



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

**KIVIMÜÜRITISE SOOLADE
KONTSENTRATSIOONI VÄHENDAMINE
OHVERKROHVIDE ABIL PATAREI
MEREKINDLUSE NÄITEL**

**SALT CONCENTRATION REDUCTION WITH SACRIFICIAL
PLASTERS FROM STONE WALLS IN PATAREI MARINE
FORT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kaarel Kuslap

Üliõpilaskood: 165204EAEI

Juhendajad: Mihkel Kiviste, Karin Kirtsi

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

12. mai 2022

Autor: Kaarel Kuslap
/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." 2022

Juhendajad: Mihkel Kiviste
Karin Kirtsi
.....
/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....."2022 .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, Kaarel Kuslap,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

**Kivimüüritise soolade kontsentratsiooni vähendamine ohverkrohvide abil
Patarei merekindluse näitel,**

mille juhendajad on Mihkel Kiviste ja Karin Kirtsi

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

1. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
2. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

12.05.2022

Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: **KAAREL KUSLAP**

Üliõpilaskood: **165204EAEI**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peaeriala: Ehitiste projekteerimine

Lõputöö teema:

KIVIMÜÜRITISE SOOLADE KONTSESTRATSIOONI VÄHENDAMINE OHVERKROHVIDE ABIL PATAREI MEREKINDLUSE NÄITEL

Salt Concentration Reduction with Sacrificial Plasters from Stone Walls in Patarei
Marine Fort

Juhendaja: **Prof. Mihkel Kiviste**

mihkel.kiviste@taltech.ee

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Võrrelda erinevate ohverkrohvide võimet eemaldada sooli vanast müüritisest.
2. Saada ülevaade soolade liikumisest Patarei merekindluse kahel seinal.

Töö keel: eesti keel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Objekti 1. külastus ja tutvumine	24.01.2022
2. „Enne krohvimist“ soolaproovide laboratoorne analüüs	10.03.2022
3. Kirjanduse analüüsi osa juhendajatele esitamine	01.04.2022
4. „Peale krohvimist“ soolaproovide laboratoorne analüüs	20.04.2022
5. Tulemuste ja arutelu osa juhendajatele esitamine	01.05.2022
Kokkuvõtte eesti keeles	12.05.2022
Kokkuvõtte inglise keeles	12.05.2022

Lõputööde 95% ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks

10.05.2022

Esitlusmaterjalid kaitsmisel: Powerpoint esitlus ja jaotusmaterjalid

Kirjeldus	Tähtaeg
1 Esitlus lõputöö eelkaitsmiseks	22.04.2022
2 Esitlus lõputöö kaitsmiseks	01.06.2022

Lõputöö esitamise tähtaeg:

20. mai 2022

Lõputöö ülesanne välja antud: 01.01.2022

Juhendajad: Mihkel Kiviste, Karin Kirts

Ülesande vastu võtnud: Kaarel Kuslap

Avalikustamise piirangu tingimused: puuduvad

SISUKORD

Eessõna	8
Tabelite loetelu	9
Jooniste loetelu	10
Sissejuhatus	11
1. Kirjanduse analüüs	13
1.1 Niiskus ehitistes.....	13
1.2 Soolad ehituskonstruktsioonides	16
1.2.1 Soolade sattumine ehitistesse	16
1.2.2 Müüritiste soolasisalduse sõltuvus keskkonnateguritest	17
1.2.3 Soolakahjustused	17
1.2.4 Soolade eemaldamine müüritistest	18
1.3 Ohverkrohvid.....	21
1.3.1 Ohverkrohvi tööpõhimõte.....	21
1.3.2 Tööde järjekord ohverkrohvi kasutamisel.....	21
1.3.3 Lisandid, mis parandavad krohvide omadusi	22
1.4 Objekti kirjeldus ja objektil läbiviidud uuringud	24
1.4.1 Patarei kindlus militaarrajatisena.....	24
1.4.2 Patarei kindlus vanglana	25
1.4.3 Patarei kindluse hetkeolukord ja teostatud uuringud	25
2. Eksperimentaalne uuring	33
2.1 Katsete läbiviimise meetodika	33
2.1.1 Etapp 1: seinade valik.....	33
2.1.2 Etapp 2: Soolaproovid enne krohvimist	35
2.1.3 Etapp 3: Ohverkrohvide katselappide paigaldamine	39
2.1.4 Etapp 4: Krohvide jälgimine ja mõõtmine.....	41
2.1.5 Etapp 5: Uuringu lõppfaasis võetud soolaproovid	42
2.2 Tulemused ja arutelu.....	45
2.2.1 Krohvide paigaldamine ja käitumine ajas.....	45
2.2.2 Enne krohvimist võetud soolaproovide analüüs.....	47
2.2.3 Peale krohvimist võetud soolaproovide analüüs	53
Kokkuvõte	60
Summary	62
Kasutatud kirjandus	65

EESSÕNA

Antud töö teema sõnastati juhendajate Karin Kirtsi ja Mihkel Kiviste poolt. Töö koostati Tartus. Välitööd tehti Tallinnas, Patarei merekindluses. Laborikatsed viidi läbi Tallinna tehnikaülikooli Tartu kolledžis ja keskkonnatehnoloogia teaduslaboratooriumis Tallinnas. Sooviksin tänada oma juhendajaid Karin Kirtsit ja Mihkel Kivistet, kes tundsid mõlemad ise teema vastu sügavat huvi ja elasid kaasa tulemuste selgumisele. Töö valmimisele aitasid lisaks juhendajatele kaasa Andrus Needo OÜ Krohwini poolt, kes paigaldas katselapid seinale ja Madis Mihkelsoo RestHunt.ee poolt, kes varustas katseid krohvimismaterjalidega ning oli objektis katsekehi paigaldades abiks. Soolaproovide analüüsimisse panustasid Liina Onga ja prof. Sergei Preis, kes olid lahkelt nõus läbi viima ionkromatograafia analüüsi objektist võetud proovidele.

Töö käigus katsetati Patarei merekindluses kuuel katselapil erinevate ohverkrohvide võimet puhastada müüritist sooladest. Katselappe jälgiti antud töö raames seinas kaks kuud (27.01-09.04.2022), kuid peale seda ajaperioodi jätkatakse uuringutega ning krohvid jäeti seinale. Soolade sisaldust seinas mõõdeti uurimisperioodi alguses ja lõpus (20.02 ja 09.04) ning selle põhjal hinnatigi krohvide võimet siduda ja talletada sooli.

Võtmesõnad: ohverkrohvid, desalineerimine, soolad müüritistes, kapillaarvesi, magistritöö

TABELITE LOETELU

Tabel 1 Müüritises peamiselt esinevad soolad [3], [9]	16
Tabel 2. Soolaproovide asukohad, sügavus ja materjal enne krohvimist	37
Tabel 3. Soolaproovide asukohad, sügavus ja materjal 2 kuud peale krohvide paigaldamist	43
Tabel 4. Krohvide visuaalse jälgimise tulemused.....	45
Tabel 5. Krohvide pinnaniiskus mittepurustaval meetodil	46
Tabel 6. Krohvide paigaldatavuse hinded kogunud krohvija poolt (skaala 1-5).....	46
Tabel 7. Enne katselappide paigaldamist seinast võetud soolaproovide massid ja veesisaldused.....	48
Tabel 8. Soolade anioonide sisaldus Patarei merekindluse müürikivides ja vuugimördis (enne ohverkrohvide paigaldamist) ühikutes mg/L ja mg/g.....	49
Tabel 9. Soolakontsentratsioonide tähendused Austria ÖNORM B 3355-1 järgi [37] ..	50
Tabel 10. Peale katselappide paigaldamist seinast võetud soolaproovide massid ja veesisaldused.....	53
Tabel 11. Soolade anioonide sisaldus 2,5 kuud peale krohvimist (mg/L) ja teisendatuna ühikutesse (mg/g)	55
Tabel 12. Soolade anioonide sisalduste aritmeetilised keskmised krohvides (0,2m ja 1,4m) (mg/L).....	56
Tabel 13. Soolade koguste muutus seintes enne ja pärast krohvimist (mg/L ja protsentides)	56
Tabel 14. Krohvi ladestunud soolad massiprotsentides	59

JOONISTE LOETELU

Joonis 1. Vee liikumine pinnases ja hoone soklis [8]	14
Joonis 2. Skemaatiline diagramm kapillaartõusu ja aurustumise tasakaalu kohta [4].	15
Joonis 3. Elektromigratsiooni skemaatiline esitus [14].....	19
Joonis 4. Patarei kindluse aerofoto aastast 1999 [27].....	24
Joonis 5. Asukohas "Sein 1" 2005. aastal läbi viidud niiskuse mõõtmise tulemused [19]	27
Joonis 6. Asukohas "Sein 2" 2005. aastal läbi viidud niiskuse mõõtmise tulemused [19]	28
Joonis 7. Prof. U. Kallavuse poolt mõõdetud seina mineraloogiline koostis aastal 2005 Patarei merekindluse välisseina sisepinnal [19]	30
Joonis 8. Asukohas "Sein 1" teostatud mõõtmiste tulemused [19]	31
Joonis 9. Logerid ruumis 1027 ("Sein 1") [31].....	31
Joonis 10. Asukohas "Sein 2" teostatud mõõtmiste tulemused [31].....	32
Joonis 11. Logerid ruumis 1004 ("Sein 2") [31]	32
Joonis 12. Asukohas Sein 1 Pinnale kristalliseerunud sool enne krohvi paigaldust.	34
Joonis 13. Uuritav sein 1 ja uuritav sein 2 asukohad 1. Korruse plaanil	34
Joonis 14. Enne krohvide paigaldamist seintest võetud soolaproovide kaalumine	36
Joonis 15. Soolaproovide kuivatamine 105°C juures 48h	36
Joonis 16. Proovide võtmise asukohad asukohas Sein 1.....	37
Joonis 17. Soolaproovide võtmise asukohad asukohas Sein 2	38
Joonis 18. Puurauk kust, võeti soolaproov ja suletav kott proovi säilitamiseks	38
Joonis 19. Krohvide paiknemine seinal 1.....	41
Joonis 20. Krohvide paiknemine seinal 2.....	41
Joonis 21. Soolaproovide asukohad 2 kuud peale krohvimist, sein 1.....	44
Joonis 22. Soolaproovide asukohad 2 kuud peale krohvimist, sein 2.....	44
Joonis 23. Soolade kontsentratsioonid erinevatel seina sügavustel (h=0,2m)	51
Joonis 24. Soolade kontsentratsioonid erinevatel seina sügavustel (h=0,8m)	52
Joonis 25. Soolade kontsentratsioonid erinevatel seina sügavustel (h=1,4m)	52

SISSEJUHATUS

Alates ajast kui inimesed hakkasid ehitama kividest müüritisi on nad seisnud silmitsi probleemiga, et mingi aja pärast kivid hakkavad murenema ja hooned lagunevad. See on väga vana probleem, ja inimkonnale tuntud juba aastatuhandeid. Peamiseks põhjuseks miks kivimüüritised lagunevad on niiskus. Vesi tungib müüritistesse maapinnast ja õhust, põhiliselt pinnaseveest ja sademetest. Üheks seinu lagundavaks probleemiks, mis tuleneb liigsest niiskusest müüritistes on seotud külmumis-sulamis tsüklitega. Mõrades ja poorides jäätuv vesi lõhub kive. Suuremaks probleemiks on aga soolad, mida vesi endaga müüridesse kaasa toob. Vesi koos lahustunud sooladega liigub kapillaare mööda seinu pinnale, kus vesi aurustub. Soolad vee seest ei aurustu ja seinu pinnalähedasele kihile tekib kõrgem soolakontsentratsioon. Soolane keskkond on hüdrofiilne, mis tõmbab omakorda rohkem soolast vett ligi. Tulemuseks on soolasid täis seinakiht, mille kapillaarides tekib sooladest piisavalt suur osmootne rõhk, et lõhkuda kive ja mörti. Mida nõrgem on materjal, seda kiiremini tekib nendes poorides piisav rõhk, et materjal laguneks. Üheks variandiks probleemi kõrvaldamisel on krohvida seinapind elastse seguga üle. Nii hakkavad soolad kogunema krohvi, kuhu aja jooksul tekib kõrgem soolakontsentratsioon võrreldes müüritisega. Eelneva tulemusel krohv laguneb ehk ohverdub ja sellist krohvi nimetatakse ohverkrohviks.

Ohverkrohv pole otseselt toode, mida oleks sellise nimega kaubandusvõrgust võimalik leida. Ükski tootja ei paku spetsiaalset krohvi, mille omadus on laguneda. Küll aga on varasemate uuringute põhjal võimalik saada aimu, millised krohvid võiksid müüritisel potentsiaalselt kõige paremini töötada ohverkrohvidena. Üheks oluliseks teguriks, mis soodustab krohvi kasutamist ohverkrohvina on madal soojusjuhtivus, kuna see tagab kapillaarvee aurustumise krohvis mitte müüritises. Mida vähem vett müüritises aurustub, seda vähem soolasid müüritisse ladestub. Seetõttu on antud töös katsetatud termosilidi sisaldusega termokrohvi, mis on võrreldes klassikaliste krohvidega palju madalama soojusjuhtivusvõimega. Teiseks oluliseks teguriks on soolade maksimaalne ladestumismaht krohvis, enne kui see hakkab seinast lahti murenema. Soolade ladestumismahtu aitab suurendada aktiivsöe lisamine krohvisegusse. Aktiivsöel on suhteliselt suur eripindala ning ta on ühtlasi hüdrofiilne materjal. See tähendab, et ta tõmbab kapillaarniiskust ligi ja suure eripindala tõttu on pinda kuhu soolad saavad ladestuda palju. Teoreetiliselt peaks see kiirendama aktiivsöe lisandiga krohvi soolade müüritisest eemaldamise omadusi ning pikendama aega, mil krohv tuleb välja vahetada. Magistritöö eesmärk on võrrelda erinevate krohvide omadusi ohverkrohvidena ning saada ülevaade soolade liikumise dünaamikast Patarei merekindluse esimese korruse kahe seinu näitel.

Laiemalt on antud magistritöö aluseks, mida kasutada vanade müüritiste päästmisel ja hooldamisel. Majanduslikust ja keskkonnasäästu seisukohast on vana müüritise säilitamine ja hooldamine tihti otstarbekam, kui lammutamine ja uue ehitamine, kuid soolaprobleemiga tegelemiseks eestikeelset juhendmaterjali napib. Lisaks on vana müüritise päästmine oluline, kui tegu on ajaloolise väärtusega hoonega ja muinsuskaitsest seisukohast ei saa lubada lammutamist.

Antud magistritöö jaguneb kahte ossa: „Kirjanduse analüüs“ ja „Eksperimentaalne uuring“. Kirjanduse analüüsi osas antakse ülevaade niiskuse sattumisest ehitistesse ning sellega seotud probleemidest. Niiskusega kaasnevatest probleemidest käsitletakse täpsemalt soolade mõju müüritistele ning erinevaid soolade tõrjumise meetodeid. Järgnevalt on täpsemalt lahti seletatud ohverkrohvide tööpõhimõtted ja toimivust parandavad omadused. Viimase kirjanduse analüüsi punktina on antud ülevaade Patarei merekindlusest, kus viidi läbi eksperimentaalne uuring ning varasematest uuringutest antud objektile.

Eksperimentaalses osas uuriti kolme krohvi (savikrohv, termokrohv ja lubikrohv) ja kõiki neid kahe katselapina. Iga krohv paigaldati aktiivsöe lisandiga ja võrdluseks samad krohvid ilma lisanditeta. Lisaks lisati aktiivsöega savikrohvidele kanepiluud. Teostati müüritiste soolasisalduse määramine enne krohvide paigaldust ning soolasisalduse määramine peale seda, kui krohvid olid 2,5 kuud seinas olnud. Tulemusi võrreldi omavahel ning varasemate uuringutega. Lisaks mõõdeti seintes niiskust ja temperatuuri ning teostati krohvide visuaalset vaatlust uurimisperioodi vältel.

Viimasena esitatakse uuringu tulemused ning kokkuvõtte. Lisaks tehakse ettepanekuid edasisteks uuringuteks.

1. KIRJANDUSE ANALÜÜS

1.1 Niiskus ehitistes

Eestis pole niiskuse vältimise kohta loodud vastavaid standardeid, mis käsitleksid vanade hoonete minimaalset veesisaldust materjalides, vee väljutamise reegleid ning niiskuse mõõtmise reegleid hoone eksploatatsiooniperioodil. Samuti pole niiskuse mõõtmise uuringutes toimunud piisavat arengut ja on jäädud truuks traditsioonilistele meetoditele, mille tõttu pole täielikku arusaamist niiskustaseme tõusu mõjust hoonetele võimalik mõista. Hoolimata vähestest teaduslikest andmetest, on selge, et konstruktsioonide oleku halvenemise üks peamisi põhjuseid on just niiskuse kõrge tase hoone tarindites. [1] Tarindite niiskusena käsitletakse antud töös vett ehituskonstruktsioonis.

