temperatura in nižja relativna vlažnost (40°C in Rh=10%)
- zamrzovalna komora - nizka temperatura, nizka relativna vlažnost ( -15°C in Rh=10%)
- visoka relativna vlažnost pri različnih temperaturah (Rh=95%)

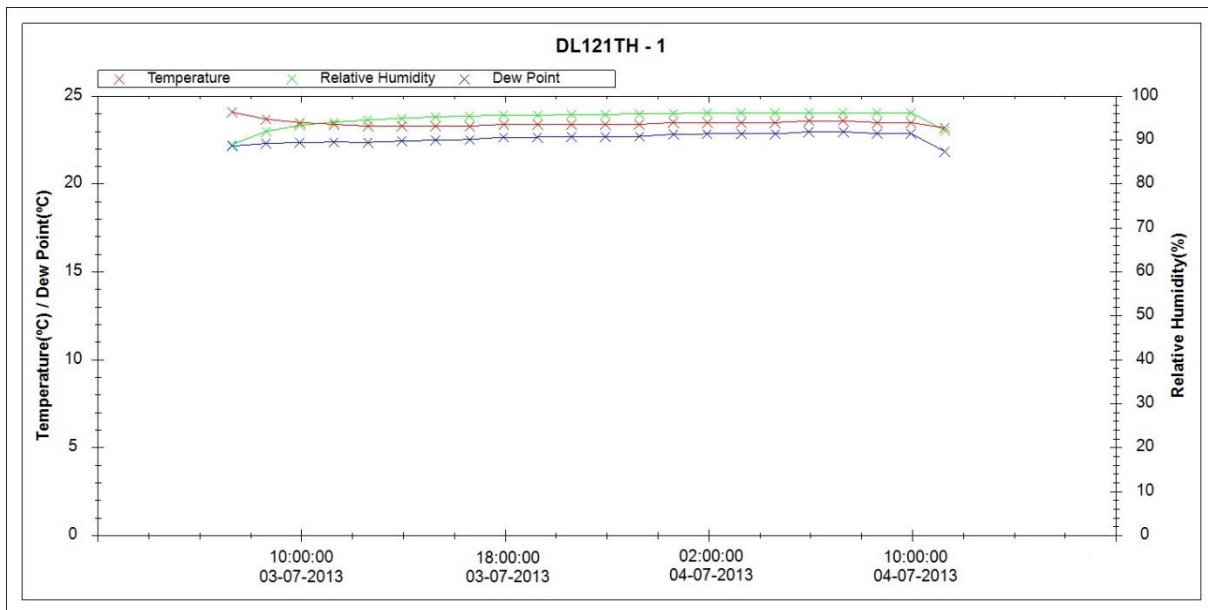
### 3.3 Test vzdrževanja konstantne temperature in relativne vlažnosti

Pred začetkom ustvarjanja pogojev v komorah s pravimi vzorci, smo preizkušali v testnih posodah brez vzorcev, če je takšno vzdrževanje konstantne temperature in relativne vlažnosti, kot smo si ga zamislili, sploh mogoče izvesti.

Vzeli smo dve posodi in vanje položili merilec relativne vlažnosti in temperature. V vsaki posodi posebej smo poskušali doseči pri sobni temperaturi:

- Padanje relativne vlažnosti s pomočjo zrn silica gela.
- Vzdrževanje visoke relativne vlažnosti .

Pri vzdrževanju visoke relativne vlažnosti smo uporabili v poglavju 2.3.2.1 že omenjeno metodo s solno raztopino. Prostor smo visoko navlažili z vrelo vodo v eni manjši posodici, zraven nje pa namestili posodico z nasičeno raztopino soli NaCl, ki jo predvideva standard [15]. V plastično posodo smo nasipali zrnca soli in nato s kapalko kapljali destilirano vodo, dokler se ni raztopila večina soli (Slika 20). Sol je poskrbela za to, da je bila relativna vlažnost konstantna. V povprečju je le ta dosegala 90 %. Na Sliki 19 je lepo prikazana konstantna temperatura z rdečo barvo in relativna vlažnost z zeleno barvo skozi celoten čas testiranja. Padec relativne vlažnosti na koncu grafa lahko pripišemo merjenju, ko smo posodo že odpri in so se pogoji nekoliko spremenili.



Slika 19: Vzdrževanje konstantne relativne vlažnosti in temperature

Test (Slika 21) smo izvajali 24 ur. V tem času je v posodi, kjer je vreli vodi bila dodana v posodici nasičena raztopina soli, relativna vlažnost skozi cel čas ostala konstantna. Medtem, ko je v drugi posodi, kjer smo najprej ustvarili visoko relativno vlago, le ta padala, kot posledica namestitve silica gela, vendar zelo počasi.



Slika 20: Priprava testa



Slika 21: Izvedba testa

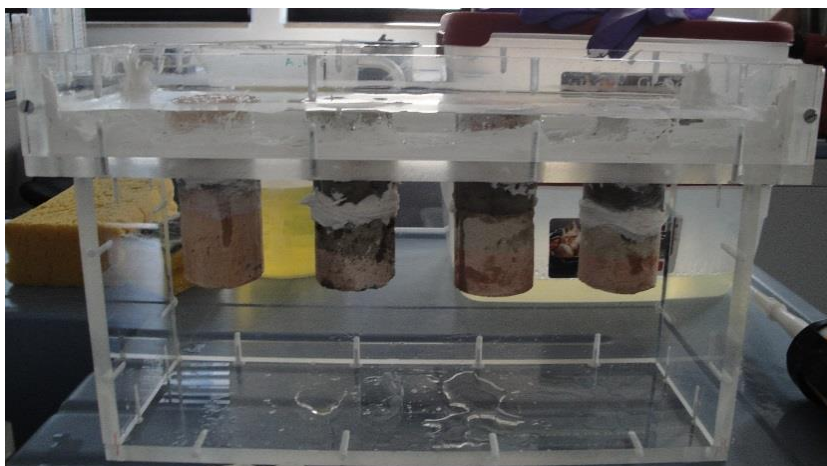
### 3.4 Delovanje soli na preizkušance v komorah

Po vseh pripravljalnih fazah izdelave preizkušancev, komor ter študiranju principa samega spreminjanja okoljskih pogojev, je nastopilo obdobje za opazovanje in spremljanje delovanja soli na sanacijske omete. V zgornji del komore smo nalili eno molarno raztopino natrijevega klorida (1M NaCl). NaCl smo izbrali zaradi tega, ker jo najdemo povsod po Sloveniji. Poleg obalnega pasu, kjer NaCl izvira iz zraka in morske vode, se drugje po Sloveniji uporablja tudi pri soljenju cest, in pri raznašanju se le-ta lahko neposredno dviga iz tal v zidove naših hiš. Pri pripravi 1 molarne raztopine smo v 1 liter destilirane vode nasipali 58,44 g zrnca NaCl (Slika 22).



Slika 22: Pripravljena ena molarna raztopina NaCl

Tudi v tej fazi preiskav ni šlo vse po načrtih. Ko smo nalili raztopino, so sestavljene komore začele puščati po spojih, ki niso bili dovolj čvrsto pritrjeni. Pri nekaterih vzorcih je nasičena raztopina začela teči celo skozi preizkušanec (Slika 23). Praviloma je to veljalo za preizkušance izdelane samo iz sanacijskega ometa. To pomeni, da so bili ti materiali preveč prepustni za raztopino in jih nismo mogli uporabiti v nadaljnjem eksperimentu. Lahko, da je material kakovosten, vendar tega mi z izbranim pristopom (metodo) nismo mogli dokazati. Material ima očitno večjo vsebnost povezanih kapilarnih por, ki relativno neovirano prepuščajo vodno raztopino skozi material.



Slika 23: Puščanje komore

Po zatesnitvi reg, skozi katere je uhajala voda, smo uspeli vzpostaviti normalne pogoje in napolniti zgornji del komore z 1M raztopino NaCl. Preizkušance smo pri sobni temperaturi in relativni vlažnosti ( $T \approx 22 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $Rh \approx 60 \%$ ) izpostavili pospešenemu močenju z nasičeno raztopino soli 10 tednov.

## **REZULTATI:**

Pri preiskavah smo spremljali vpliv delovanja soli na osmih preizkušancih v dveh komorah. Med opazovanjem sta bili komori v treh ciklih izpostavljene različni temperaturi in relativni vlažnosti. Razporeditev vzorcev v komorah in njihova sestava je predstavljena v Preglednici 2.

Preglednica 2: Tipi preizkušancev razporejeni v komorah

	Št. preizkušanca	Material sanacijskega ometa (Vzorci 1-4)	Apneno cementna podlaga (ACP) ali samo omet (O)
<b>KOMORA 1</b> (Slika 24)	1	1	O
	2	4	O
	3	4	ACP
	4	1	O
<b>KOMORA 2</b> (Slika 25)	5	1	ACP
	6	2	ACP
	7	4	ACP
	8	4	ACP



Slika 24: Preizkušanci izpostavljeni močenju z vodno raztopino soli v 1. komori



Slika 25: Preizkušanci izpostavljeni močenju z vodno raztopino soli v 2. komori

Glede na spreminjanje pogojev v komori smo opazovanje preizkušancev razdelili v tri korake - cikle. V prvem ciklu so bili izpostavljeni pospešenemu močenju z vodno raztopino soli, neprekinjeno pet tednov. V tem času smo jih vizualno analizirali vsak dan. Spremembe so bile minimalne. Dokumentirana opazovanja in posnetki s 3D optičnim mikroskopom (Slika 26) so zato nastali samo v drugem tednu in po preteku petih tednov, pri 50-kratni povečavi.