Vesi võib ehituskonstruktsioonides esineda: [2]

- Keemiliselt seotud veena
- Füüsikaliselt seotud veena
- Kapillaarveena
- Vaba veena

Lisaks põhjamaistes tingimustes: [3]

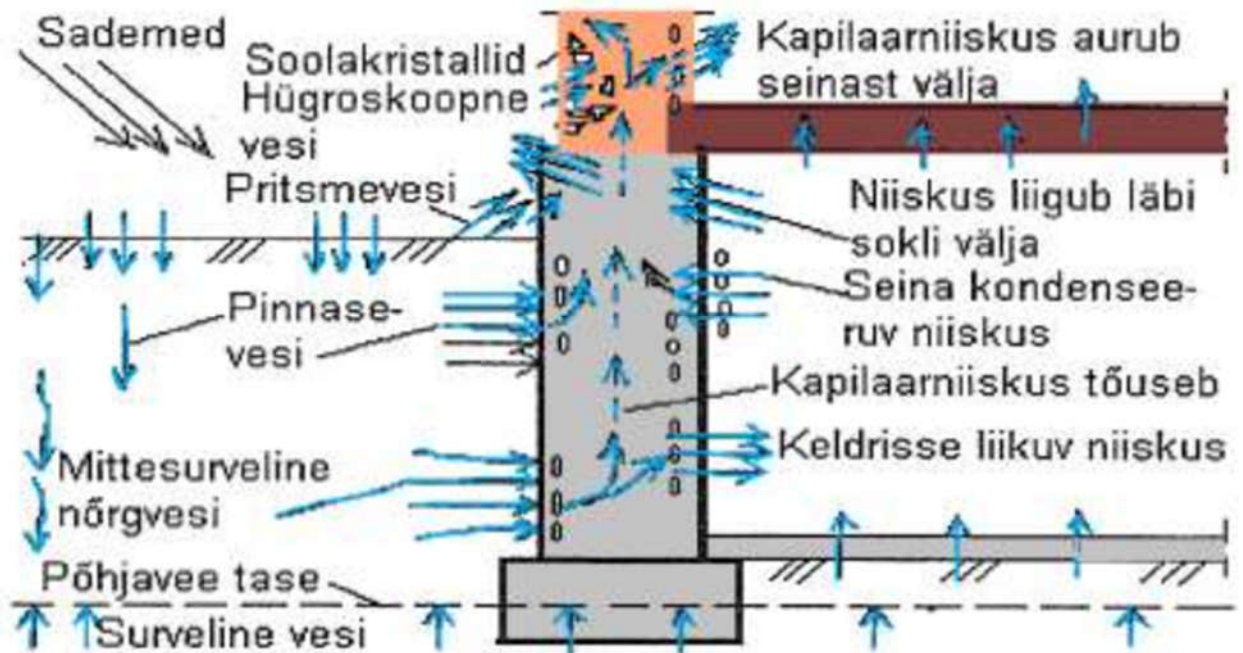
- Jääna

Vesi satub ehitusmaterjalide pooridesse pinnasest (kapillaartõus), atmosfäärist (sademed, pinnale kondenseeruv vesi ja absorbeerunud veeauru kondenseerumine) või ehitusprotsessist (mördid). Lisaks võib sattuda tarbevesi hoone konstruktsioonidesse (lekked ja veeõnnetused). [2]

Seintesse sattunud sooladel on samuti omadus siduda niiskust (hügroskoopne vesi) ja hoida see niiskus ehitusmaterjalis. See tekitab hüdrostaatilise rõhu ehitusmaterjalis, mida nimetatakse osmoosiks. [4]

Niiskus põhjustab ehituskonstruktsioonides füüsikalisi, bioloogilisi ja keemilisi kahjustusi [3]. Füüsikalistest kahjustustest on enamlevinud külmumis-sulamistsüklitest tekkivad kahjustused ning vedeliku soojuspaisumisest tekkivad kahjustused. Mõlemad on kivi- ja betoonkonstruktsioonidele purustava mõjuga, rikkudes välisilmel või vähendades konstruktsiooni tugevust.[5] Lisaks purustavale toimele saab käsitleda füüsikalise kahjustusena ka märgunud seina U-arvu vähenemist, mis tuleneb õhuga täitunud pooride veega täitumisest ja vee soojusjuhtivus on kordades suurem kui õhul[6].

Bioloogilised kahjustused kätkevad endas bioloogiliste mikroorganismide kasvu seinal ja poorides, mis võib kaasa tuua samuti konstruktsioonide tugevuse vähenemise ning lisaks võib tekkida ebameeldiv lõhn [5]. Keemiliselt saab vesi konstruktsiooni kahjustada seda lahustades (materjalid, mis pole mõeldud olema kontaktis veega võivad märgudes vees lahustuda) ja materjali lahustunud osakesi minema kandes [7] või tuues kaasa soolasid ning ioone [1].



Joonis 1. Vee liikumine pinnases ja hoone soklis [8]

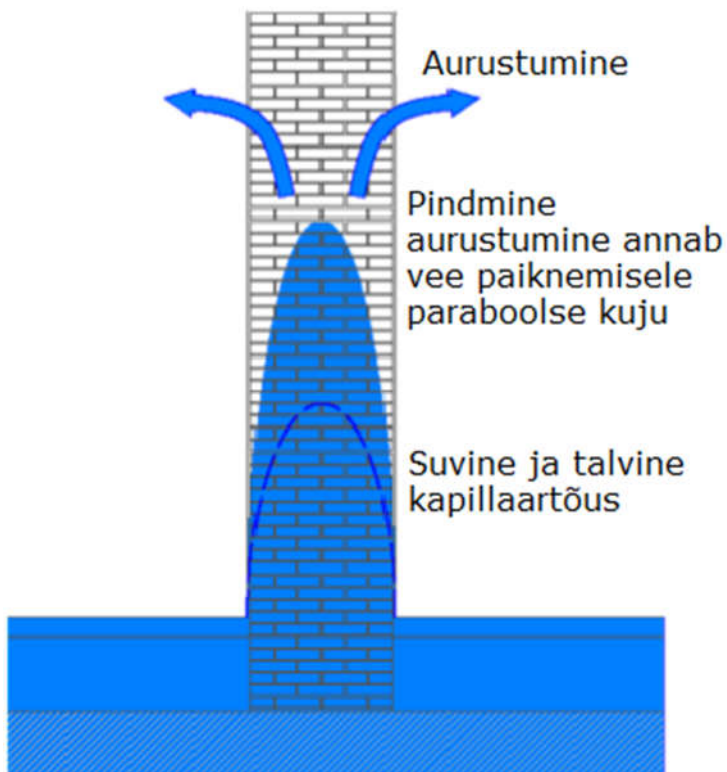
Moodsatel ehitistel pole pinnasest konstruktsiooni tungiv niiskus enam probleemiks, kuna tänapäeval kasutatakse vee juurdepääsu takistamiseks SBS bituumen hüdroisolatsiooni. 19. sajandil ja varasemalt päriselt toimivat hüdroisolatsiooni ei kasutatud ning seetõttu on pinnaseveega seotud probleemid laialt levinud vanade hoonete puhul. [9]

Vanadel hoonetel võimendab niiskusega seotud probleeme müüritiste liiga tugevate krohvidega katmine. Enamasti põhjustavad sellist probleemi tsemendipõhised segud, mis ei hinga ja takistavad vee konstruktsioonist väljaaurustumist. [10]

Vanade müüritiste puhul on eriti oluline vaadelda kapillaartõusu, kui nende taldmikud on otseses kontaktis pinnaseveega, sest maa seest saavad müüritisse liikuda vees lahustuvad soolad. Kapillaartõusu määravad põhiliselt kaks asjaolu: vee olemasolu aluspinnases ja ehitusmaterjalide kapillaarstruktuur. Kapillaartõusu ei takista gravitatsioon, kuna seda põhjustavad vee ja tahke materjali pindade vahel olevad

molekul-molekul sidemed. Vesi liigub järk- järgult müüritist mööda üles, täites poore ja tühimikke müüritise struktuuris ning jõudes ruumide seinte pinnale. Kapillaarliikumist ei toimuks, kui sein oleks täielikult veega küllastunud. Pinnal vesi aurustub, mis vabastab pindmisi poore, kuhu saab kanduda kapillaartõusuga uus vesi. [1] Täpsemalt on kapillaarvee liikumine näidatud joonisel 2.

Kapillaartõusu mõjutavad seina paksus, seina materjal (pooride suurus ja tihedus materjalis) ja aurustumise kiirus. Mida paksem on sein, seda kõrgem on vee kapillaartõus. Väiksemad poorid ja tihedam pooride paiknemine suurendab kapillaarvee liikumist kõrgemale. Aurustumine on faktor, mis lõpuks peatab kapillaarvee edasiliikumise, sest kivist seinte teoreetiline kapillaartõus on üle 10 meetri. Aurustumist ei toimu kui seinad on kaetud mittehingava kattega (näiteks tsementkrohv) ja sel juhul on seinad täies kõrguses märgunud. Kapillaartõus toimub seintes alati vertikaalses suunas alt üles. Aurustunud pinnale ladestuvad veega kaasa kandunud soolad. [4]



Joonis 2. Skemaatiline diagramm kapillaartõusu ja aurustumise tasakaalu kohta [4]

Patari merekindluses on taldmikud põhjaveest madalamal ja vundamendil puudub hüdroisolatsioon. Seetõttu on kapillaartõus suurim siseseinte märgumise põhjus. Seintele tekkinud soolakihhi järgi saab hinnata, kui kõrgel toimub suurim aurustumine.

Merekindluse esimesel korrusel oli soolakiht seinte pinnal kõrgusel 0,8m kuni 2m, mõõdetuna esimese korruse põrandapinnast.

1.2 Soolad ehituskonstruktsioonides

1.2.1 Soolade sattumine ehitistesse

Soolad on keemilised ained, mis koosnevad metalli katioonidest ja happeanioonidest ehk happejäägist.

Tabel 1 Müüritises peamiselt esinevad soolad [3], [9]

Katioonid (+)	Anioonid (-)
Naatrium (Na ⁺)	Kloriid (Cl ⁻)
Kaalium (K ⁺)	Sulfaat (SO ₄ ²⁻)
Magneesium (Mg ²⁺)	Nitraat (NO ₃ ²⁻)
Kaltsium (Ca ²⁺)	Karbonaat (CO ₃ ²⁻)

Levinumad konstruktsioonides esinevad soolad on naatriumkloriid (NaCl) ja naatriumsulfaat Na₂SO₄. [11]

Sulfaadid, sulfiidid, nitraadid ja nitritid sadestuvad linnapiirkonnas enamasti atmosfäärist, aga ka tsemendibaasiliste materjalidega tehtud parandustöödest. Lisaks võib nitraate tihti leiduda ka põllumajandusliku otstarbega hoonetes, sest loomse päritoluga jäägid sisaldavad palju nitraate. Samuti satuvad nitraadid hoonete konstruktsioonidesse lindude väljaheidetest. [2], [3]

Vees lahustuvad soolad liiguvad hoonesse enamasti poorse materjali kapillaartõusu toimel. Vees lahustuvad ioonid, mida transportib kas looduslik vesi või imetakse neid kõrval asetsevatest materjalidest, soodustavad kivide lagunemist. Protsessi halvendab olukord, kui aurustumine ja sooli kandva vee juurdevool ei ole omavahel tasakaalus. Kuna soolad ei saa aurustuda, settivad nad tahkes olekus sisemiselt müüritisse või selle pinnale või vuukidele kui puudub krohv. Porse materjali küllastumine sooladega pideva ladestumise tagajärjel põhjustab pingeseisundeid, mille tagajärjel tekivad pundumine, tükide eraldumine või pinna lagunemine. [1]

Pinna murenemisega seotud probleemid tulenevad tavaliselt sellest, mis on hoones aja jooksul toimunud ja milline on olnud olukord alusmüüre ümbritsevas pinnases. Lagundav protsess saab toimuda kuni soolad kristalliseeruvad kivi pindmistes poorides. Vanad telliskivimüürid sisaldavad sageli telliseid, mis pole täielikult põletatud ja seetõttu

sisaldavad paakumata (kuumutamisel saviga keemiliselt ühinemata) soolasid, mis lahustuvad vees ja mida vesi transpordib pindmistesse pooridesse. [12]

1.2.2 Müüritiste soolasisalduse sõltuvus keskkonnateguritest

Õhuniiskus ja temperatuur on kaks põhilist tegurit, mis mõjutavad soolade kristalliseerumist müüritisel. Temperatuuri muutusel on märgatud väiksem mõju eflorestsentsi tekkele kui õhu suhtelisel niiskusel. Soolade kontsentratsioon müüritisel on suurim kui õhu suhteline niiskus on üle 90% ja eflorestsentsi teke väheneb kui õhuniiskus langetada 85% ja 80% vahele. [13]

1.2.3 Soolakahjustused

Sooladest põhjustatud kahjustusi on märgatud alates iidsetest aegadest. Juba Herodotos (484–425 e.m.a.) kirjutas, et "Soola eritub pinnasest nii palju, et see mõjutab isegi püramiide". Laialdasemalt saab mõista soolade ohtlikkust, vaadates, kuidas soolad mõjutavad mõndade maailmakuulsate kultuuriväärtuste lagunemist nagu näiteks Egiptuses templid ja Sfinks ning Jordaania Petra kaljumonument. Seega on soolade kristalliseerumisel suur majanduslik ja kultuuriline mõju ning kahjuks mitte paremuse poole. [14]

Kapillaarvesi transpordib koos veega kivide pinda ka soolasid. Vesi aurustub, kuid soolad mitte ja pinna soolakontsentratsioon tõuseb. Protsess jätkub pidevalt kuni toimub aurustumine. Suurem soolakontsentratsioon loob omakorda hüdrofiilse keskkonna, mis tõmbab veelgi rohkem vett ligi. Tekib suur hüdrostaatiline rõhk, ehk osmoos. Osmootne rõhk on ligikaudu 10 korda suurem kapillaarrõhust ja seega piisava jõuga, et purustada kive. Soolad kristalliseeruvad kas kivi pinnale või sisemistesse suurematesse pooridesse. Pinnale kristalliseerumist nimetatakse pindmiseks eflorestsentsiks ja pooridesse kristalliseerumist sisemiseks eflorestsentsiks. Kui pindmine eflorestsents tekitab visuaalseid probleeme, mida saab traatharjaga eemaldada, siis sisemine eflorestsents toob endaga kaasa kivi laastudena purunemise. [15] Ulatuslikud soolakahjustused vähendavad müüritise kandevõimet [16].

1.2.4 Soolade eemaldamine müüritistest

On olemas erinevaid meetodeid, kuidas soolasid müüritistest eemaldada. Mõnda neist kasutatakse laialdaselt ja mõni on alles katsetamise faasis.

Kuiv mehaaniline eemaldamine

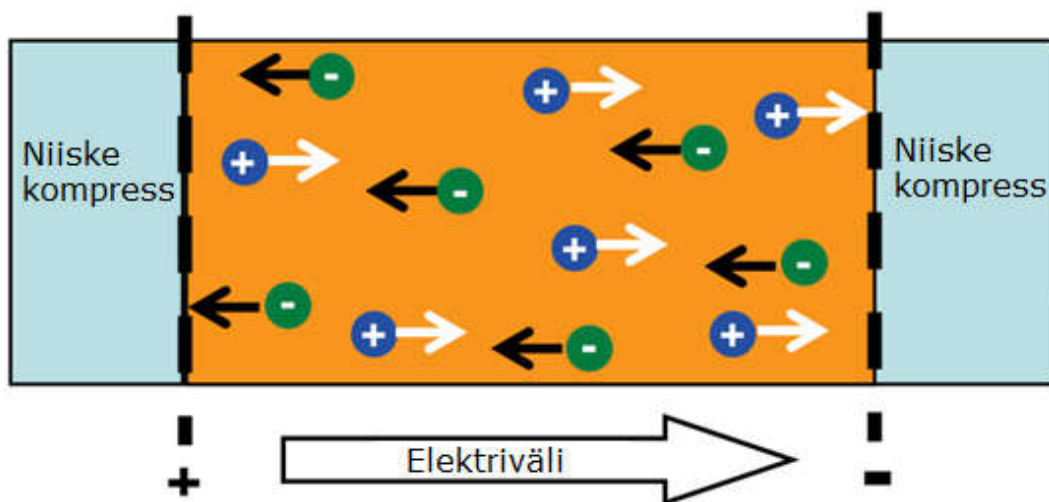
Selle meetodi puhul harjatakse käsitsi lahtine pindmine sool minema. Kuigi sellise meetodiga saab efektiivselt eemaldada lahtist soola, on tulemuseks harjatud kivi pind, mille kõrvalmõju on aurustumise kiiruse tõus. See omakorda suurendab eflorestsentsi tekke kiirust. Lisaks kaasneb oht soolade ringlusesse minekul. [2]

Difusiooni meetod (vannitamine)

Selleks, et seda meetodit tõhusalt kasutada tuleb kogu ese või müüritis uputada neutraalse vedelikuga vanni. Difusiooni meetodi puhul toimib alguses Ficki seadus, mis kulgeb lineaarses sõltuvuses kulunud ajast. Seejärel hakkavad protsessi mõjutama muud tegurid, nagu näiteks kontsentratsioonigradient ja lahustumiskineetika. Protsess aeglustub kuni jõuab piirväärtuseni. Korduv pesemine on üldiselt efektiivsem, välja arvatud sulfaatsoolade puhul. Korduvaks pesemiseks tuleb peale protsessi piirväärtuseni jõudmist vannis neutraalne vedelik vahetada. Tavaliselt kasutatakse neutraalse keskkonnana, kuhu sooli juhatakse, destilleeritud vett. Müüritiste puhul on seda peaaegu võimatu teha ja seetõttu difusioonimeetodit eriti sagedasti seinadel ei kasutata. [17]

Elektrokineetiline meetod

Võrreldes difusioonimeetodiga hakkab difusiooni üle domineerima elektromigratsioon ja seda juba minimaalsete rakendatud pingete puhul. Elektromigratsiooni jätkatakse, kuni saavutatakse madal ja kahjutu soolade tase seinas, mis on selle meetodi peamine põhimõte. Samas sellel meetodil on ka puudusi nagu näiteks rauda sisaldavate materjalide ja elektrodide võimalik oksüdatsioon, hüdroolüüs ja äärmuslikud pH väärtused. [2] Elektrokineetiline meetod toimibioon- selektiivselt, toimides paremini kloriidide ja nitraatide puhul. Magneesiumi ja väävli soolade puhul on meetodi toimimine märgatavalt aeglasem ja väiksemas mahu. [18]



Joonis 3. Elektromigratsiooni skemaatiline esitus [14]

Joonisel 3 on oranži värviga tähistatud sein ristlõige, mille sees on lahustunud soolad. Soolad on lahustunud anioonideks (rohelised ringid, negatiivse laenguga) ja kationideks (sinised ringid, positiivse laenguga). Ühel pool sein pinnal on anood (positiivse laenguga) ja teisel pool katood (negatiivse laenguga). Anoodi ja katoodi laengud tekivad kui neile rakendada alalisvoolu. Selle tulemusena hakkavad soolaioonid elektrilaengu tulemusena kogunema anoodile (anioonid) ja katoodile (katioonid).

Elektrokineetilist meetodit saab rakendada ainult võrdlemisi õhukeste seinade puhul. Paksemate seinade puhul (üle 1m) läheb anoodi ja katoodi vahekaugus niivõrd suureks, et soolad enam anoodile ei ladestu. Lisaks ei saa hoonet kasutusele võtta kui samal ajal hoida seinu elektrivoolu all. [19] Kõige efektiivsem pinget, millega savitellistest seinu desalinearida jääb 0,75V/cm ja 1,58V/cm vahele [14]. Näiteks 10cm paksusel seinal tuleks rakendada pinget 7,5V kuni 15,8V.