Sistem 3D optične mikroskopije je učinkovita neporušna metoda, za spremljanje in detekcijo poškodb na različnih segmentih gradbenih elementov. Z njim je možno analizirati in spremljati napredovanje površinskih poškodb, ter posneti trenutno stanje površine kot multi-fokus sliko. Sistem vključuje dve prenosni in eno neprenosno lečo, ter je nadgrajen še z enoto motoriziranega stojala. Omogoča slikanje v več korakih in s tem izdelavo 2D ali 3D slik [16].



Slika 26: Mikroskopiranje s 3D optičnim mikroskopom

### Začetno stanje:

Pred začetkom izvajanja eksperimenta smo vse preizkušance posneli s fotoaparatom in 3D optičnim mikroskopom. Tako smo dokumentirali začetno – 0 stanje preizkušancev, kot ga prikazujejo Slike: Slika 27, Slika 28, Slika 29. Pri vsaki sliki je levo posnetek s fotoaparatom in desno z optičnim mikroskopom pri 50-kratni povečavi.



Slika 27: Začetno stanje preizkušanca št.1



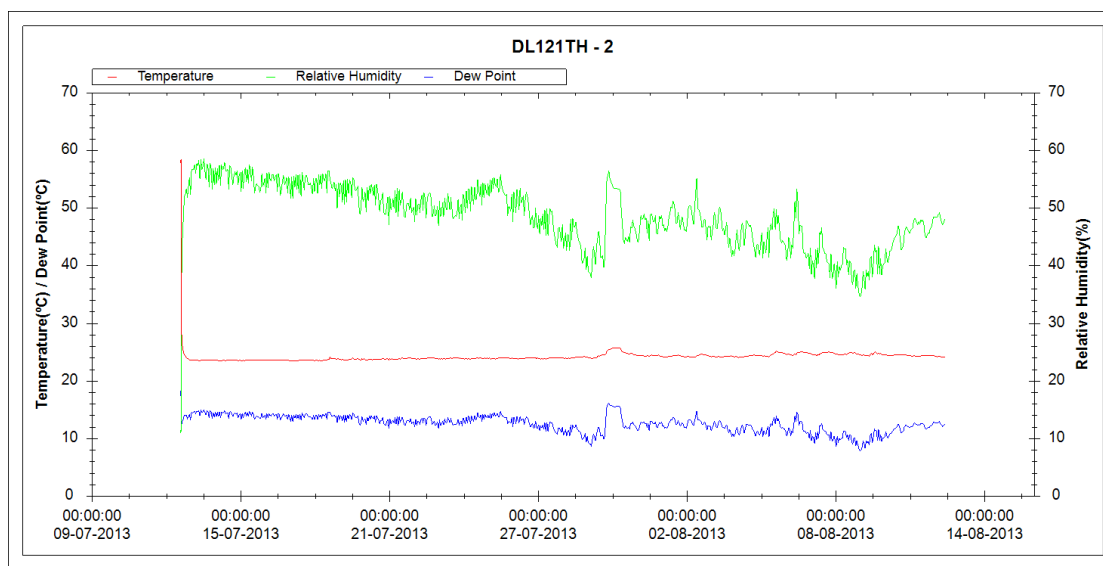
Slika 28: Začetno stanje preizkušanca št.2



Slika 29: Začetno stanje preizkušanca št.7 – sklop

### Prvi cikel (stanje po dveh oz. petih tednih):

Slika 30 prikazuje pogoje v komori za obdobje od 12.7. do 12.8. 2013 (prvi štiri tedni). Enaki pogoji so veljali še do 5. tedna, ko smo preizkušance analizirali s 3D optičnim mikroskopom. Z zeleno je označena relativna vlažnost v prostoru, ki je nihala, vendar ne več kot  $\pm 20\%$ . Z rdečo črto je prikazana temperatura, ki je bila konstantna skozi celotno obdobje opazovanja. Nihanje na začetku grafa lahko pripišemo prvemu merjenju merilca, ko je bil le ta isti dan izpostavljen drugim pogojem okolja.