Krohvid

Sisuliselt on krohve nelja tüüpi [2]:

- Soolasid pinnale juhtivad krohvid
- Soolasid akumulatsioonid krohvid
- Soolasid blokeerivad krohvid, mis lasevad veeaurul liikuda
- Niiskuskindlad krohvid

Kui eesmärgiks on soolade müüritisest eemaldamine, tuleb vaadelda soolasid juhtivaid või siduvaid krohve. Kusjuures selleks, et soolad liiguksid müüritisest krohvi sisse, peavad krohvi poorid olema müüritise pooridest väiksemad. Kui krohvi poorid on müüritise pooridest suuremad, jääb enam soolasid müüritisse.[2] Üldjuhul eelistatakse soolatõkestussüsteemidele krohvi, mis on võimeline müüritisest soolalahust

välja transportima. Sellisel juhul tekivad soolast tingitud kahjustused krohvis, mitte müüritisel. Aja jooksul krohv kahjustub ja n.ö. ohverdub. Sellist krohvi nimetatakse ohverkrohviks. [20]

Niisutamise-ekstraheerimise meetod (kompresseid)

Veega soolade seinast välja juhtimine kompresside abil on oma lihtsuse ja tõhususe tõttu kõige sagedamini kasutatav desalineerimise meetod. Teisest küljest see toimib ainult kompressi alusele müüritisel osale. Desalineerimisprotsessil on kaks põhifaasi. Esimeses niisutamise faasis imbub vesi kompressist müüritisse, kus see hakkab sooli lahustama. Seejärel liiguvad soolaioonid ekstraheerimise faasis seinast tagasi kompressi. Soolade liikumised müüritisest välja toimuvad kas kontsentratsiooni gradiendi olemasolu tõttu või kapillaarliikumise abil müüritisest kompressi (tavaliselt kuivamise tagajärjel). [2]

Kompresseid on valmistatud imavast materjalist, mille peened poorid tekitavad müüritisega kokkupuutel suure imamisvõime. Materjalina kasutatakse kobediatomiiti ja kõrge imavusega savisid. Neile võib lisada ka muid materjale, mis annavad tugevust ehk moodustavad karkassi. Selleks sobib näiteks paberimass. Müügil on ka spetsiaalselt kompresside jaoks Sidneys välja töötatud materjal. [9]

1.3 Ohverkrohvid

1.3.1 Ohverkrohvi tööpõhimõte

Kivide pinnas tekkiva kõrge soolade kontsentratsiooni tõttu hakkab osmoosse rõhu toimel kivide pind lagunema. Lagunemise takistamiseks on võimalik kasutada näiteks ohverkrohve. Kõige lihtsamini saab vältida kivide murenemist kattes müüritise pind poorse, soojust isoleeriva ohverkrohvikihiga. Selliselt liigub vee aurustumine ning ühtlasi ka soolade kristalliseerumine krohvi sisse. Kui soolad kristalliseeruvad krohvis, püsib müüritis ise kahjustustest vabana. Ohverkrohvidega saab takistada kivide murenemist kuni täieliku kuivamiseni. [12]

Spetsiaalset ohverkrohvi pole kaubandusvõrgust saada. Küll aga on juba sajandeid kasutatud klassikalisi looduslähedasi krohve: lubikrohv ja savikrohv. Need materjalid töötavad ohverkrohvidena, kuna suudavad tagada ohverkrohvi põhilise funktsiooni, milleks on müüritise säilitamine. Kindlasti ei tohi ohverkrohvina kasutada vanal müüritisel tsemendi baasil krohve, sest tsement muutub kivistudes liiga tihedaks ja tugevaks ning tekib hoopis vastupidine efekt. Müüritis hävib, kuid tsementkrohv säilib. [2]

1.3.2 Tööde järjekord ohverkrohvi kasutamisel

Eemaldada lahtine vana krohv, lahtine sool ja kindlasti vanad värvikihid, mille auruläbilaskvus on kivimüüritise katmiseks liiga väike. Veenduda, et seinapind on niiske ja vajadusel niisuta seina. Seejärel paigaldada krohv kahes kihis. Esimene kiht ehk nakkekiht tuleb teha 4-8mm paksune. Kui on soov lisada krohvile omadusi parandavaid aineid, näiteks aktiivsütt, siis neid nakkekihti ei lisata, kuna need muudavad nakkumise kehvemaks. Enne teise kihi peale kandmist peab nakkekiht olema täielikult tahkunud. Teine kiht ehk ohverkiht võiks olla 10-25mm paksune, kuhu saab täitematerjale lisada. Lõpuks jääb kogu krohvikihiks 15-30mm paksune. Kui krohvid on seinas, ei tohi neid kindlasti värvida. Tooni saamiseks võib looduslikke pigmente lisada juba krohvisegule. [12] Antud kirjeldus vastab nii termo-, savi- kui ka lubikrohvi kasutamisele ohverkrohvina.

Kui krohvi all oleval müüritisel on palju soolasid, hakkavad soolakristallid kogunema krohvi pinnale. Need lahtised soolad saab pehme harja või tolmuimejaga eemaldada, kahjustamata krohvipinda. Kui ruum on hea ventilatsiooniga, muudab see hooldusvälba tihedamaks. Pinnad murenevad ja kuluvad aja jooksul ära regulaarse harjamise ja tolmuimejaga puhastamise tõttu. Kui pind on kulunud poole krohvipaksuseni leotatakse kahjustunud kohta sooja veega ja kantakse peale uus ohverkrohv. Teine võimalus on

pind kuni müüritiseni puhastada ja krohvida täielikult uuesti. Peale müüritise täielikku kuivamist, kui soolade liikumine krohvi on peatunud, saab ohverkrohvi kergesti eemaldada käsitööriistadega, kahjustamata selle all olevat müüritist. [12]

1.3.3 Lisandid, mis parandavad krohvide omadusi

Termosilit

Eelnevale tuginedes saab eeldada, et ohverkrohv toimib paremini, kui müüritise kuivades toimub aurustumine ning soolade kristalliseerumine krohvis, mitte müüritises. Seega on ohverkrohvi paremaks toimimiseks peab see olema soojust isoleeriva võimega. Soojust isoleeriva, kuid seejuures veeauru mitteblokeeriva krohvina on Eestis saadaval Resthunt poolt toodetav täiteainena termosiliti sisaldav termokrohv [21].

Termosilit on obsidiaani (vulkaaniline klaas) kuumutamisel saadud puhitud liiv. Kusjuures protsess hõlmab obsidiaani kuumutamist mille käigus eraldub ainult veeaur ja seetõttu on termosiliti tootmine keskkonnale täiesti ohutu. Tulemusena saadakse ligikaudu 120kg/m³ tihedusega teralise struktuuriga (tera suurus 0-2mm) materjal. Segud, mis sisaldavad termosiliti on avatud veeauru difusioonile, mis vähendab vee hulka ehitusmaterjalis. Termosilidi lisamisel krohvidesse ei kaasne mahu kahanemise probleeme, tehes sellest hea täitematerjali krohvi koostises. [22] Termosilitkrohv on aluspinnaga hästi nakkuv, ühe kihina peale kantav ja soojust isoleeriva toimega. Termosilitkrohv on pehme ja veeauru läbi laskva struktuuriga, mis võimaldab soolasisid ja vett väga lihtsalt ohverkrohvi sisse ja pinnale transportida. [23]

Rootsi ettevõtte ECS-Teknik AB viis aastatel 2012-2013 Stockholmis läbi ohverkrohvide katsed telliskivimüüritistel [23]. Selle uuringu käigus katsetati aasta vältel klassikalisi lubikrohve ja termosilidi sisaldusega krohve ohverkrohvidena. Jõuti järeldusele, et termosilitkrohv nakkub aluspinnaga väga hästi, luues homogeense kapillaarmassi. Lisaks näitas termosiliti sisaldav krohv paremat soolade omastamise võimet. Termosiliti sisaldaval krohvil ei tekkinud kihtide vahele soola kihistumist, mis oli probleemiks lubikrohvidel.

Aktiivsüsi

Aktiivsüsi on väga suure eripindalaga (ligikaudu 1000m²/kg), poorsusega ja adsorbeerimisvõimega materjal. Teaduskirjandus on aktiivsöe struktuuri ja sellest tuleneva poorsuse kirjeldamisel mõnevõrra vastuoluline, kuna seda ei saa esitada ühtselt mõistetava joonisena. Kristallide, mikrokristallide või grafiitsete ainete struktuuri ei saa võrrelda aktiivsöe omaga, seetõttu võib sellise kirjeldusega tekitada rohkem arusaamatusi ja probleeme juurde. Küll aga on üsna asjakohane kirjeldada aktiivsöe struktuuri sõnadega kärg, käsnn või labürint. Kindel on, et kogu aktiivsöe struktuur

koosneb ühtlasest pooride võrgustikust, kus eksisteerivad nii mikro- kui ka mesopoorid. Makropoorsust (>50nm) käsitletakse avatud pinnana, mis aitab kaasa ainult adsorptsiooni transportimisele süsinikuosakeste sisemusse, kus adsorptsioon toimub peamiselt mikropoorides. Mikropooride mõõtmed on 0,3- 2,0nm ja mesopooride mõõtmed on 2,0-50nm. Mikropoor mahutab palju adsorbeerunud molekule, mille käigus iga molekul hõivab kindla adsorptsioonikoha. Eristatakse keemilist ja füüsikalist adsorptsiooni. [15]

Ohverkrohvide lisandina toimib aktiivsüsi hästi just tänu oma heale adsorptsioonivõimele. Suur hulk sooli ladestub aktiivsöe pinnale ja selle tõttu püsib krohvi enda poorides soolade kontsentratsioon madalamana. Seega aktiivsütt lisades suureneb krohvi üldine soolamahutavus. Eelnevast on teada, et soolade liikumine müüritisest krohvi on lineaarses sõltuvuses ajast (Ficki seadus), ehk pikeneb aeg mil krohv on sooladega täielikult küllastunud. Seega aktiivsöe krohvile lisamine annab teoreetiliselt kaks positiivset tulemust: pikeneb aeg, mille tagant ohverkrohvi peab seinas vahetama ja ühe krohvimisükliga saab korraga seinast eemaldada rohkem soolasid.

Kanepiluud

Kanepiluu on kanepitaime varre puitunud osa, mida kuivatades ja tükeldades saadakse peamiselt tselluloosist koosnev materjal (kanepiluu), mida saab kasutada lisandina savikrohvides. Kanepiluu lisamine savikrohvi parandab krohvi soojusisolatsiooni kvaliteeti ja niiskuse puhverdamise võimet. 2021. aastal Marokos läbi viidud katsetest selgus, et kui savikrohville lisada kuus massiprotsenti kanepiluud, vähenes krohvi keskmine soojusjuhtivus $0,53\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ pealt $0,36\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ peale, ehk soojust isoleerivad omadused paranesid 35%. [25]

Magistritöö katsetel kasutatud savikrohvi koostises oli juba tehases lisatud vähesel määral kanepiluud, mille eesmärk on olla looduslik armeering krohvis. Täiendavalt juurde lisatud kanepiluu parandab krohvi soojust isoleerivat võimet ning suurendab krohvi hingavust.

1.4 Objekti kirjeldus ja objektil läbiviidud uuringud

1.4.1 Patarei kindlus militaarrajatisena

Patarei merekindluse rajamist alustati aastal 1827 Venemaa keiser Nikolai I eestvedamisel. Kindluse algne eesmärk oli kaitsta Peterburi eeljulgestusena. Kindlus rajati Tallinna lääneküljele, 250 meetri pikkuse kaarja kolmekorruselise hoonena (gorž), mille taha ehitati kaks üle saja meetri pikkust kolmnurkse paigutusega tiiba (lünetid). Terve hoonekompleks oli algselt ümbritsetud vallikraavidega. Goržid koosnesid läbi maja ulatuvatest lahingukambritest (kasemattidest). Iga kasematt mahutas kaks suurtükki. Lisaks ehitati merepoolsesse külge kolm ümarat pooltorni, mille eesmärk oli anda külgtuld. Kogu kompleks mahutas kokku 200 suurtükki. [26]



Joonis 4. Patarei kindluse aerofoto aastast 1999 [27]

1.4.2 Patarei kindlus vanglana

Esimeses maailmasõjas põlesid maha Toompea linnus ja Paksu Margareta suurtükitor, mis olid varasemalt kasutusel olnud vanglatena. Sellest johtuvalt hakati Patarei kasarmut 1919 aastal ümber ehitama vanglaks. Ümberehitustega lisati Patarei merekindlusele sisemüürid, vaheseinad, raudväravad ja kohati isegi kahekordsed trellid. Esiolgu oli Patarei vangla mahutavus 1000 kinnipeetavat. 1930. aastatel ehitati lünetihaarade vahele sidehoone ja gorži idaküljele üksikkambrite hoone, mille järel oli vangla mahutavus 1200 kinnipeetavat. [28]

Teise maailmasõja ajal kasutasid Patarei kompleksi vanglana nii venelased kui ka sakslased. Patarei vangla oli ette nähtud mahutama 1200 vahialust, aga see arv ületati kiirelt ja 1941 aastal hoiti seal juba 2600 kinnipeetavat. 1944 aasta augustiks oli kinnipeetavate arv juba ligikaudu 4200. 1944 aasta septembris, kui rindejoon Tallinnast üle liikus, peatus vangla töö ajutiselt, kuid Nõukogude okupatsiooni saabumise järel hakkas vangla kohe täies mahus jälle tööle. 1945 aastal tõusis vangide arv järjekordselt üle nelja tuhande. Patarei vanglas viidi läbi ka hukkamisi poomise ja mahalaskmise teel.[29]

Pärast Eesti taasiseseisvumist viidi Patarei vanglas 1991 aasta läbi viimane hukkamine. 27. detsembril 2002, kui valmis Tartu vangla, lõpetas Patarei vangla tegevuse. [28]

1.4.3 Patarei kindluse hetkeolukord ja teostatud uuringud

Patarei merekindlus võeti 4. novembril 1999 arvele muinsuskaitseameti kultuurimälestiste registrisse ehitismälestisena (mälestise registri number: 8485). Mälestise tunnuseks on välja toodud, et objekt on silmapaistva arhitektuuri ja mastaapsusega sõjaajalooline hoone, mis ilmestab suurepäraselt Vene sõjaväeinseneride loomingut. [30]

Patarei merekindluses teostatud uuringud:

- Kivitarindite niiskuse ja temperatuuri uuring (K. Pilt) [31]
- Hüdrogeoloogiline uuring (P. Sedman) [32]
- Maa-aluste tarindite ekspertiis (S. Averjanov) [33]
- Niiskus- ja seenkahjustuste eksperthinnang (K. Pilt) [34]
- Tehnilise seisundi uuring ja renoveerimisettepanekud (K. Õiger) [19]

Kolm aastat peale Patarei vangla sulgemist teostas prof. Karl Õiger Põhjaliku uuringu kompleksi seisundist. [19] Sel ajal puudusid Patarei kindluses korralik küte ja ventilatsioon. Patarei kindluse katus lasi läbi ja karniisid olid vigased. Seetõttu olid

arenenud seintel mikroorganismide kogumid ja seintel esines kristalliseerunud soolasid. Paljudes siseruumides olid pinnad kattunud tolmu ja hallituse kihiga. Ruumist, kus viidi läbi katse „Sein 1“ leiti hallitusseente *Myxotrichum* seeneperekonna struktuurid ning ruumist, kus viidi läbi katse „Sein 2“ leiti hallitusseente struktuure perekondadest *Epicoccum* ja *Paecilomyces* [34]. Vihmaveesüsteemid olid amortiseerunud ja vihmaveetorude otsad ei ulatunud maapinnani, mis võimendas vee sattumist seintesse. Gorži hoones oli aastal 2005 hinnanguliselt 150 raskete kahjustustega ruumi [19].