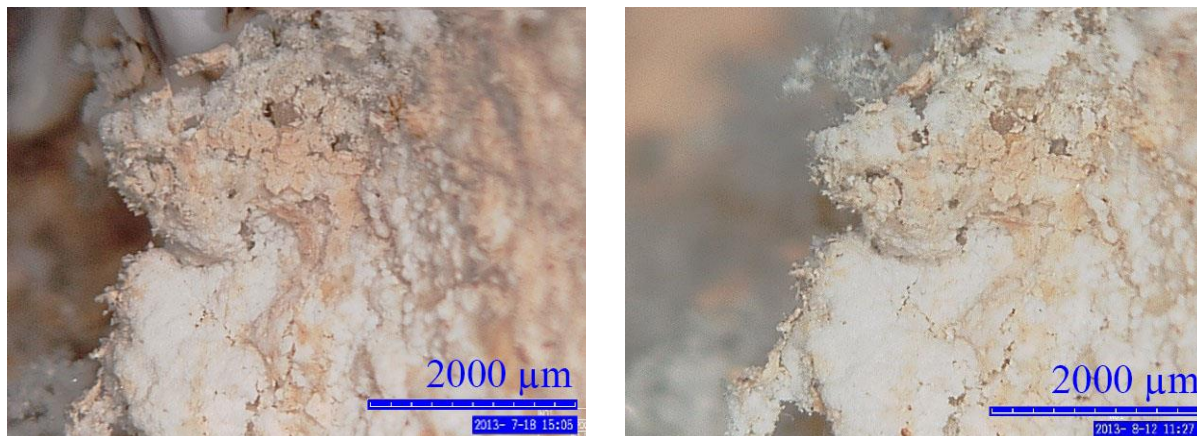


Slika 30: Pogoji v komori od 12.7 – 12.8. 2013

Na določenih preizkušancih je površina sanacijskega ometa delno nabreknila. Na drugih se je pojavila kristalizacija soli, na tretjih pa sprememb na površini preizkušancev v tem času s prosim očesom ni bilo zaslediti.

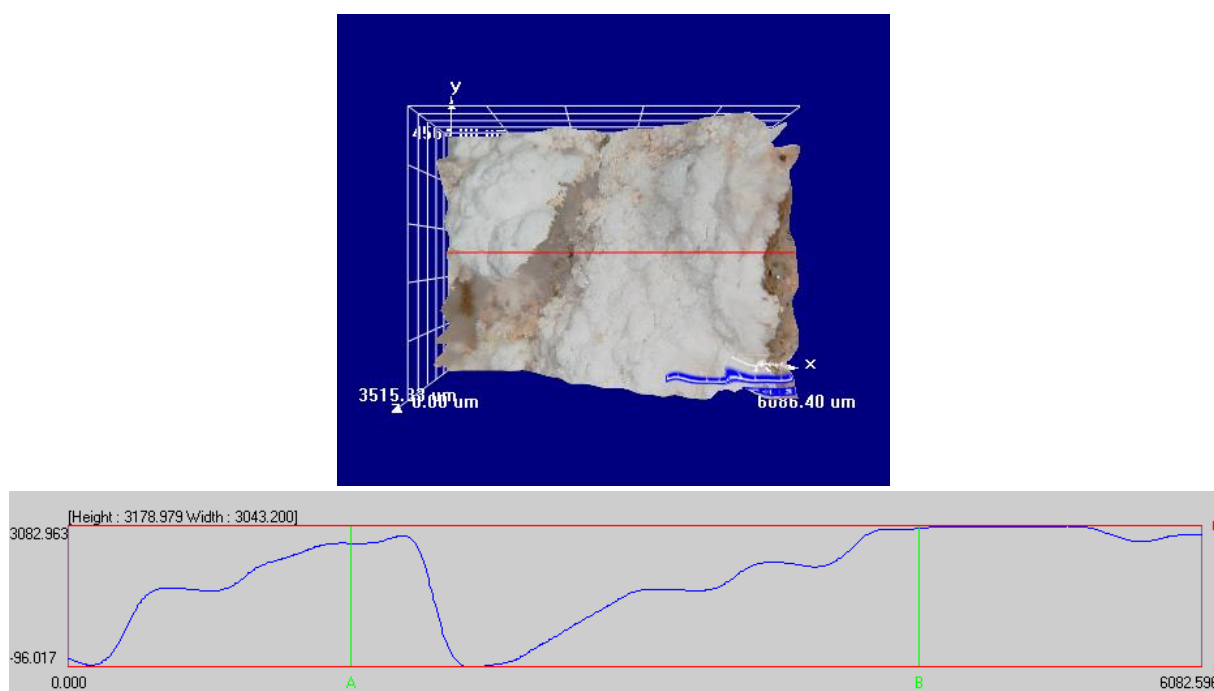


Slika 31 prikazuje detajl preizkušanca št. 1 v delu sanacijskega ometa, kjer je bila kristalizacija soli že po dveh tednih izrazita. Po petih tednih je bila kristalizacija zelo povečana. Na površini tega preizkušanca so bile opazne manjše poškodbe v obliki luščenja.



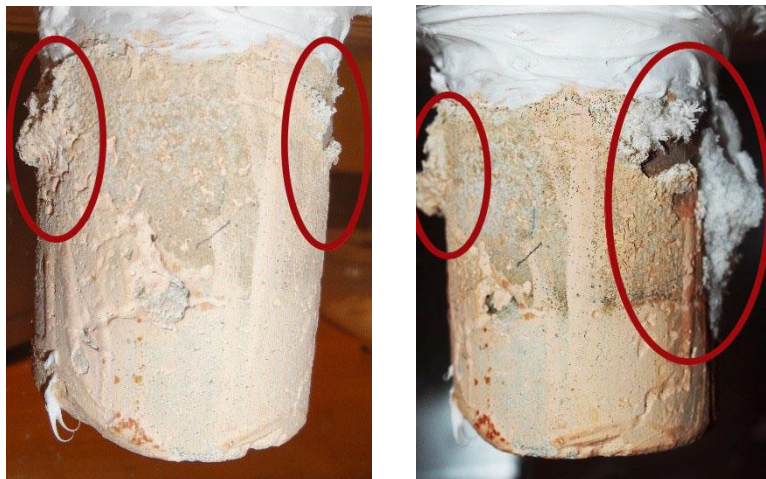
Slika 31: Preizkušavec št.1 po 2 tednih (levo) 3D in 2D po 5 tednih (desno)

Na preizkušancu št. 1 je bila kristalizacija močno izražena, zato smo posneli segment kristalov s 3D fotografijo in istočasno izrisali diagram višin poteka kristalov na površini. Na 3D sliki (Slika 32 zgoraj) se lepo vidi odstopanje barvne plasti skupaj s soljo, ki znaša približno 3 mm. To je razvidno iz topografije prereza na Sliki 32 spodaj.



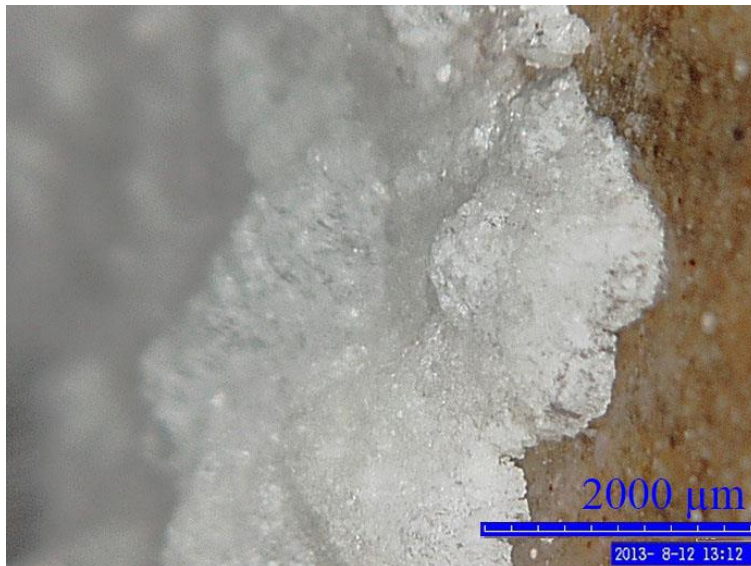
Slika 32: 3D fotografija kristala preizkušanca št. 1 (zgoraj) in diagram spreminjanja višine kristalov po osi z (spodaj) po 2 tednih

Slika 33 prikazuje preizkušane št. 2 brez povečave po dveh tednih in po preteku petih tednov. Opazimo lahko napredovanje kristalizacije po obsegu, saj je površina, katero je zapolnila sol precej večja.



Slika 33: Rast kristalov na preizkušancu št. 2 po 2.tednu (levo) in po 5.tednu (desno).

Kristalizacija na preizkušancu št. 7, ki je bil izveden kot sklop (podlaga in sanacijski omet) je bila drugačna. Na meji med podlago in sanacijskim ometom, je prišlo do močne kristalizacije soli v obliki skorje. Posebej lepo se kristalizacija vidi pri 50x povečavi na Sliki 34 [12].



Slika 34: Kristalizacija na preizkušanci št. 7 – sklop

V Preglednici 3 smo opisali vidne spremembe površine sanacijskega ometa po prvem ciklu. Na vseh preizkušancih je bila kristalizacija izjemno izrazita. Poškodbe so bile na splošno minimalne. Za preizkušanca št. 1 in 2 sem dodelila visoke ocene za poškodbe (izbočenje, nabreknjenost), čeprav poškodovanost ni bila izrazita po celi površini preizkušanca, ampak le lokalno.

Na ostalih preizkušancih, ki niso zajeti v tabeli, praktično ni bilo opaziti pomembnih sprememb površine.