2005 aastal koostatud uuringu käigus [19] mõõdeti ka niiskusesisaldust erinevates seintes. *Mõõtmised teostati mikrolainete peegeldumist kasutava materjalide niiskusesisalduse mõõtjaga MOIST 200. Kasutatav mõõtesagedus 2,45 GHz, mõõtesügavus anduriga MOIST-P kuni 30 cm, mõõtemääramatus 1...2 %, mõõtepiirkond $0\% < W < 400\%$ (kuiva materjali suhtes). [---] Kõik mõõtepunktid on juhuslike vigade vähendamiseks kolme mõõtmise keskmised. Juhuslikult kattuvad mõõtmiste asukohad G-G käesoleva magistritöö „Sein 1“ asukohaga ja F-F „Sein 2“ asukohaga. Mõõtmised F-F ja G-G teostati välisseinte siseküljel.*

Korpus 1-1, lõige G-G

Gorž (lääneotsa merepoolse külje sisesein trepikoja juures)

Andur moist P nr 0948 (Ø...30 cm)

Materjal: paekivi

Kuupäev: 3.10.2005

niiskuse indeks:		
	0	0,9
11	2622	2564
10	2576	2612
9	2348	2594
8	2272	1867
6	2244	1872
5	1798	2260
4	1989	2156
2	2140	2388
1	2350	2506
0	2408	2302

niiskusesisalduse %: (Kaltsineerunud liivakivi kalibreeringu alusel)

	0	0,5	
0	13,8	11,9	
1	12,8	15,7	
2	9,2	13,1	
	8,1	11,3	interpoleeritud punktid
4	6,9	9,5	
5	4,4	11,2	
6	10,9	5,3	
	11,2	5,3	interpoleeritud punktid
8	11,4	5,3	
9	12,7	17,4	
10	17,1	17,8	keskmise W, %
11	18,0	16,8	11,5

III korus



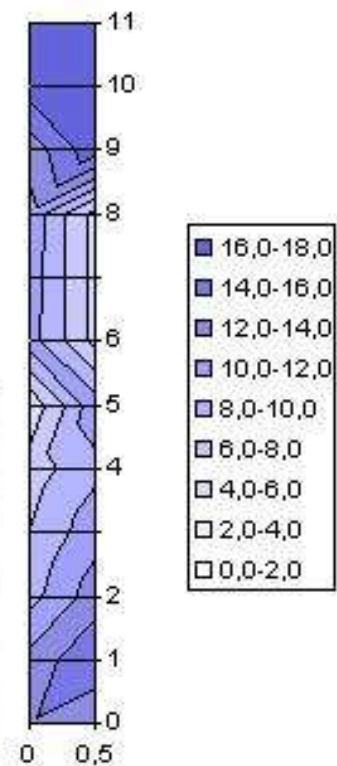
II korus



I



sool, proov. 10



Joonis 5. Asukohas "Sein 1" 2005. aastal läbi viidud niiskuse mõõtmise tulemused [19]

Korpus 1-1, lõige F-F

Gorž (lääneotsa merepoolne külg)

Andur moist P nr 0948 (0...30 cm)

Materjal: paekivi

Kuupäev: 3.10.2005

niiskuse indeks:

	0	0,5
10	1701	1700
9	1607	1672
8	1789	1708
6	1760	1791
5	1654	1978
4	1379	2044
2	2070	1792
1	2370	2406
0	2664	2522

III korrus



I korrus



niiskusesisalduse %: (Kaltsineerunud liivakivi kalibreeringu alusel)

h, m	l, m	
	0	0,5
0	18,9	16,0
1	13,1	13,8
2	8,1	4,3
	4,1	6,0
4	0,1	7,7
5	2,7	6,8
6	3,9	4,3
	4,1	3,8
8	4,3	3,3
9	2,2	2,9
10	3,2	3,2

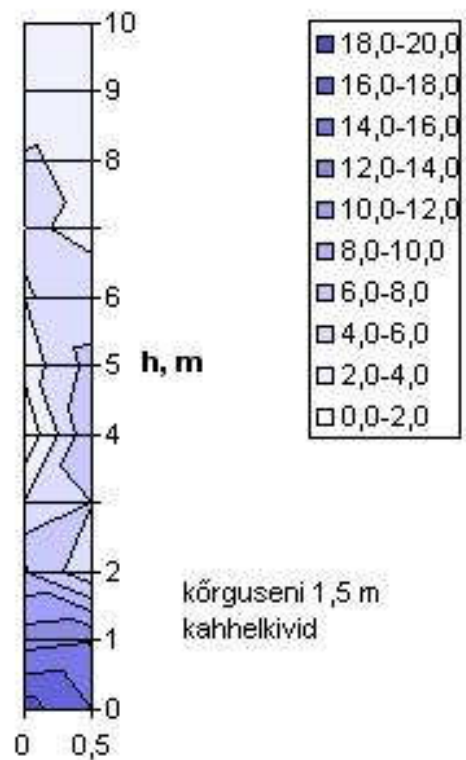
interpoleeritud punktid

interpoleeritud punktid

keskmise W, %

6,2

II korrus

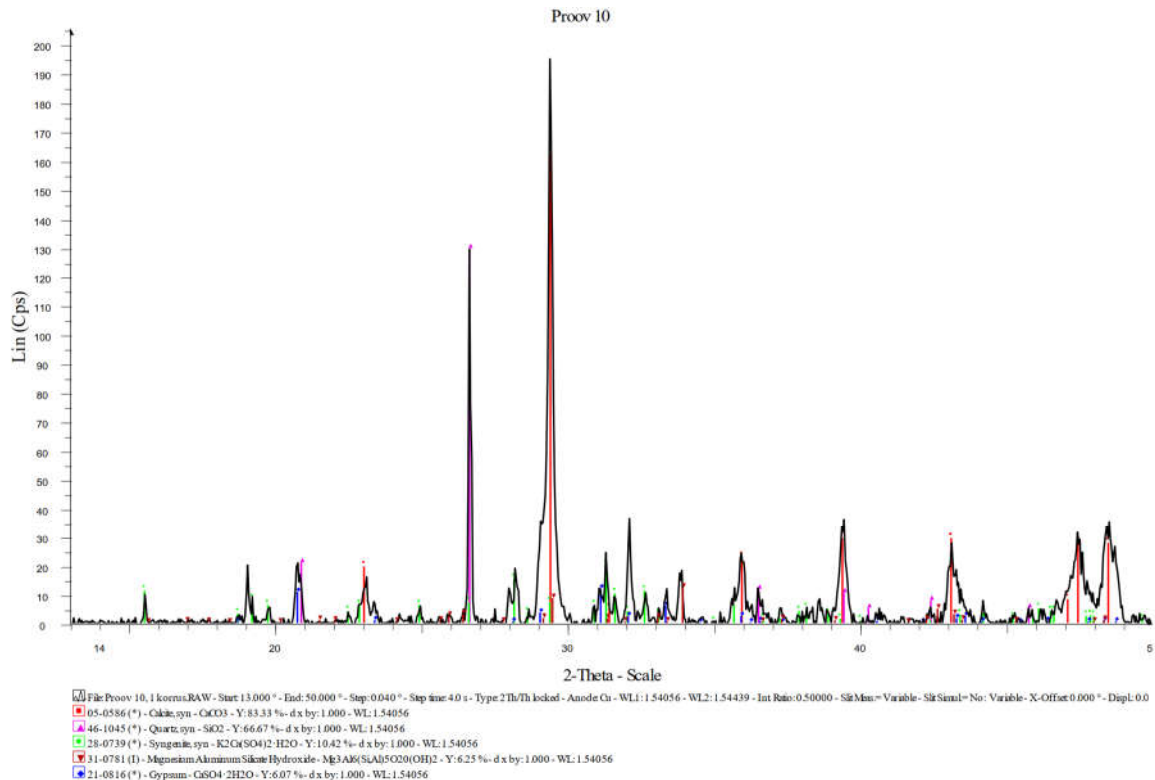


Joonis 6. Asukohas "Sein 2" 2005. aastal läbi viidud niiskuse mõõtmise tulemused [19]

Soolaprobleem on prof. Karl Õigeri uuringus välja toodud eraldi peatükina. Selle märgitakse ära, et võetud proovide tulemusena on näha, et Patarei kindluse seintes on ladestunud sulfaatseid, nitraatseid, kloriidseid ja karbonaatseid sooli. Pinnale kristalliseerunud soolasid saab kõige lihtsamini eemaldada mehaaniliselt terasharjaga või kõrgsurvepesuga, mis tähendab korra aastas kõikide seinade hooldamist. Sellist lahendust soolade tõrjumiseks kasutatakse näiteks sarnase ajalooa Helsingis asuvas Suomenlinna kindluses. Sellise lahenduse kasutamine tähendab, et ei tegeleta põhjuse vaid tagajärjega ja sellist soolade eemaldamist tuleb iga-aastaselt jätkata aastakümneid.[19]

Põhjusega tegelevatest ehk seinu sooladest puhastavate meetoditena on välja toodud seintele paigaldatav elektrofüüsikaline anood-katood süsteem ja ohverkroovid. Rotermanni soolalao näitel on Eestist kogemus olemas, et nii paksudel müüritistel anood-katood lahendus ei toimi, kuna anoodide omavahelised kaugused on liiga suured. Ohverkroovide miinusena on välja toodud, et need küllastuvad sooladega ja seetõttu tuleb neid aegajalt maha võtta ja välja vahetada. Juba 2005 aastal hoiatas prof. Õiger, et kui piisavalt kiiresti ei võeta kasutusele abinõusid soolade ja niiskuse eemaldamiseks, pole aastaid hiljem enam võimalik seinu päästa. [19]

Patarei merekindluses 2005 aastal läbi viidud uuringu käigus teostas TTÜ prof. Urve Kallavus välisseinte soolade mõõtmise. Mõõtmiste käigus võetud soolaproov „Proov 10“ (joonis 7) ühtib käesoleva magistritöö katsekohaga „Sein 1“. Mõõtmise teostati sein välispinnal ja seega on tulemused erinevad sein siseküljel olevatest soolakogustest. Lisaks on graafikul ära toodud kaltsiumkarbonaat (punased jooned), mis on lubjakivi koostises olev peamine mineraal (karboniseerununa) ja ei anna mingit infot soolade sisalduse kohta.



Joonis 7. Prof. U. Kallavuse poolt mõõdetud seina mineraloogiline koostis aastal 2005 Patarei merekindluse välisseina sisepinnal [19]

Aastal 2019 tekkis Riigi Kinnisvara AS'l küsimus kas võrreldes 2005 aastaga on Patarei merekindluse olukord halvenenud, mille kohta prof. Õiger kirjutab oma arvamuse. Vahepealse aja jooksul ei olnud hooneid köetud, ventileeritud ega renoveeritud, välja arvatud üksikute ruumide siseviimistluse korrastamised, katusekatte aukude paikamised ja uued vihmaveetorude püstakute paigaldamised. See tähendab, et hoone olukord ei saa olla läinud paremaks. Samas leiab prof. Õiger, et kindluse olukord pole läinud ka kehvemaks ja restaureerimistöde maht pole suurenenud. [35]

Patarei merekindluses viidi 2021. aastal Kalle Pildi poolt läbi temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse katsed [31]. Andmeid mõõdeti anduritega HOB0 UX100-023A perioodil 19. märts kuni 30. juuni 2021. Mõõtmised teostati 0,2m, 1,0m ja 1,8m kõrgusel põrandapinnast. Igal kõrgusel oli kolm andurit sügavusel 150mm, 300mm ja 500mm. [31] Antud magistritöö käigus pakuvad kõige rohkem huvi logerid ruumis 1004 („Sein 2“) ja ruumis 1027 („Sein 1“).

Ruumis 1027 (antud magistritöö sein 1 asukoht) oli teadmata põhjustel seitsmel anduril üheksast mõõtmine peatatud ja seetõttu ei ole andmed piisavad, et nende põhjal mingeid järeldusi niiskuse liikumise kohta seinas teha. Küll aga on näha graafikutelt, et suvine soojem õhk ei suuda müüride niiskust vähendada ja seetõttu müürid ei kuivanud kevad-suvise perioodi jooksul ja niiskus müürides püsis 100% peal. Kevadise ja suvise soojusega tõusis temperatuur müürides 1°C pealt 9°C peale. [31]

Mõõtmistulemused Gorši kaare ruumis 1027			
Sügavus mm »	150	300	500
Kõrgus pörandapinnast	Keskmise temperatuur		
1,8 m			5,38
1 m	6,98		
0,2 m			

Mõõtmistulemused Gorši kaare ruumis 1027			
Sügavus mm »	150	300	500
Kõrgus pörandapinnast	Suhteline õhuniiskus %		
1,8 m			100
1 m	100		
0,2 m			

Joonis 8. Asukohas "Sein 1" teostatud mõõtmiste tulemused [19]



Joonis 9. Logerid ruumis 1027 ("Sein 1") [31]

Ruumis 1004 (antud magistritöö sein 2 asukoht) oli oluline muutuja välisuks, mis paiknes mõõtmispiirkonna lähedal ja oli mõõtmisperioodi jooksul avatud, eesmärgiga kuivatada ja ventileerida ruumi. 1,8m kõrgusel olnud andurite graafikute põhjal, mis ei näidanud 100% niiskust, saab järeldada, et suvise sooja perioodi jooksul ukse lahti hoidmine küll tõstis seinte temperatuuri $-0,5^{\circ}\text{C}$ pealt 18°C peale, aga ei muutnud seina niiskussisaldust väiksemaks. Õhuniiskus seina puuritud aukudes püsis stabiilselt 90% ja 95% vahel. Seega välisukse kaudu ventileerides ja välisõhuga suvel soojendades ei kuiva seinad suvisel perioodil. [31]

Mõõtmistulemused Gorši kaare ruumis 1004			
Sügavus mm »	150	300	500
Kõrgus pörandapinnast	Keskmine temperatuur		
1,8 m	7,13	6,78	
1 m	6,38		5,96
0,2 m			5,37

Mõõtmistulemused Gorši kaare ruumis 1004			
Sügavus mm »	150	300	500
Kõrgus pörandapinnast	Suhteline õhuniiskus %		
1,8 m	91,84	95,59	
1 m	100		100
0,2 m			100

Joonis 10. Asukohas "Sein 2" teostatud mõõtmiste tulemused [31]



Joonis 11. Logerid ruumis 1004 ("Sein 2") [31]

Seinade kuivatamiseks tuleb talvisel perioodil kütta ruume soojapuhuriga, mis annab ruumidesse kuiva sooja õhku. Lisaks tuleb hoones tagada toimiv ventilatsioon. Ventilatsioon peab hoonest välja juhtima seinade kuivamisel niiskeks muutund õhu. Seda ka tehti ja alates 2021. aasta sügisest töötab hoone esimesel korrusel kaheksa 60kW gaasipuhurit [36]. Puhurite abil kuivatatakse esimese korruse kasemattide seinu. Tänu nendele puhuritele ongi võimalik katsetada antud magistritöö raames erinevaid ohverkrohve, mis eeldavad seinte aktiivset kuivamist.

2. EKSPERIMENTAALNE UURING

2.1 Katsete läbiviimise metoodika

Magistritöö katseid läbi viies lähtuti metoodika valikul varasematest sarnastest uuringutest [3], [9], [12], [17]. Katsete eesmärk oli katsetada ohverkrohvide võimet eemaldada sooli müüritisest, millele nad olid paigaldatud.

Uuring koosnes viiest etapist:

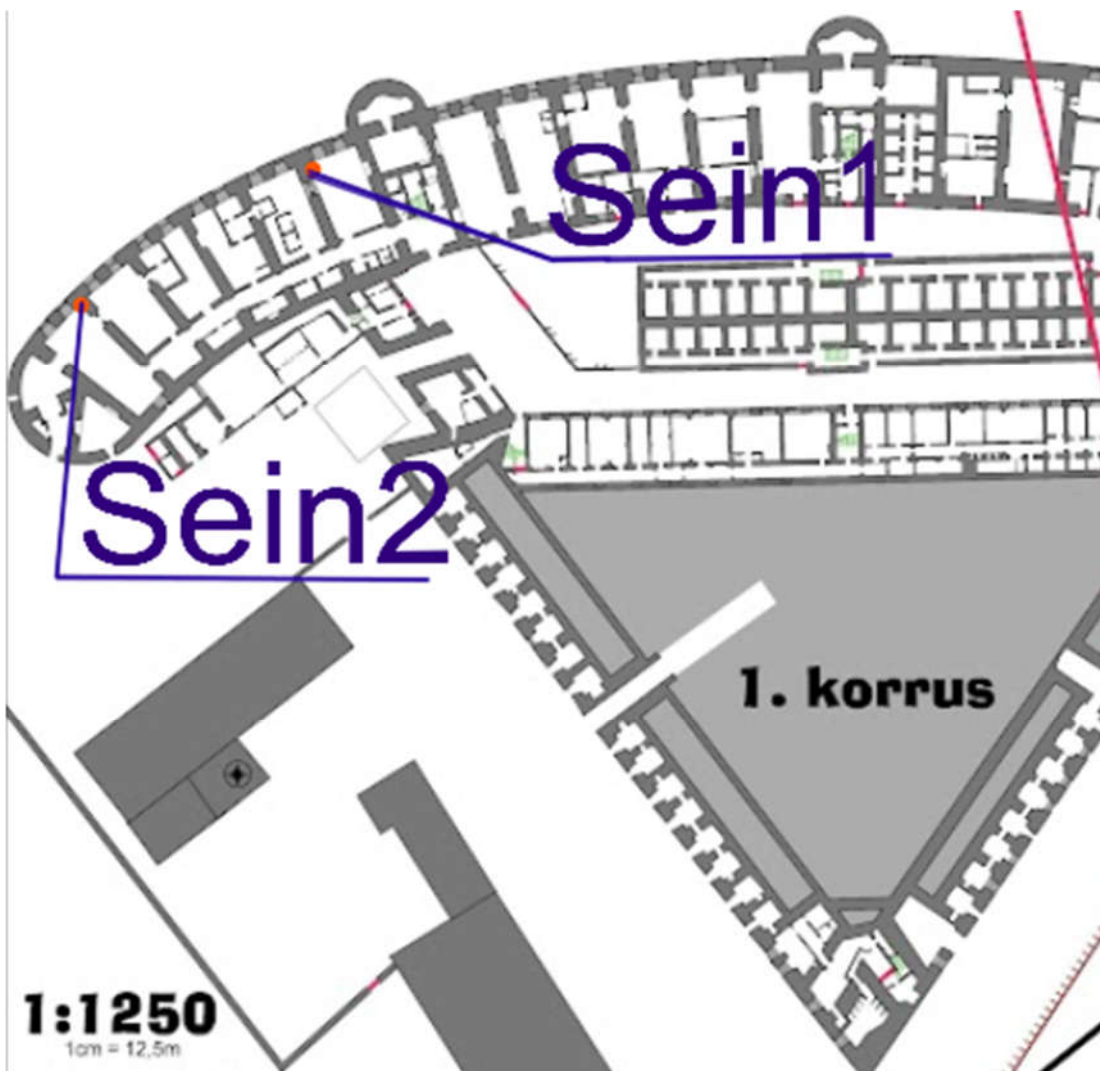
1. Uuritavate seinade valik
2. Soolaproovide võtmine perspektiivsetelt katselappidelt
3. Ohverkrohvide katselappide paigaldamine
4. Ohverkrohvide visuaalne jälgimine ning niiskuse mõõtmine seinas ja krohvides
5. Uuringu lõpus soolaproovide võtmine krohvide alt seinast ning krohvist

2.1.1 Etapp 1: seinade valik

Ohverkrohvide katsetamiseks valiti kaks suurimate soolakahjustustega seinapinda Patarei merekindluse goržiosa läänetiivas sein 1 ja sein 2. Mõlemad katsed hõlmasid nii välisseina sisepinda kui ka siseseinu. Mõlema katsekoha siseseinad koosnesid maapinnast kuni 0,8m kõrguseni põletatud savitellistest ja mördist ning kõrgemal kui 0,8m paekivist ja mördist. Savitellised pärinesid Padise mõisast. Selline jaotus on tüüplahendusena kasutusel tervel Patarei merekindlus esimesel korrusel. Valikul arvestati ka varasemate uuringutega. Nii asukohas sein 1 kui ka sein 2 olid varasemalt mõõtmisi teinud Kalle Pilt ja prof. Karl Õiger. Mõlemal seinal oli tugev eflorestsents, mis on ka nähtav joonisel 12. Katsetatavad seinad paiknevad Patarei merekindluse goržihoone esimese korruse läänetiivas. Esimene korrus valiti, sest niiskus ja soolakoormus on pinnaseveest pärineva kapillaarvee tõttu just esimesel korrusel suurim, mida on näha jooniselt 6. Täpsemad asukohad on nähtavad joonisel 13.



Joonis 12. Asukohas Sein 1 Pinnale kristalliseerunud sool enne krohvi paigaldust.



Joonis 13. Uuritav sein 1 ja uuritav sein 2 asukohad 1. Korruse plaanil

2.1.2 Etapp 2: Soolaproovid enne krohvimist

Soolaproovide võtmisel lähtuti põhimõttest, et soolade paiknemisest seintes tuleb saada materjalide mõttes ja ruumilises mõttes tervikpilt. Selleks võeti proove erinevalt kõrguselt (0,2m; 0,8m; 1,2m; 1,4m), erinevalt sügavuselt (0mm; 50mm; 100mm; 180mm) ja erinevatest materjalidest (krohv, savitellis, lubjakivi, vuugimört). Kokku võeti enne krohvimist 19 proovi. Täpsemalt on proovide kõrgused, sügavused ja materjalid toodud tabelis 2 ja joonistel 16 ning 17. Proovid võeti Hilti 22V akulööktrelliga TE 4-22A, löögiga puurimise vahemikuga 4-18mm, sügavusepiirikuga. Proovide puurimisel kasutati 20mm SDS kinnitusega 180mm pikkust puuri. Proovid koguti minigrip kottidesse, mis suleti õhutihedalt, et laboris saaks mõõta proovide veesisaldust. Laboris proovid kaaluti kaaluga Kern 1-6200g EW6200-2NM, $d=0,01g$ (joonis 14) ja kuivatati 48 tundi $105^{\circ}C$ juures ahjuga Memmert UF110, võimsusega 2800W, maksimaalse temperatuuriga $300^{\circ}C$ (joonis 15).

Proovid valmistati soolasisalduse mõõtmiseks ette tehes neist vesilahused. Igat proovi kaaluti välja 5g kaaluga Precisa Graviments 0,01-120g XT 120A, $d=0,0001g$ ning lahustati 100ml destilleeritud vees. Vesilahustes mõõdeti ionkromatograafia meetodil kloriidi, nitraadi ja sulfaadi ionide sisaldust. Selleks filtreeriti proovid läbi $0,45\mu m$ tselluloos-atsetaat (CA) membraanfiltrit (filtritootja: Whatman). Mõõtmiseks kasutati seadet 761 Compact IC ion chromatograph with suspension of eulent conductivity (Metrohm Ltd), Metrosep A Supp 5 column (150mm x 4.0mm). Täpsemad andmed katse kohta:

Proovi süstimise tase: $20\mu L$

Eluent: $3,2mM Na_2CO_3 + 1,0mM NaHCO_3$

Voolukiirus: $0,7mL min^{-1}$



Joonis 14. Enne krohvide paigaldamist seintest võetud soolaproovide kaalumine



Joonis 15. Soolaproovide kuivatamine 105°C juures 48h

Tabel 2. Soolaproovide asukohad, sügavus ja materjal enne krohvimist

Nr.	Asukoht	Kõrgus	Sügavus	Materjal
1	Sein 1, Proov 1	1,2m	0mm	Krohv
2	Sein 1, Proov 1	0,2m	0mm	Savitellis
3	Sein 1, Proov 1	0,2m	50mm	Savitellis
4	Sein 1, Proov 1	0,2m	100mm	Savitellis
5	Sein 1, Proov 1	0,2m	180mm	Savitellis
6	Sein 1, Proov 1	0,8m	0mm	Savitellis
7	Sein 1, Proov 1	0,8m	50mm	Savitellis
8	Sein 1, Proov 1	0,8m	100mm	Savitellis
9	Sein 1, Proov 1	0,8m	180mm	Savitellis
10	Sein 1, Proov 1	1,4m	0mm	Paekivi
11	Sein 1, Proov 1	1,4m	50mm	Vuugimört
12	Sein 1, Proov 1	1,4m	100mm	Vuugimört
13	Sein 1, Proov 1	1,4m	180mm	Vuugimört
14	Sein 1, Proov 2	0,2m	0mm	Vuugimört
15	Sein 1, Proov 2	0,8m	0mm	Savitellis
16	Sein 1, Proov 2	1,4m	0mm	Vuugimört
17	Sein 2, Proov 3	0,2m	0mm	Savitellis
18	Sein 2, Proov 3	0,8m	0mm	Savitellis
19	Sein 2, Proov 3	1,4m	0mm	Paekivi



Joonis 16. Proovide võtmise asukohad asukohas Sein 1



Joonis 17. Soolaproovide võtmise asukohad asukohas Sein 2



Joonis 18. Puurauk kust, võeti soolaproov ja suletav kott proovi säilitamiseks

2.1.3 Etapp 3: Ohverkrohvide katselappide paigaldamine

Seinte desalineerimine ohverkrohvidega on end praktikas õigustanud meetod seinte soolakoormuse vähendamiseks ning konstruktsioonide ja viimistluse säilitamiseks. Küll aga on Patarei kindluse müürid liiga paksud (1,2m -1,8m), et neid täielikult sooladest puhastada ohverkrohvide abil. Seetõttu tuleb arvestada, et krohvimise järel tuleb seinu uuesti krohvida teatud hooldusvälba järel.

Nii Kalle Pildi [31] kui ka Karl Öigeri [19] töödest on võimalik järeldada, et Patarei merekindluse seinad on liigniisked ja soolasid täis. Seda kinnitab ka asjaolu, et peale kuivatamise alustamist tekkisid seintele soolakristallid. Antud magistritöö käigus katsetati lisaks klassikalistele puhastele krohvidele ka aktiivsöe ja kanepiluu lisanditega krohve. Püstitati hüpotees, et aktiivsüsi seob oma suure eripindala tõttu soolasid oma pinnale ja aktiivsöe lisamisega muutub aeg, mil krohv on täielikult sooladega küllastunud ja vajab väljavahetamist, pikemaks ning kogu katseperioodi jooksul kokku suudavad aktiivsöe lisandiga krohvid müüritist paremini sooladest puhastada. Selle hüpoteesi püstitamist toetab fakt, et H. Sirelpuu 2020 aasta katsetel toimisid just aktiivsöe lisandiga krohvid kõige paremini müüritist desalineerida [3]. Lisaks aktiivsöele lisati savikrohvile kanepiluu, mis teoreetiliselt peaks toimima samamoodi nagu termokrohv iseenesest ehk suurendama krohvi soojusisoleerivõimet ja suunama kogu soolade kristalliseerumise krohvi. Ohverkrohvide katsetamiseks valiti kaks suurimate soolakahjustustega seinapinda hoone goržiosa läänetiivas („Sein 1“ ja „Sein 2“) ning võeti neilt müüritistelt soolaproovid. Seejärel paigaldati 6 ohverkrohvi katsekeha. Katselapid paigaldati ligikaudu 1m² suuruste pindadena, mis katsid nii kive kui ka vooke.

Magistritöö käigus paigaldati kuus katselappi, millest kolm olid puhtad krohvid ilma lisanditeta (savikrohv, lubikrohv ja termokrohv) ning vastavalt need samad kolm krohvi lisanditega. Kõigile lisanditega krohvidele lisati aktiivsütt ning savikrohvile veel täiendavalt kanepiluu. Krohvid paigaldati kahes etapis. Esimesel krohvimisel (20. jaanuar 2022) paigaldati ligikaudu 5mm paksune nakkekiht. Katselappidel, millel plaaniti kasutada krohvisegus lisandeid, paigaldati esimene kiht lisanditeta, sest lisanduvad ained lisati täiendavalt krohvisegule juurde, mitte ei asendatud tehases baaskrohvisegu täitematerjale. Kuna algsed krohvisegud juba sisaldasid täitematerjale, muutusid krohvisegude nakkeomadused kehvemaks ja täiendavate lisanditega otse aluspinnale paigaldatava krohviga oleks tekkinud oht, et see kukub seinast lahti ja rikub katse ära.

Krohvid, mis paigaldati Patarei merekindlusesse (joonised 19 ja 20):

Sein 1:

Krohv 1 Savikrohv lisanditega

- 14 osa savikrohvi (Saviukumaja OÜ)
- 6 osa kanepiluu 5-20mm (Majatohter)
- 7 osa aktiivsütt (kookoshelvestest)

Krohv 2 Termokrohv lisandiga

- 3 osa termokrohvi (Resthunt.ee)
- 1 osa aktiivsütt (kookoshelvestest)

Krohv 3 Lubikrohv lisandiga

- 3 osa lubikrohvi (Saviukumaja OÜ)
- 1 osa aktiivsütt (kookoshelvestest)

Sein 2:

Krohv 4 Puhas savikrohv (Saviukumaja ahjusegu)

Krohv 5 Puhas termokrohv (Resthunt.ee)

Krohv 6 Puhas lubikrohv (Saviukumaja OÜ)

Kõik krohvid vastavad standardile EVS-EN 13914-2:2016 „Krohvide projekteerimine, valmistamine ja pealekandmine Osa 2: Sisekrohv“.

Lisanduvate täitematerjalide kogused sein 1 peal kasutatavate krohvide jaoks leiti objektil proovimise teel, järgides põhimõtet, et krohvid sisaldaksid võimalikult suurt kogust aktiivsütt ja kanepiluid, säilitades seejuures piisava nakke seinas püsimiseks. Kõik krohvid paigaldati kahes kihis. 20. jaanuaril 2022 paigaldati 5mm paksune nakkekiht. Nakkekihi piisava kuivamise järel paigaldati 27. jaanuaril 2022 20mm põhikiht. Krohvimistööd viidi läbi standardi EVS-EN 13914-2:2016 „Krohvide projekteerimine, valmistamine ja pealekandmine Osa 2: Sisekrohv“ järgi.



Joonis 19. Krohvide paiknemine seinal 1



Joonis 20. Krohvide paiknemine seinal 2

2.1.4 Etapp 4: Krohvide jälgimine ja mõõtmine

Krohvides mõõdeti niiskust mittepurustava seadmega Trotec T610. Lisaks olid kogu mõõtmisperioodi jooksul seintes 200mm sügavusel, põrandapinnast 1,5m kõrgusel niiskuse- ja temperatuurilogerid Onset HOB0 UX100-023A, mõõtmisvahemikkudega -20°C kuni +70° (temperatuuri puhul) ja 1%-100% (suhtelise õhuniiskuse puhul).

Objektikülastusel mõõdeti krohvide niiskust mittepurustaval meetodil seadmega Trotec T610, mis ei anna küll teiste teadustöödega võrreldavaid tulemusi, aga tulemuste muut on võrreldav antud objekti piires. Krohve jälgiti ka visuaalselt ning fikseeriti kuupäevad, mil soolad jõudsid krohvi pinnale ja krohvide kuivamist. Tulemused fikseeriti ja on kajastatud antud töö punktis 2.2 „Tulemused ja arutelu“.

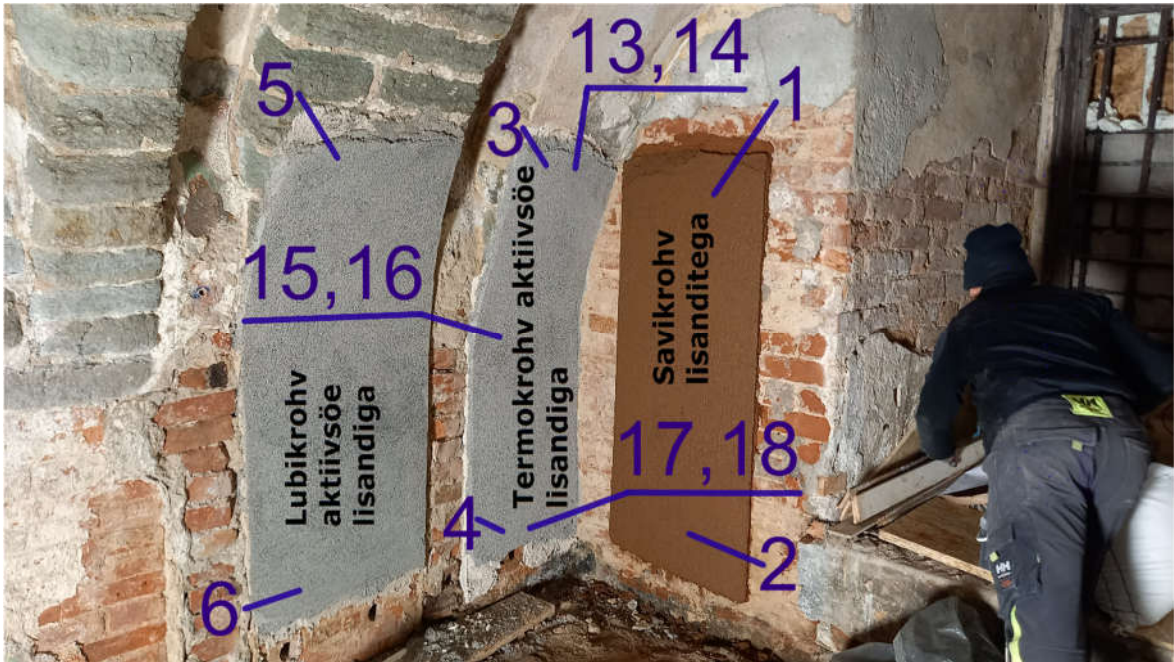
2.1.5 Etapp 5: Uuringu lõppfaasis võetud soolaproovid

Kaks kuud peale katsekehade paigaldamist võeti soolaproovid nii krohvist kui ka krohvi alusest müüritisest. Lisaks mõõdeti kogu katseperioodi seinade niiskust ja temperatuuri 200mm sügavusel, põrandapinnast 150cm kõrgusel seadmetega Onset HOB0.

Kõikidest krohvidest ning nende all olevast müüritisest puuriti uuesti 21 proovi. Proovid 1-12 võeti krohvidest, vastavalt igast krohvist 2 proovi: 0,2m kõrguselt ja 1,4m kõrguselt. Proovid 13-18 võeti samadest asukohtadest, kus enne krohvimist uuriti soolasisalduse muutust seinä sügavuse kasvades, igalt kõrguselt (0,2m; 0,8m ja 1,4m) võeti kaks proovi: müüritise pinnalt krohvi alt ja 180mm sügavuselt. Viimasena võeti võrdlevad proovid seinalt 2 puhta termokrohvi alt müüritise pinnalt, samadelt kõrgustelt nagu enne krohvimist (0,2m; 0,8m ja 1,4m). Proovide info on täpsemalt toodud tabelis 3 ja joonistel 21 ja 22. Puurimiseks kasutati akulööktrelli Hilti TE 4-22A. Proovide puurimisel kasutati 20mm SDS kinnitusega 180mm pikkust puuri. Proovid kuivatati, lahustati destilleeritud vees ning mõõdeti soolaioonide sisaldust ionkromatograafia meetodil. Metoodika on sama krohvimisele eelnenud soolaproovide katsetamise metoodikaga. Tulemusi võrreldi krohvimisele eelnenud proovide soolasisaldustega.

Tabel 3. Soolaproovide asukohad, sügavus ja materjal 2 kuud peale krohvide paigaldamist

Nr.	Asukoht	Kõrgus	Sügavus	Materjal
1	Krohv 1	1,4m	Välispind	Krohv
2	Krohv 1	0,2m	Välispind	Krohv
3	Krohv 2	1,4m	Välispind	Krohv
4	Krohv 2	0,2m	Välispind	Krohv
5	Krohv 3	1,4m	Välispind	Krohv
6	Krohv 3	0,2m	Välispind	Krohv
7	Krohv 4	1,4m	Välispind	Krohv
8	Krohv 4	0,2m	Välispind	Krohv
9	Krohv 5	1,4m	Välispind	Krohv
10	Krohv 5	0,2m	Välispind	Krohv
11	Krohv 6	1,4m	Välispind	Krohv
12	Krohv 6	0,2m	Välispind	Krohv
13	Krohv 2	1,4m	0mm	Vuugimört
14	Krohv 2	1,4m	180mm	Vuugimört
15	Krohv 2	0,8m	0mm	Savitellis
16	Krohv 2	0,8m	180mm	Savitellis
17	Krohv 2	0,2m	0mm	Savitellis
18	Krohv 2	0,2m	180mm	Savitellis
19	Krohv 5	1,4m	0mm	Vuugimört
20	Krohv 5	0,8m	0mm	Savitellis
21	Krohv 5	0,2m	0mm	Savitellis



Joonis 21. Soolaproovide asukohad 2 kuud peale krohvimist, sein 1



Joonis 22. Soolaproovide asukohad 2 kuud peale krohvimist, sein 2

2.2 Tulemused ja arutelu

2.2.1 Krohvide paigaldamine ja käitumine ajas

Krohvid paigaldati kuude asukohta ligikaudu 1m² suuruse pindadena. Kõikidel krohvidel jälgiti kuivamiskiirust ning soola pinnale kristalliseerumist. Vaatluse tulemused on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Krohvide visuaalse jälgimise tulemused

Kuupäev	Krohv 1	Krohv 2	Krohv 3	Krohv 4	Krohv 5	Krohv 6
16.02 2022	SP OK	PP TK	PP TK	PP MK	PP TK	PP OK
18.03 2022	SP OK	PP TK	PP TK	PP MK	PP TK	PP TK
09.04 2022	SP MK	PP TK	PP TK	PP MK	PP TK	PP TK

Tabelis 4 kasutatud lühendid:

PP- Puhas pind

SP- Sool pinnal

MK- Mitte kuivanud

OK- Osaliselt kuivanud

TK- Täielikult kuivanud

Visuaalsest vaatlusest on näha, et kõige paremini transpordib soolasid pinnale savikrohv söe ja kanepiluu lisanditega. Juba neli nädalat peale paigaldust oli lisanditega savikrohv kaetud tugeva soolakihiga. Teised krohvid samas pinnale sooli selleks ajaks kogunud ei olnud. Võrdluses seinal 2 olnud savikrohvi transportis seinal 1 krohv sooli pinnale paremini, sest seinas 1 oli soolade kontsentratsioon mitu korda suurem kui seinal 2.