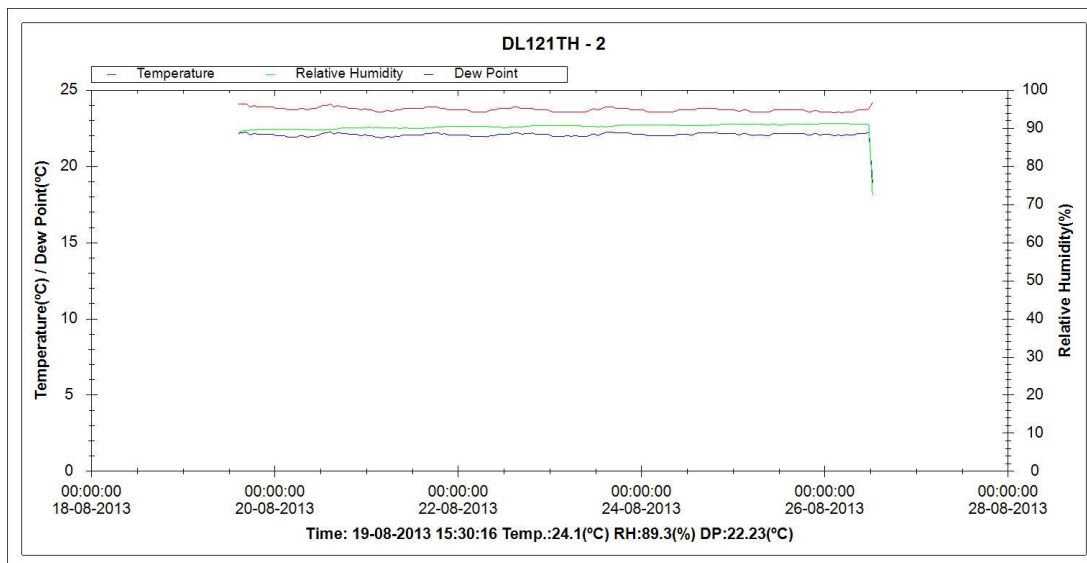
Preglednica 3: Poškodbe na preizkušancih ( 0 = začetno stanje, 5 = max), opazovanje po tednih (1-5)

Št. preizkušanca	Tedni					Vrsta poškodb	OPOMBE
	1	2	3	4	5		
1	0	0	1	2	2	Luščenje	
	0	1	1	1	1	Male razpoke	
	0	1	2	2	3	Izbočenje, nabreknjenost	Poškodbe lokalno
2	0	0	1	2	3	Luščenje	
	0	0	0	0	0	Male razpoke	
	0	0	1	2	3	Izbočenje, nabreknjenost	Poškodbe lokalno
7	0	0	0	0	0	Luščenje	
	0	0	0	0	0	Male razpoke	
	0	1	1	1	1	Izbočenje, nabreknjenost	

## Drugi cikel (šesti teden)

Zaradi prevelikega obsega preiskav smo se v nadaljevanju odločili spremljati pogoje samo v komori št. 1 (Slika 36).

Naslednji cikel je predstavljal bistveno spremembo pogojev v komori. Pogoji so bili nastavljeni na visoko vlažnost, ki je bila povprečno 90 % in konstantno sobno temperaturo 22°C. Iz grafa na Sliki 35 je razvidno, da sta oba opazovana parametra v navedenem obdobju precej konstantna. Z rdečo črto je zapisana temperatura, zelena črta pa prikazuje gibanje relativne vlažnosti.



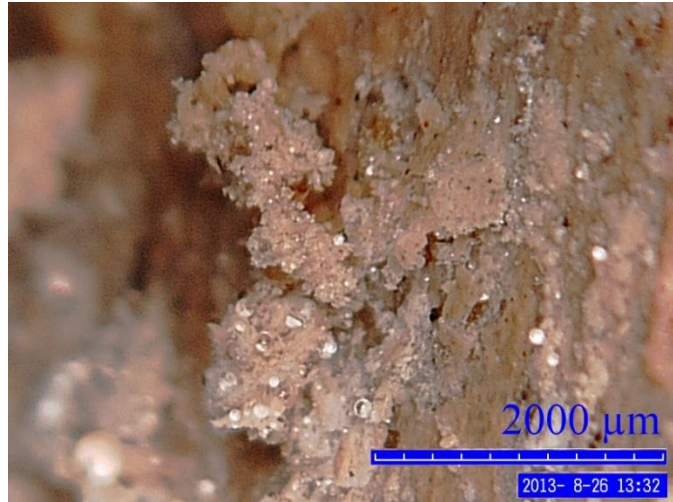
Slika 35: Prikaz grafa visoke konstantne relativne vlažnosti v obdobju med 19.8.-26.8.2013 (en teden)

Po tednu dni smo opazili, da je prišlo do raztapljanja soli na vseh preizkušancih, ki so se v predhodni fazi izločile na površini vzorcev v obliki kristalov. S prostim očesom so bili kristali soli težko razpoznavni, v primerjavi z ometom. Tudi obseg in velikost kristalov po površini sta bila manjša.