Lisaks visuaalsele kuivamise vaatlusele mõõdeti objektikülastustel krohvide niiskussisaldust mittepurustaval meetodil seadmega Trotec T610. Tulemused on nähtavad tabelis 5. Antud tulemused ei kajasta standardseid mõõtmistulemusi, kuid annavad ülevaatliku võrdluse eri krohvide vahel, sest tulemused on tabeli raames võrreldavad. Andmete põhjal saab järeldada, et lisanditega krohvid kuivasid

aeglasemalt kui vastavad ilma lisanditeta krohvid. Joonistub ka välja fakt, et savikrohv on kõige aeglasem kuivaja.

Tabel 5. Krohvide pinnaniiskus mittepurustaval meetodil

Kuupäev	Krohv 1	Krohv 2	Krohv 3	Krohv 4	Krohv 5	Krohv 6
18.03 2022	101	41	89	75	34	24
09.04 2022	105	28	87	78	26	23

Paigaldamisel hinnati krohvide nakkuvust ja paigaldusomadusi professionaalse krohvija poolt, kellel on üle 20 aasta kogemust krohvide paigaldamisel. Ta andis hinnangu iga krohvi paigaldusomadustele skaalal 1-5 (Tabel 6). Oma nakkumisomadustelt ei ole lubi- ja savikrohvid võrreldavad ning toodud võrdlus kehtib ainult antud magistritöö raames.

Tabel 6. Krohvide paigaldatavuse hinded kogunud krohvija poolt (skaala 1-5)

Krohv 1	Krohv 2	Krohv 3	Krohv 4	Krohv 5	Krohv 6
3	2	2	4	4	5

Skaala selgitus (tabel 6):

- 1 - Paigaldamine väga keeruline
- 2 - Paigaldamine suhteliselt keeruline
- 3 - Paigaldamine keskpärane
- 4 - Paigaldamine lihtne
- 5 - Paigaldamine väga lihtne

Krohvide paigaldamist mõjutab peamiselt täiteainete ja sideainete vaheline kontsentratsioonide suhe. Lisanditega krohvide paigaldamine on keeruline, sest lisandid lisati valmis krohvisegudele, milles juba oli tehases lisatud optimaalses koguses täiteaineid. See liigutas paigast ära sideaine ja täiteaine mahu suhte ning krohvi paigaldusmugavus langes. Selleks, et katsetatud kanepiluu ja aktiivsöe lisandiga krohvid oleksid mugavalt paigaldatavad, peaks juba tehases asendama täiteainena lisatava liiva ohverkrohvi eesmärke täitvate täiteainetega. Sel juhul saaks ka nakkeomadusi parandavate täiteainete mahtu krohvides suurendada, võrreldes antud magistritöös katsetatud mahtudega.

2.2.2 Enne krohvimist võetud soolaproovide analüüs

Sarnaseid teaduslikke katseid on varasemalt teostatud erinevatel kivimüüritistel.

Cleeve Abbey kloostri (Suurbritannias) kasutati proovide analüüsimiseks ionkromatograafiat, proovide mass oli väiksem kui 0,05g. Augud, kust proove võeti olid maksimaalselt 1,5mm läbimõõduga. Nii väikseid proove kasutati, et kahjustada võimalikult vähe väärikat hoonet. Prof. Price nendib, et proovide kogused on liiga väikesed ja soolasisalduste väärtused on kõigest üldine, konservatiivne ülevaade ja ei anna usaldusväärseid tulemusi. [13]

Mooste tallides kasutati soolade analüüsimiseks samuti ionkromatograafiat. H. Sirelpuu kasutas proove mahuga kuni 1 gramm ja hindas ise tulemusi usaldusväärseteks. [3]

Käesoleva töö raames kasutati proove kaaluga 5g, kuna labor, kus proove katsetati väitis, et alla 5 grammi pole võimalik saada ionkromatograafia meetodil piisavalt usaldusväärseid tulemusi.

Kogu katseperioodi jooksul mõõdeti seintes niiskust HOBO UX 100-023A niiskusanduritega. Kuna antud andurid on mõeldud ennekõike õhuniiskuse mõõtmiseks, ei andnud mõõtmine võrreldavaid tulemusi ja kõik seinasisesed andurid näitasid 100% niiskust. Küll aga saab näha seinas olnud temperatuuri. Seinas 1 oli temperatuur 13. jaanuaril 7,8°C ja tõusis 19. aprilliks, mil andurid seinast eemaldati 11,4°C peale. Seinas 2 oli temperatuur 13. jaanuaril 8,0°C ja kerkis 19. aprilliks 9,2°C peale. Nii seina 1 kui ka seina 2 graafikud on stabiilsed ja ei esine märkimisväärseid temperatuuride kõikumisi. Sein 1 soojenes kiiremini selle tõttu, et gaasipuhur, mis kõiki ruumi küttis paiknes Sein 1 kõrvalruumis. Lisaks mõõdeti 22. jaanuaril 2022 ruumide õhutemperatuuri, niiskust ja CO₂ taset Green Eye logeriga. Mõõtmistulemused olid vastavalt: temperatuur 10,3°C, õhuniiskus 85% ja CO₂ tase 1066ppm. See info on ennekõike vajalik taustainfona. Proove soolasisalduse määramiseks ette valmistades tekkis võimalus määrata vee sisaldust müüritise materjalides laboratoorselt. Selleks kaaluti proovid enne ja pärast 48h 105°C temperatuuri juures kuivatamist. Tulemused on toodud tabelis 7.

Proovid 2-5 ja 6-9 olid vastavalt kumbki grupp võetud samalt kõrguselt ja kõik proovid 2-9 olid võetud savitellistest. 0,2m kõrgusel põrandapinnast oli keskmine savitelliste veesisaldus 6,7% ja 0,8m kõrgusel 4,4%. Sellest järeldub, et kõrguse suurenedes veesisaldus müüritisel väheneb. Lisaks on tabelist 7 võimalik näha, et paekivist võetud proovi (proov 10) veesisaldus oli ligikaudu neli korda väiksem (1,8%) selle kõrval asetsevast vuugimördist, mille keskmine veesisaldus oli 8,2% (proovid 11-13).

Tabel 7. Enne katselappide paigaldamist seinast võetud soolaproovide massid ja veesisaldused

Nr.	Materjal	Proovi mass [g]	Mass 24h hiljem [g]	Mass 48h hiljem [g]	Vee sisaldus materjalis [g]	Vee sisaldus materjalis [%]
1	Krohv	30,8	29,4	29,3	1,5	5,1
2	Savitellis	22,6	21,1	21,1	1,5	7,1
3	Savitellis	33,5	31,5	31,4	2,1	6,7
4	Savitellis	26,4	24,7	24,6	1,8	7,3
5	Savitellis	22,8	21,6	21,6	1,2	5,6
6	Savitellis	22,6	21,7	21,6	1,0	4,6
7	Savitellis	34,3	33,7	33,7	0,6	1,8
8	Savitellis	31,2	30,1	30,0	1,2	4,0
9	Savitellis	43,6	40,6	40,6	3,0	7,4
10	Paekivi	40,2	39,5	39,5	0,7	1,8
11	Vuugimört	34,7	32,1	32,1	2,6	8,1
12	Vuugimört	37,5	34,8	34,7	2,8	8,1
13	Vuugimört	56,0	51,6	51,6	4,4	8,5
14	Vuugimört	41,2	37,8	37,8	3,4	9,0
15	Savitellis	61,9	55,6	55,6	6,3	11,3
16	Vuugimört	66,5	61,5	61,4	5,1	8,3
17	Savitellis	48,5	42,4	42,2	6,3	14,9
18	Savitellis	43,4	42,0	41,9	1,5	3,6
19	Paekivi	88,2	81,8	81,7	6,5	8,0

Soolade sisaldus müüritistes mõõdeti ionkromatograafia meetodil ning katsete tulemused saadi ühikutes mg/L. Sama ühikut on kasutatud ka H. Sirelpuu oma magistritöös [3], ning tulemused on omavahel võrreldavad. J. Åkesson kasutas oma uuringus [12] soolasisalduste võrdlemiseks massiprotsente. Seetõttu on antud töös välja toodud tulemused nii mg/L kui ka mg/g. Tulemused on nähtavad tabelis 8.

Tabel 8. Soolade anioonide sisaldus Patarei merekindluse müürikivides ja vuugimördis (enne ohverkrohvide paigaldamist) ühikutes mg/L ja mg/g

Proovi nr.	Kõrgus, m	Sügavus, mm	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/g	NO ₃ ⁻ mg/g	SO ₄ ²⁻ mg/g
P1	1,2	0	300,049	205,692	1733,73	6,001	4,114	34,675
P2	0,2	0	28,5881	14,8447	47,7079	0,572	0,297	0,954
P3	0,2	50	60,1857	33,1927	147,078	1,204	0,664	2,942
P4	0,2	100	17,7062	8,6715	26,012	0,354	0,173	0,520
P5	0,2	180	14,0645	5,5316	16,5993	0,281	0,111	0,332
P6	0,8	0	33,8234	11,4169	20,6712	0,676	0,228	0,413
P7	0,8	50	25,1516	8,541	16,8053	0,503	0,171	0,336
P8	0,8	100	22,8223	7,0111	11,6133	0,456	0,140	0,232
P9	0,8	180	22,5143	5,6787	12,3548	0,450	0,114	0,247
P10	1,4	0	90,7075	25,9152	545,445	1,814	0,518	10,909
P11	1,4	50	227,939	49,3234	210,430	4,559	0,986	4,209
P12	1,4	100	205,701	45,5027	116,332	4,114	0,910	2,327
P13	1,4	180	151,297	34,5985	95,1702	3,026	0,692	1,903
P14	0,2	0	7,5873	2,55988	16,7762	0,152	0,051	0,336
P15	0,8	0	50,6298	90,3268	142,108	1,013	1,807	2,842
P16	1,4	0	547,5	107,9672	1367,016	10,950	2,159	27,340
P17	0,2	0	0,8270	1,37429	26,1742	0,017	0,027	0,523
P18	0,8	0	2,0479	2,3047	528,39	0,041	0,046	10,568
P19	1,4	0	9,9105	14,7235	594,028	0,198	0,294	11,881

Soolaproovide tulemustest on näha, et kõige kõrgem soolasisaldus on lahtises vanas krohvis (P1), mis on ka loogiline, sest just vana krohv on olnud aastakümneid müüritist kaitsev kiht. Ülejäänud proovid on võetud peale vana krohvikihi eemaldamist. Tumedamate joontega on tabelis 8 ära toodud proovide grupid, mis võeti samast puuraugust. Lisaks on näha, et proovid 17-19 (sein 2) on väiksema soolasisaldusega kui samadelt kõrgustelt võetud proovid 14-16 (sein 1). Järelikult on seina 2 üldine soolakoormus väiksem kui seinal 1. Võrreldes paekivist võetud proovi samalt kõrguselt võetud teiste materjalide proovidega, on näha, et paekivisse koguneb keskmiselt kloriide ja nitraate vähem kui vuugimörti, aga sulfaate rohkem kui samal kõrgusel asetsevasse mörti.

Eestis puuduvad standardid, mis sätestavad lubatud piirnorme seinade soolasisaldustes. Samuti puuduvad soolade piirnorme määravad standardid Eurocode süsteemis. Küll aga

on olemas Austria standard ÖNORM B 3355-1 „Trockenlegung von Feuchtem Mauerwerk –Bauwerksdiagnostik und Planungsgrundlagen“, mis määrab kloriidide ja nitraatide soovituslikud kontsentratsioonivahemikud, mille puhul oht puudub ning millisest kontsentratsioonist alates tuleb hakata müüritisest soolasid eemaldama. Standardis on toodud ühikutena g/kg, antud töös on ühikuks mg/g, need ühikud on võrdsed. [37]

Tabel 9. Soolakontsentratsioonide tähendused Austria ÖNORM B 3355-1 järgi [37]

Mõju	Kloriidid (Cl⁻) [mg/g]	Nitraadid (NO₃⁻) [mg/g]
Oht puudub	<0,3	<0,5
Vajalik edasine uurimine	0,2-1,0	0,5-1,5
Soovituslik tegeleda soolade eemaldamisega	>1,0	>1,5

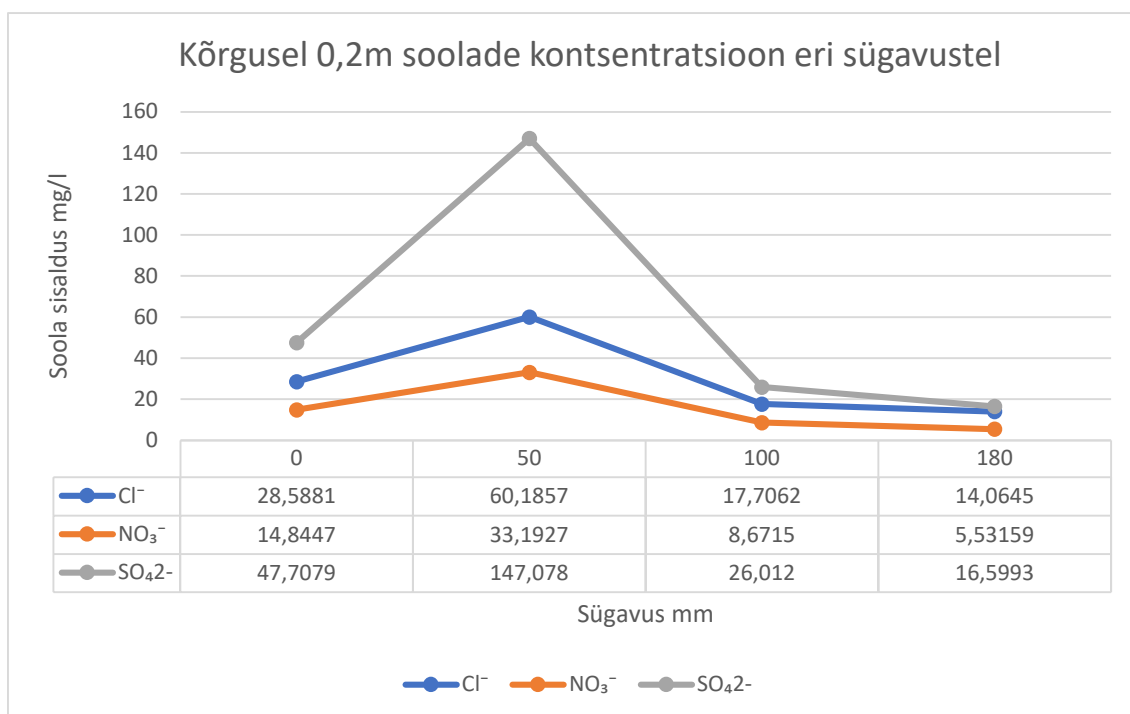
Võrreldes tabelleid 8 ja 9 saab teha seinade kohta mitu järeldust. Võrdluses ei käsitleta proovi P1, kuna tegu on lahtise krohviga, mis peale magistritöö valmimist aasta jooksul niikuinii täielikult seinast eemaldataks. Seinal 2 on nii kloriidide kui ka nitraatide kogused alla lubatud piirmäära, mille puhul tuleb soolasid aktiivselt eemaldama hakata. Seega sein 2 Austria standardi järgi ohverkrohvidega soolade eemaldamist teoreetiliselt ei vaja. Praktikas sellist järeldust teha ei saaks, kuna enne krohvimistöde alustamist oli kogu sein kaetud soolakristallidega.

Austria standardis toodud kontsentratsioonide järgi on kloriidide kogused liialt suured kõikides proovides (tabel 8), mis on võetud seinalt 1, 1,4m kõrguselt ning lisaks proovidel P3 (kõrgus 0,2m; sügavus 50mm) ja P15 (kõrgus 0,8m; sügavus 0mm). Proovi P3 (materjal: savitellis) andmed võivad olla valed (proovi sisse võis sattuda seinalt lisanduvat soola), kuna seina eri sügavuste soolasisalduste graafikul on ebaloomulikult suur hüpe P3 kohas (joonis 23). P15 kloriidi sisaldus on väga lähedal piirmäärale, millest madalamal pole soolade eemaldamise kohene vajadus puudub. Seega saab järeldada, et kloriidide eemaldamist vajab Patarei merekindluses seinosa, mis on põrandapinnast kõrgemal kui 0,8m. Antud magistritöö raames kogu seina soolade sisalduste kaardistamisega ei tegeletud ning seinade piirkondadest, kus kloriidide tõttu tuleb rakendada kohest soolade eemaldamist ülevaate saamiseks tuleb teostada täiendavaid uuringuid.

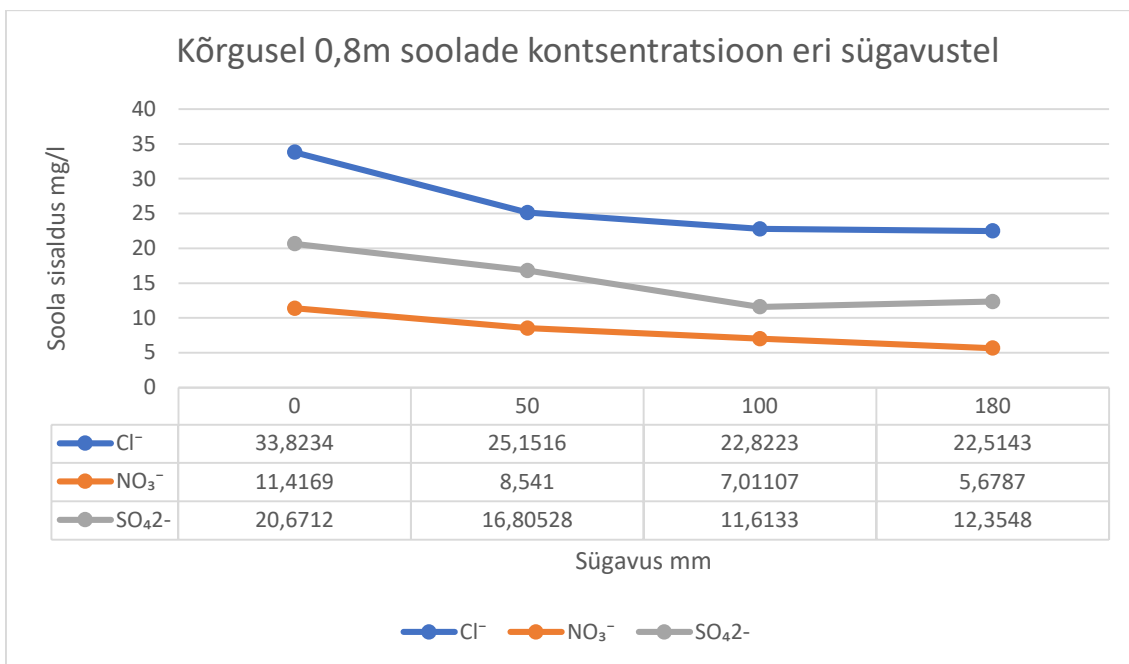
Nitraatide kogused jäävad merekindluse müüritistel üldiselt soovituslikust maksimaalväärtusest allapoole, erandina ainult proovid P15 ja P16, kus nitraatide kogus pole mitu korda suurem tabelis 9 nähtavast 1,5mg/g. Maksimaalne nitraadikogus proovis P16 ületas 1,5 kordselt 1,5mg/g piiri, kui samas proovis kloriidide kogus ületas ligikaudu 11 kordselt 1,0mg/g kloriididele seatud piiri. Nitraatide madalate koguste hulk seinas tuleneb asjaolust, et nitraadid satuvad konstruktsioonidesse peamiselt

väljaheidetest ja on pigem probleemiks laudahoonetel ja vetsukorpustel. Katselappide läheduses vetsusid pole kunagi paiknenud. Hoone müüritistel võib olla mujal nitraatidest põhjustatud probleeme, asukohtades, kus on paiknenud kemmergud. Endiste vetsude asukohtade seinad vajavad täiendavaid uuringuid selgitamiseks välja, kas seal võib olla probleeme liigsete nitraatide kogustega müüritistes.

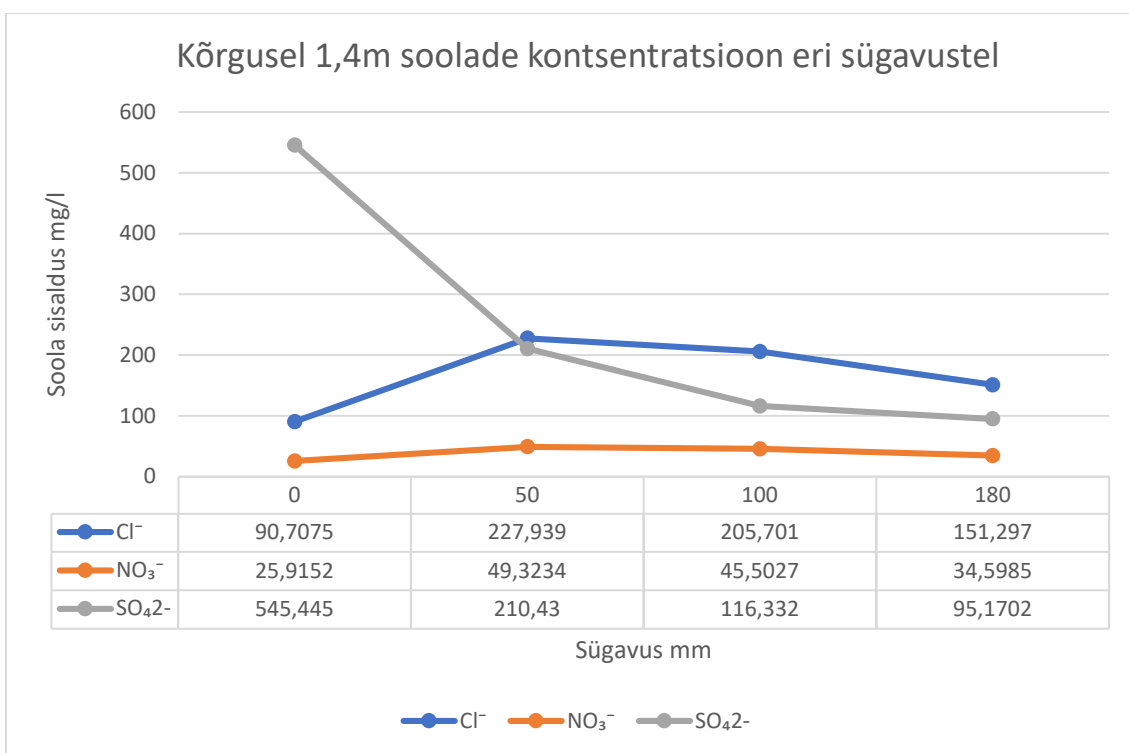
Joonistel 23, 24 ja 25 on näha kloriidide, nitraatide ja sulfaatide sisaldust müüritise eri sügavustel. Kui jätta kõrvale proov P3 (kõrgusel 0,2m, sügavus 50mm) siis on näha, et soolade sisaldused seina sügavuses vähenevad. Kõige paremini iseloomustab soolade kontsentratsiooni vähenemist sügavuse suurenedes joonis 24. Kõrgusel 1,4m (joonisel 25) on pindmine proov (P10) võetud paekivist, mitte vuugimördist nagu ülejäänud sama kõrguse proovid ning seetõttu võib selle proovi soolasisaldus olla mittekorrektne.



Joonis 23. Soolade kontsentratsioonid erinevatel seina sügavustel (h=0,2m)



Joonis 24. Soolade kontsentratsioonid erinevatel seina sügavustel (h=0,8m)



Joonis 25. Soolade kontsentratsioonid erinevatel seina sügavustel (h=1,4m)

2.2.3 Peale krohvimist võetud soolaproovide analüüs

Teised soolaproovid võeti seintest kuupäeval 09.04.2022. Igast krohvist võeti kaks proovi, 0,2m kõrguselt ja 1,4m kõrguselt. Lisaks võeti proovid seinast 1 termokrohvi alt samadest asukohtadest, kust enne krohvimist olid võetud eri sügavustel proovid, kuid nüüd võeti ainult pindmine proov ja 180mm sügavune proov, et saada ülevaade kas seinte soola ja niiskussisaldus käitub eri sügavustel sarnaselt. Seinast 2 võeti termokrohvi alt võrdlevad pindmised proovid samadest asukohtadest, kust olid võetud enne krohvimist proovid. Peale krohvimist võetud proove katsetati samade katseseadmetega ja sama meetodika alusel nagu enne krohvimist võetud proove. Täpsemalt on mõõtmistulemused toodud tabelites 10 ja 11.

Tabel 10. Peale katselappide paigaldamist seinast võetud soolaproovide massid ja veesisaldused

Nr.	Materjal	Kõrgus [m]	Proovi mass [g]	Mass 48h hiljem [g]	Vee sisaldus materjalis [g]	Vee sisaldus materjalis [%]
P1	Krohv (S+)	1,4	53,7	49,4	4,3	8,7
P2	Krohv (S+)	0,2	70,8	64,8	6,0	9,3
P3	Krohv (T+)	1,4	31,9	28,4	3,5	12,3
P4	Krohv (T+)	0,2	28,7	26,2	2,5	9,5
P5	Krohv (L+)	1,4	32	30,9	1,1	3,6
P6	Krohv (L+)	0,2	69	66,9	2,1	3,1
P7	Krohv (S)	1,4	89,3	82,6	6,7	8,1
P8	Krohv (S)	0,2	91,2	82,2	9,0	10,9
P9	Krohv (T)	1,4	35,8	34,5	1,3	3,8
P10	Krohv (T)	0,2	34,5	29,5	5,0	16,9
P11	Krohv (L)	1,4	66	65,8	0,2	0,3
P12	Krohv (L)	0,2	63,6	62,5	1,1	1,8
P13	Vuugimört	1,4	44,3	42	2,3	5,5
P14	Vuugimört	1,4	32,1	30,2	1,9	6,3
P15	Savitellis	0,8	24,4	22,5	1,9	8,4
P16	Savitellis	0,8	21,5	19,6	1,9	9,7
P17	Savitellis	0,2	31,8	27,1	4,7	17,3
P18	Savitellis	0,2	17,4	15,7	1,7	10,8
P19	Vuugimört	1,4	49,1	46,8	2,3	4,9
P20	Savitellis	0,8	37,5	34,5	3,0	8,7
P21	Savitellis	0,2	33,3	28,4	4,9	17,3

Legend tabel 10 materjalide tähistele:

- S+ - Savikrohv lisanditega
- T+ - Termokrohv lisanditega
- L+ - Lubikrohv lisanditega
- S - Puhas savikrohv
- T - Puhas termokrohv
- L - Puhas lubikrohv

Tabelist 10 on võimalik näha (P1-P12), et kõikidel krohvidel peale termokrohvi aktiivsöe lisandiga ja lubikrohvi aktiivsöe lisandiga on vee sisaldus krohvis 1,4m kõrgusel väiksem kui 0,2m kõrgusel. Vaadates proove P13-P18, mis on võetud seinast 1, aktiivsöe lisandiga termokrohvi tagant müüritisest on näha, et kõrgustel 0,8m ja 1,4m on veesisaldus müüritise pinna lähedal väiksem kui 180mm sügavusel. 0,2 m kõrgusel jällegi on sein pindmises proovis veesisaldus suurem. Samamoodi oli ka enne krohvimist võetud proovides (tabel 7). Seinas 2 muutub veesisaldus kõrguse kasvades väiksemaks. Võrreldes krohvimiseelsete proovidega, on üldine veesisaldus seinas 2 kasvanud. Kõrgusel 1,4m võetud proovid ei ole kahjuks võrreldavad, kuna esialgne proov oli võetud paekivist, teine proov aga vuugimördist.

Termokrohv pärssis sein madalamate kihtide kuivamist, kuna 0,2m kõrgusel muutus sein niiskussisaldus vahepealse aja jooksul suuremaks (tabel 7, proovid P2 ja P5 võrdluses tabel 10 proovidega P17 ja P18). Kõrgusel 0,8m tõusis veesisaldus pinnalähedasel kihil 4,6% pealt 8,4% peale (tabel 7, P6 ja tabel 10, P15), 180mm sügavusel seinas 8,5% pealt 9,7% peale, ehk krohv takistas ka 0,8m kõrgusel põrandapinnast vee väljakuivamist ja aktiveeris kapillaarliikumist. Seinas 1, 1,4m kõrgusel müüritis kuivas, sest veesisaldus muutus ligikaudu kolmandiku võrra väiksemaks. Arvestades, et sein veesisaldus on 1,4 m kõrgusel vähenenud, samas krohv on selles asukohas niiskem kui maapinna lähedal (tabel 10, P3 ja P4), saab oletada, et 1,4m kõrgusel toimub seinas 1 aktiivne vee müüritisest krohvi liikumine.

Seina 1 krohvides on niiskuse sisaldus lubi- ja termokrohvi eri kõrgustel ühtlasemalt jaotunud, sest 0,2m kõrguselt võetud proovid erinevad väga vähe 1,4m kõrguselt võetud krohviproovidest (tabel 10, proovid P3-P6), võrreldes sein 2 proovidega (tabel 10, proovid P9-P12), kus niiskusesisalduse erinevus on mitmekordne. Savikrohvi puhul ei saa niiskusesisaldust võrrelda, kuna savikrohvid ei kuivanud 2,5 kuu jooksul seinades üldse ja olid uuringu lõppfaasis täiesti pehmed.

Tabel 11. Soolade anioonide sisaldus 2,5 kuud peale krohvimist (mg/L) ja teisendatuna ühikutesse (mg/g)

Proovi nr.	Kõrgus	Sügavus	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/g	NO ₃ ⁻ mg/g	SO ₄ ²⁻ mg/g
P1	1,4m	Krohv	104,633	43,976	46,536	2,093	0,880	0,931
P2	0,2m	Krohv	7,881	0,834	31,150	0,158	0,017	0,623
P3	1,4m	Krohv	152,563	46,706	66,819	3,051	0,934	1,336
P4	0,2m	Krohv	4,936	4,965	14,609	0,099	0,099	0,292
P5	1,4m	Krohv	37,546	8,686	11,501	0,751	0,174	0,230
P6	0,2m	Krohv	11,484	2,494	1,481	0,230	0,050	0,030
P7	1,4m	Krohv	1,533	2,103	26,560	0,031	0,042	0,531
P8	0,2m	Krohv	0,325	0,458	3,085	0,007	0,009	0,062
P9	1,4m	Krohv	17,214	19,818	252,930	0,344	0,396	5,059
P10	0,2m	Krohv	9,538	11,265	60,942	0,191	0,225	1,219
P11	1,4m	Krohv	11,649	12,611	35,326	0,233	0,252	0,707
P12	0,2m	Krohv	1,125	1,978	17,966	0,022	0,040	0,359
P13	1,4m	0mm	118,174	33,570	437,390	2,363	0,671	8,748
P14	1,4m	180mm	98,045	25,262	78,097	1,961	0,505	1,562
P15	0,8m	0mm	60,998	18,155	25,276	1,220	0,363	0,506
P16	0,8m	180mm	43,824	11,429	17,760	0,876	0,229	0,355
P17	0,2m	0mm	19,569	8,808	25,044	0,391	0,176	0,501
P18	0,2m	180mm	9,345	3,901	13,726	0,187	0,078	0,275
P19	1,4m	0mm	6,013	6,647	121,109	0,120	0,133	2,422
P20	0,8m	0mm	1,598	1,477	273,239	0,032	0,030	5,465
P21	0,2m	0mm	0,535	0,677	6,679	0,011	0,014	0,134

Tabelist 11 on näha proovide P1-P12 näol, kuidas toimub soolade liikumine krohvi eri kõrgustel. Kõikidel krohvidel liikusid soolad 1,4m kõrgusel aktiivsemalt krohvi sisse kui 0,2m kõrgusel. Võrreldes proovide gruppe P1-P6 (sein 1) ja P7-P12 (sein 2), näeme, et krohvi eri kõrgustele soolade jagunemist ei mõjuta seina niiskuse jaotus. Sein 1 oli niiskus 0,2m kuni 1,4m kõrgustel ühtlaselt jaotunud, seinal 2 oli 1,4m kõrgusel müüritis oluliselt kuivem kui põranda lähedal.

Võrdlust, kas lisanditega krohvid sidusid paremini sooli kui ilma lisanditeta krohvid antud katsete põhjal teha ei saa, kuna tingimused olid erinevad. Sein 1 oli gaasikütteseadmele lähemal ja seega toimus seinas 1 kiirem kuivamine kui seinas 2. Küll aga saab krohve omavahel võrrelda, sest ühe seina ulatuses olid krohvid piisavalt sarnastes tingimustes. Selleks leiti kogu krohvitud pinna keskmine soolasisaldus, arvutades aritmeetilised

keskmised 0,2m ja 1,4m kõrguselt võetud proovidest (tabel 12). Sein 1 puhul on näha, et kõige paremini liikusid soolad termokrohvi. Sama järelduse saab teha ka sein 2 kohta. Kloriidid ja nitraadid liikusid paremini aktiivsöe ja kanepiluu lisanditega krohvidesse (sein 1) ning sulfaadid ilma lisanditeta krohvidesse (sein 2). On võimalik, et lisandid ei mänginud peamist rolli eri soolade krohvi liikumisel, sest seinad ise olid erinevates õhu ringluse tingimustes, erineva algse soolasisalduse ja niiskusega. Selleks, et kinnitada hüpoteesi, et aktiivsüsi kiirendab kloriidide ja nitraatide krohvi liikumist, kuid pärsib sulfaatide krohvi liikumist, tuleb teostada täiendavaid laboratoorseid katseid.

Tabel 12. Soolade anioonide sisalduste aritmeetilised keskmised krohvides (0,2m ja 1,4m) (mg/L)

Asukoht	Krohv	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Sein 1	S+	56,257	22,405	38,843
	T+	78,749	25,835	40,714
	L+	24,515	5,590	6,491
Sein 2	S	0,929	1,280	14,822
	T	13,376	15,542	156,936
	L	6,387	7,295	26,646

Tabel 12 krohvide tähistused kattuvad tabel 10 tähistustega.

Tabelite 8 ja 11 võrdluseks tehti täiendav tabel 13 kus on arvutatud soolade kontsentratsioonide vahe enne krohvimist võetud proovidel ja peale krohvimist võetud proovidel. Tabelis on punasega tähistatud proovid, kus soolasisaldus kasvas ning rohelisega, kus soolasisaldus langes.

Tabel 13. Soolade koguste muutus seintes enne ja pärast krohvimist (mg/L ja protsentides)

Asukoht	Kõrgus	Sügavus	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Sein 1	1,4	0	27,47	7,66	-108,06	30%	30%	-20%
	1,4	180	-53,25	-9,34	-17,07	-35%	-27%	-18%
	0,8	0	27,17	6,74	4,61	80%	59%	22%
	0,8	180	21,31	5,75	5,40	95%	101%	44%
	0,2	0	-9,02	-6,04	-22,66	-32%	-41%	-48%
	0,2	180	-4,72	-1,63	-2,87	-34%	-29%	-17%
Sein 2	1,4	0	-3,90	-8,08	-472,92	-39%	-55%	-80%
	0,8	0	-0,45	-0,83	-255,15	-22%	-36%	-48%
	0,2	0	-0,29	-0,70	-19,50	-35%	-51%	-74%

Tabelist 13 on näha, et kloriidid ja nitraadid käituvad sarnaste seaduspärade järgi. Seinas 1 kõrgusel 0,2m vähenes kloriidide ja nitraatide sisaldus ning kõrgusel 0,8m vastavate soolade sisaldus suurenes. 1,4m kõrgusel toimus soolade pinnale liikumine. Arvestades fakti, et soolasid liigutab seinas vesi, saab püstitada hüpoteesi, et maapinnast liikus vett seina juurde (madalamates kihtides veesisaldus kasvas) ja vesi kannab soolasid mööda müüritist üles kuni 1,4m kõrgusele, kus toimub aktiivne pinna kuivamine ja soolad ladestuvad sellel kõrgusel krohvi. See tõendab ühtlasi ka kapillaartõusu 1,4m kõrguseni. Krohvi enda soolasisaldusi vaadates (tabel 11, proovid P3 ja P4) näeme, et kloriide on 1,4m kõrgusel ligikaudu 30 korda rohkem ja nitraate ligikaudu 9 korda rohkem kui 0,2m kõrgusel. Selleks, et hüpoteesi kontrollida, tuleb jätkata seina uurimist ja näiteks aasta pärast võtta uuesti soolaproovid seinast kõigilt kolmelt kõrguselt. Lisaks tuleb jätkata proovilappide jälgimist, sest uuringu lõppedes polnud veel soolad krohvi pinnale ladestunud, kuid tõenäoliselt juhtub see kõigepealt just 1,4m kõrgusel, sest sellel kõrgusel on krohvi soolasisaldus niivõrd suur.