Slika 36: Posnetek komore s preizkušanci po spremembi pogojev

Slika 37 in Slika 38 predstavljata površino preizkušancev št. 1 in št. 2. Na levi strani je posnetek s fotoaparatom, na desni pa fotografija posneta s pomočjo optičnega mikroskopa. Pod mikroskopom je lepo vidna površina preizkušanca, kjer je prišlo do odstopanja barvne plasti. Prav tako so vidne poškodbe nabrekanja sanacijskega ometa.



Slika 37: Preizkušanec št. 1 po raztapljanju kristalov soli

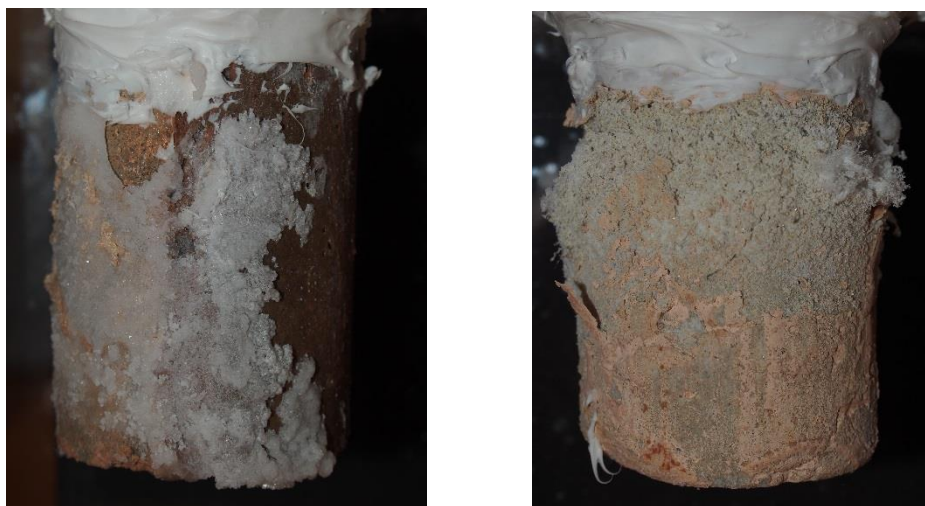


Slika 38: Preizkušanec št. 2 po raztapljanju kristalov soli

S tem smo zaključili drugi cikel - spremljanje in analiziranje raztapljanja kristalov soli.

**Tretji cikel (enaki pogoji kot v prvem ciklu – sedmi do deseti teden):**

Nazadnje smo vzorce pustili sušiti pri konstantni sobni temperaturi in relativni vlažnosti še en mesec. Opazili smo spremembe na preizkušancih, saj so kristali soli spremenili svoje oblike, na ometih pa so se pojavile dodatne razpoke in luščenje, prikazano na Sliki 39.



Slika 39: Preizkušanca št. 1 (levo) in št. 2 (desno) - spremembe po 10 tednih opazovanja

Preglednica 4 prikazuje poškodbe ob zaključku preizkusov in našega opazovanja sprememb.

Preglednica 4: Poškodbe na preizkušancih (0 = začetno stanje, 5 = max), opazovanje po tednih (6-10)

Št. preizkušanca	Tedni		Vrsta poškodb	OPOMBE
	6	7-10		
1	2	3	Luščenje	
	1	1	Male razpoke	
	2	4	Izbočenje, nabreknjenost	Poškodbe lokalno
2	3	5	Luščenje	Odpadel je oplesk
	0	0	Male razpoke	
	4	5	Izbočenje, nabreknjenost	Poškodbe lokalno

Na koncu tretjega cikla smo evidentirali spremembe na preizkušancu št. 4, ki ga prej nismo obravnavali, saj se od začetnega stanja ni bistveno spreminjal. Pojavili so se zanimivi, zelo tanki nitasti kristali, ki rastejo v zrak iz skorajda suhe površine (Slika 40).



Slika 40: Preizkušanec št. 4 - kristali v obliki tankih iglic

Po zaključenem delu eksperimentalnega poizkusa in opazovanja spreminjanja preizkušancev smo le te odstranili iz komor. Preden smo preizkušance zavrgli, smo jih prelomili in preverili ali se je med poizkusom kaj dogajalo tudi v notranjosti preizkušanca (Slika 41). Ugotovili smo, da v notranjosti ni prišlo do kristalizacije soli ali razpok materiala. Pri tem lahko sklepamo, da je material dobro opravil svojo funkcijo in raztopino soli uspešno odvajal na ovoj preizkušanca, kjer smo spremljali različne oblike kristalizacije.



Slika 41: Prelomljen preizkušanec; brez poškodb v notranjosti zaradi kristalizacije

#### 4 ZAKLJUČEK

S pomočjo dvo-prostorske komore nam je na preizkušancih uspelo v relativno kratkem času vzpostaviti pogoje, ki so sanacijskim ometom dali možnost hitrega izločanja vlage (že po enem tednu). Preizkušanci so bili izpostavljeni raztopini 1M NaCl preko zgornjega prekata s pomočjo gravitacije. Na površini ometov se je pojavila intenzivna kristalizacija soli, katero smo spremljali in ocenjevali. Na koncu smo s pomočjo spreminjanja pogojev v komori sprožili naslednji cikel, to je raztapljanje kristalov soli.

Analitično smo primerjali dobljene rezultate na osmih preizkušancih. Pri petih je bila uporabljena apneno-cementna malta kot podlaga, pri ostalih samo sanacijski omet brez podlage. Pri enem preizkušancu z apneno-cementno podlago je prišlo do kristalizacije na meji med podlago in sanacijskim ometom, kar kaže na neustrezen stik med podlago in sanacijskim ometom.

Kar pri sedmih vzorcih (od skupno osem) ni bilo opaziti poškodb površine na sanacijskem ometu. Čeprav so bili preizkušanci izpostavljeni nadpovprečno težkim pogojem (raztopini soli in vode), so uspeli hitro prevajati raztopino in zagotoviti kristalizacijo predvsem na površini preizkušancev. Te karakteristike sanacijskih ometov smo potrdili tudi s porušno preiskavo na koncu zadnjega cikla. Notranjost preizkušancev je bila povsem nepoškodovana. S tem so se pokazale ustrezne lastnosti obravnavanih materialov.



## VIRI

- [1] Arioglu, N., Acun, S. 2005. A research about a method for restoration of tradicional lime mortars and plasters: A staging system approach. *Building and Environmental* 41 (2006): str. 1223-1230.
- [2] Wijffels, T., Lubelli B. 2006. Development of a new accelerated salt crystallization test. *Heron*, 51,1: 63-79.
- [3] Blauer Bohm, C. 2005. Quantitative Salt Analysis in Conservation of Buildings. *Restoration of Buildings and Monuments* 11, 6: 1-10.
- [4] Zehnder, K. 2007. Long-term monitoring of wall paintings affected by soluble salts. *Environmental Geology* 52, 2: 353-367.
- [5] V. Lopez-Acevedo, C. Viedma, V. Gonzalez, A. La Iglesia. Salt crystallization in porous construction materials II. Mass transport and crystallization processes. *Journal of Crystal Growth* 97, 2: 103-110
- [6] Kema katalog produktov. 2012. Puconci, Kema, str. 53-57.
- [7] Sanacija od vlage in soli poškodovanih fasad. 2013  
<http://www.weber-terranova.si/sanacija-in-obnova/weber-proizvodi/izvedba-sanacije/sanacije-s-sanacijskimi-ometi/kako-poteka-sanacija-od-vlage-in-soli-poskodovanih-fasad.html#tab1>  
(Pridobljeno 10. 8. 2013).
- [8] Tehnični listi sanacijskih ometov. 2012.  
<http://www.kema.si/si/vsebina/produkti/po-produktnih-skupinah/sanirni-ometi/73>  
(Pridobljeno 10. 5. 2013).
- [9] Polajner. S. 2011. Kapilarna vlaga in vlažni zidovi. *Gradbenik*, 15,5: 22-23.
- [10] Zehnder, K., Arnold, A. 1989. Crystal growth in salt efflorescence. *Journal of Crystal Growth* 97 513-521: 513-521.
- [11] Arnold, A., Zehnder, K. 1996. Monitoring Wall Paintings Affected by Soluble Salts. V: Sharon, C. *The Conservation of Wall Paintings, Proceedings of a symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute, London, julij 13-16, 1987.* 103-135.
- [12] Štukovnik. P., Franko. P., Čepon. F., Bokan Bosiljkov, V. 2013. Vpliv okolja na razvoj poškodb zaradi kristalizacije soli v primeru uporabe sanacijskih ometov V: Lopatič, J. (ur.), Markelj, V. (ur.), Saje, F. (ur.). *Zbornik 35. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Ljubljana, 22. november 2013:* str. 155-162.
- [13] Žarnić, R. 2003. *Lastnosti gradiv.* Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 341.

- 
- [14] SIST EN 10015-3:2001. Metode preskušanja zidarske malte – 3.del: Določevanje konsistence sveže malte (s stresalno mizo).
- [15] ASTM E 104-02 (Reapproved 2007). Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions.
- [16] Štukovnik, P., Čepon, F., Bokan Bosiljkov, V. 2011. Analiza poškodb objektov stavbne dediščine s 3D mikroskopom. V: Lopatič, J. (ur.), Markelj, V. (ur.), Saje, F. (ur.). Zbornik 33. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, 6.-7. oktober 2011: str. 253-259.