Seinas 1 suurenes soolade kontsentratsioon kõrgusel 0,8 (tabel 13). Ühe variandina võis seda mõjutada kapillaarliikumise dünaamika, mis liigutas antud ajaperioodi jooksul soolad kõrguselt 0,2m kõrgusele 0,8m, kuid aja möödudes liiguvad need soolad edasi kõrgemale ja transporditakse 1,4m kõrgusel krohvi. Teise variandina võis 0,8m kõrgusel müüritise suurenenud soolakogust mõjutada seina konstruktiivse materjali muutus, kus savitellised asendused paekiviga. Selle kontrollimiseks tuleb jällegi teatud aja möödudes võtta seinast täiendavad soolaproovid, et näha, kas soolade kontsentratsioon kõrgusel 0,8m kasvab või kahaneb.

Seinas 2 muutusid kloriidide ja nitraatide sisaldused kogu seina lõikes väiksemaks (tabel 13). Eriti suur kloriidide ja nitraatide vähenemine toimus katselapi ülaservas. Krohvi ladestus 1,4m kõrgusel vastavaid anioone ligikaudu kaks korda rohkem kui 0,2 meetri kõrgusel (tabel 11, P9 ja P10), mis pole võrreldav sein 1 juures toimunud 30 ja 9 kordsete erinevustega. Küll aga toimus ka sein 2 puhul seaduspära, et müüritise maapinnalähedane osa puhastus sooladest ja soolad kogunesid enim proovikeha ülemisse serva.

Sulfaadid allusid laias laastus samale seaduspärale nagu kloriidid ja nitraadid, kuid mõningate erisustega (tabel 13). Seinas 1 vähenes sulfaatide kogus 0,2m kõrgusel, suurenes 0,8m kõrgusel ja erisusena vähenes 1,4m kõrgusel nii pinnakihi kui ka 180mm sügavusel. 1,4m kõrgusel oli krohvi proovis (tabel 11, P3) sulfaatide sisaldus arvestatavalt suur. Seinas 2 võeti soolaproovid ainult pindmisest kihist, mille tõttu saab võrrelda ainult eri kõrguste krohviaaluse müüritise pinnakihi soolasisalduse muutusi. Seinas 2 vähenes müüritise pinnakihi sulfaatide sisaldus 48% kuni 80%. Sarnaselt seinale 1, kus 0,8m kõrgusel seina soolasisaldus kasvas, vähenes seinas 2 sellel

kõrgusel sulfaatide sisaldus kõige vähem. Krohvi ladestus seinas 2 sulfaate oluliselt rohkem, kui seinas 1 (tabelid 11 ja 12). Seega saab püstitada hüpoteesi, et sulfaadid liiguvad müüritise pinnakihist kiiremini krohvi kui kloriidid ja nitraadid.

H. Sirelpuu magistritööga [3], mille jätkuuringuks antud magistritöö on, võrdlusi teha ei saa, sest antud magistritöö uuring keskendus ennekõike soolade üldise seinas liikumise dünaamika uurimisele ning seda peamiselt termokrohvi näitel. H. Sirelpuu magistritöös ei käsitletud termokrohvi. Antud magistritöö savi ja lubikrohvi soolade eemaldamisel keskenduti krohvi enda võimele siduda sooli, aga H. Sirelpuu mõõtis soolade sisalduste muutusi krohvide all müüritises. Küll aga sai kinnitust H. Sirelpuu tehtud järeldus, et aktiivsöe lisamisel krohvidesse muutub nitraatide ja kloriidide ladestumine krohvi sisse suuremaks võrrelduna sulfaatide ladestumisega samas katses.

Rootsis läbiviidud uuringu põhjal sidus termosilidi sisaldusega ohverkrohv mitu korda rohkem vees lahustuvaid sooli kui traditsiooniline lubikrohv. Selle uuringu käigus savikrohvi ei katsetatud. Katse kestis kokku 1,5 aastat. Termosilidi sisaldusega krohve paigaldati 6 katselappi ja traditsioonilisi lubikrohve 4 katselappi. Termosilidi sisaldusega krohvid suutsid keskmiselt siduda (andmed massiprotsentides) 0,6% kloriide (Cl^-), 0,5% nitraate (NO_3^-) ja 0,37% Naatriumi (Na). Traditsioonilised lubikrohvid sidusid soolasid väga vähe või ei teinud seda üldse: 0,1% kloriide (Cl^-), 0,08% nitraate (NO_3^-) ja 0,08% Naatriumi (Na). [23]

Selleks, et seda Rootsi uuringut võrrelda antud magistritöö katsete tulemustega, tehti täiendav tabel 14, milles on krohvidesse ladestunud soolad toodud massiprotsentides. Krohvide tähistused ühtivad tabel 10 tähistustega.

Tabel 14. Krohvi ladestunud soolad massiprotsentides

Nr.	Materjal	Kõrgus [m]	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄²⁻
P1	Krohvi (S+)	1,4	0,209%	0,088%	0,093%
P2	Krohvi (S+)	0,2	0,016%	0,002%	0,062%
P3	Krohvi (T+)	1,4	0,305%	0,093%	0,134%
P4	Krohvi (T+)	0,2	0,010%	0,010%	0,029%
P5	Krohvi (L+)	1,4	0,075%	0,017%	0,023%
P6	Krohvi (L+)	0,2	0,023%	0,005%	0,003%
P7	Krohvi (S)	1,4	0,003%	0,004%	0,053%
P8	Krohvi (S)	0,2	0,001%	0,001%	0,006%
P9	Krohvi (T)	1,4	0,034%	0,040%	0,506%
P10	Krohvi (T)	0,2	0,019%	0,023%	0,122%
P11	Krohvi (L)	1,4	0,023%	0,025%	0,071%
P12	Krohvi (L)	0,2	0,002%	0,004%	0,036%

Katsed on läbi viidud väga erinevate soolakoormustega seinadel, erinevate krohvisegudega ja keskkonnast tulenevaid muutujaid on veel palju. Lisaks kestis Rootsi katse 1,5 aastat, antud magistritöö katse 2,5 kuud. Sellest hoolimata on selge, et puhtast lubikrohvi ja termosilidi sisaldavat krohvi võrreldes sidus sooli nii antud magistritöö katsetes kui ka Rootsi uuringus [23] termosilidi sisaldusega krohvi paremini.

KOKKUVÕTE

Patarei merekindlus on ligikaudu 200 aastat vana hoone, millel puudub hüdroisolatsioon. Sellest tulenevalt pole selles hoones kapillaartõusu abil pinnasevee juurdevool müüritistesse takistatud, mida näitas ka põrandapinna lähedalt võetud müüritise proovides vee suurenemine antud katseperioodi jooksul. Vee pideva juurde tekkimise tõttu toimub kogu katsetatud kõrguste vahemikus (0,2 m kuni 1,4 m) aktiivne vees lahustuvate soolade liikumine.

Enne krohvide seina panemist kaardistati soolade ja vee paiknemist seintes. Müüritise eri sügavustel mõõdetud proovide tulemuste järgi (0mm-180mm) saab järeldada, et soolade sisaldus sügavuse kasvades väheneb. Müüritise pinnal on veesisaldus samuti suurem kui sügavamates kihtides. Vertikaalses mõõtmes kasvas soolade sisaldus alt üles, ehk 0,2m kõrguselt võetud proovides oli vähem soolasid kui 0,8m kõrguselt võetud proovides ja 0,8m kõrguselt võetud proovides oli vähem soolasid kui 1,4m kõrguselt võetud proovides. Soolasisalduste erinevused olid paiguti isegi kümnekordsed. Müüritise veesisaldus kõrguse kasvades vähenes. Järelikult toimib seaduspära, et kõrgema kapillaarvee aurustumisega piirkondades on soolade kontsentratsioon suurem.

Krohvide paigaldamisel selgus, et lisanditega krohve on kehvem paigaldada, kui puhtaid krohve. Selleks et lisanditega krohve oleks mugav paigaldada, tuleks tehases täiteaine (peamiselt liiv) asendada aktiivsöe ja kanepiluu lisanditega. Sel juhul ei läheks sideaine ja täiteaine kontsentratsioonide suhe paigast ära.

Visuaalsel jälgimisel selgus, et savikrohv kuivab aeglasemalt kui termokrohv ja lubikrohv. 2,5 kuuga polnud savikrohv üldse kuivanud, termokrohv ja lubikrohv olid kivistunud juba 2 nädalaga. Lisaks tekkis soolakristallide kiht antud ajaperioodi jooksul ainult savikrohvi pinnale. Soola pinnale kristalliseerumist mõjutaski ilmselt asjaolu, et savikrohv oli märg ja vee aurustumine toimus pinnal, mitte materjali sees.

Termokrohvide tagant võetud proovide tulemustest on näha, et 2,5 kuuga muutus sein kõrgustel 0,2 m ja 0,8 m märjemaks, seda nii aktiivsöe lisandiga krohvi puhul kui ka puhta termokrohvi puhul. Samas 1,4 m kõrgusel muutus sein kuivemaks. See tähendab, et soojust isoleeriv krohv aktiveeris kapillaarvee liikumist kõrgustel 0,2 m ja 0,8 m ning kuivamine toimus 1,4 m kõrgusel. Krohvide veesisaldusi võrreldes nägime, et seinad on erinevad ja erineva kuivamisdünaamikaga. Seinal 1 oli krohv katselapi ülaserivas niiskem kui alaservas, seinal 2 oli vastupidi, ehk krohv oli ülaserivas kuivem. See ei mõjuta soolade krohvi liikumist, sest mõlemal seinal oli katselapi ülaserivas soolade kontsentratsioon suurem kui alaservas.

Termokrohv on parem ohverkrohv kui savikrohv või lubikrohv, sest mõlemal seinal sidus termokrohv kõige paremini kõiki katsetel mõõdetud soolade anioone. Seinal 1 toimus

soola kontsentratsiooni vähenemine kõrgusel 0,2 m, suurenes 0,8 m ja suurenes 1,4 m kõrgusel pinna läheda (välja arvatud sulfaadid). Seega kogunesid soolad kõrgusele 0,8 m seinasse, kus toimus savitellistest müüritise üleminek paekivimüüritisele ning 1,4 m kõrgusele pinnakihi, kus toimus kõige kiirem aurustumine. Aurustumine toimus 1,4 m kõrgusel kõige kiiremini, sest sellel kõrgusel oli krohvi enda soolasisaldus suurim. Pole teada, kas soolade kontsentratsioonide suurenemist mõjutas kõrgusel 0,8m müüritise konstruktiivse materjali vahetumine või üldine soolade seinas liikumise dünaamika.

Seinas 2 toimus kogu katselapi lõikes protsess nii nagu, see kirjanduse ülevaates teoreetiliste põhimõtete järgi toimuma olekski pidanud. Seinasse soolasisaldus vähenes kõige rohkem 1,4 m kõrgusel, kus toimus ka suurim niiskuse vähenemine. Sulfaatide vähenemine müüritises oli puhta termokrohvi all protsentuaalselt suurem kui kloriidide ja nitraatide vähenemine. Selle põhjus võis olla krohvis aktiivsöe puudumine, mida on märgatud ka varasemates uurimustes. Samas, mõjutasid eri seintel olnud katsekehi erinevad keskkonnast tulenevad tegurid, näiteks seinasse temperatuur, ruumi õhuniiskus ja temperatuur ning õhu ringluse kiirus.

Antud magistr töö ei anna lõplikku arusaama, kuidas soolad seintes liiguvad ning milline krohv katsetatud kuuest krohvist on parim ohverkrohv. Seda teemat tuleb edasi uurida. Järgnevalt on välja toodud mõned teemad, mida antud magistr töö mahus ei olnud võimalik uurida, kuid mis vajaksid täpsemaid katseid.

- Patarei merekindluse krohvide jälgimise jätkamine, et selgitada välja kuidas krohv käituvad pikema aja jooksul kui 2,5 kuud.
- Täiendavate soolaproovide võtmine Patarei merekindluse katsekehadelt nii müüritises kui ka krohvist, et kaardistada paremini soolade liikumine vanas müüritises, mille kapillaarvee juurdevool pole takistatud.
- Laboratoorsed katsed krohvide soolade sidumisvõime määramiseks, mis hõlmavad ka termokrohvi. Savi ja lubikrohv on varasemalt laboratoorselt katsetatud [3], kuid termokrohvi laboratoorsed katsed soolade sidumisvõimele puuduvad.
- Aktiivsöe lisamise eeliste ja puuduste võrdlus ohverkrohvi lisandina. Võrdlus peaks sisaldama nii hinda, kasutatavust kui ka efektiivsust.
- Erinevate aktiivsüte tüüpide ja fraktsioonide võrdlevad katsed krohvi lisandina laboratoorse uuringuna.

SUMMARY

The Patarei marine fort building is about 200 years old and does not have hydroisolation. Consequently, the inflow of groundwater into the masonry is not impeded by capillary rise in this building, as shown by the increase of water in the masonry samples taken close to the floor surface during the test period. Due to the constant addition of water, there is an active movement of water-soluble salts throughout the range of heights tested (0.2 m to 1.4 m).

Before laying the plasters on the wall, the location of salts and water in the walls was mapped. From the results of the samples measured at different depths of the masonry (0mm-180mm), it can be concluded that the salt content decreases with increasing depth. The water content of the masonry surface is also higher than in the deeper layers. In the vertical dimension, the salt content increased from lower to higher, i.e. the samples taken from a height of 0.2 m contained fewer salts than the samples taken from a height of 0.8 m and the samples taken from a height of 0.8 m had less salt than the samples taken from a height of 1.4 m. The differences in salt content were even tenfold in some places. The water content of the masonry decreased with increasing height. Consequently, it is common practice for areas with higher capillary water evaporation to have higher salt concentrations.

When installing plasters, it was found that plasters with additives are more difficult to install than pure plasters. In order to make it easier to install plasters with additives, the additives of activated carbon and hemp shingle should be substituted for the filler (mainly sand) in the factory. In this case, the ratio between the binder and filler concentrations would not be out of balance.

Visual inspection revealed that clay plaster dries more slowly than thermal plaster and lime plaster. In 2.5 months, the clay plaster had not dried at all, the thermal plaster and lime plaster had hardened already in 2 weeks. In addition, a layer of salt crystals formed only on the surface of the clay plaster during this period. The crystallization of the salt on the surface was probably influenced by the fact that the clay plaster was wet, and the evaporation of water took place on the surface and not inside the material.

The results of the samples taken from the behind of the thermal plasters show that the wall became wetter at heights of 0.2 m and 0.8 m over a period of 2.5 months, both for the activated-carbon plaster and for the pure thermal plaster. However, the wall became drier at a height of 1.4 m. This means that the thermal insulating plaster activated capillary water movement at heights of 0.2 m and 0.8 m and drying occurred at 1.4 m height. In comparison of the water contents of the plasters, we saw that the walls are different and have different drying dynamics. On wall 1 the plaster was wetter at the

top than at the bottom, while on wall 2 the opposite was true, i.e. the plaster was drier at the top. This has no effect on the movement of salts into the plaster, as both walls had a higher concentration of salts at the upper edge of the test surface than at the lower edge.

Thermal plaster is a better sacrificial plaster than clay or lime plaster, because on both walls thermal plaster bonded best to all the salt anions measured in the tests. Wall 1 showed a decrease in salt concentration at 0.2 m, an increase at 0.8 m and an increase at 1.4 m near the surface (except for sulphates). Thus, salts accumulated in the wall at 0.8 m, where the transition from clay brick masonry to limestone masonry took place, and in the surface layer at 1.4 m, where the most rapid evaporation took place. Evaporation occurred most rapidly at 1,4 m because the salt content in the plaster itself was highest at this height. It is not known whether the increase in salt concentrations at 0.8 m was influenced by a change in the structural material of the masonry or by the general dynamics of salt movement in the wall.

In wall 2, the process in the whole experimental phase was as it should have been according to the theoretical principles of the literature review. The salt content of the wall decreased the most at a height of 1.4 m, where the greatest decrease in moisture content occurred. The percentage reduction in sulphates in the masonry was greater than the percentage reduction in chlorides and nitrates under pure thermal plaster. This could be due to the lack of activated carbon in the plaster, which has also been reported in previous studies. At the same time, different environmental factors, such as wall temperature, air humidity, temperature in the room and the air circulation rate, influenced the test samples on different walls.

This thesis does not provide a definitive understanding of how salts move through walls and which of the six plasters tested is the best sacrificial plaster. This is a topic that needs to be researched further. In the following, some topics that could not be researched within the volume of this thesis, but that need further experiments, are highlighted.

- Continuing to monitor the plasters in the Patarei marine fort to see how the plasters behave over a period longer than 2.5 months.
- Taking additional salt samples from both the masonry and the plasters of the Patarei marine fort test specimens to better map salt movement in the old masonry, where capillary inflow is not obstructed.

- Laboratory tests to determine the salt binding capacity of plasters, including thermal plaster. Clay and lime mortar have been laboratory tested in the past [3], but there are no laboratory tests on the salt binding capacity of thermal plaster.
- - Comparison of the advantages and disadvantages of the addition of activated carbon as an additive to thin green clay. The comparison should include cost, usability and effectiveness.
- Comparative tests of different activated carbon types and fractions as an additive to plaster as a laboratory study.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] P. M. Congedo, C. Baglivo, D. D'Agostino, G. Quarta, and P. di Gloria, "Rising damp in building stones: Numerical and experimental comparison in lecce stone and carparo under controlled microclimatic conditions," *Construction and Building Materials*, vol. 296, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123713.
- [2] J. M. P. Q. Delgado, A. S. Guimarães, V. P. de Freitas, I. Antepara, V. Kočí, and R. Černý, "Salt Damage and Rising Damp Treatment in Building Structures," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2016, p. 1280894, 2016, doi: 10.1155/2016/1280894.
- [3] H. Sirelpuu, "Looduskivist ja põletatud savitellistest kombineeritud müüritiste desalinerrimine, magistritöö, Eesti Maaülikool. (Juhendajad: M. Kiviste, K. Leiten)," Tartu, 2020.
- [4] N. Harmati, Ž. Jakšić, M. Trivunić, and V. Milovanovi, "Rising damp analysis and selection of optimal handling method in masonry construction," *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, vol. 58, no. 4, pp. 431–444, 2014, doi: 10.3311/PPCI.2113.
- [5] N. Sathiparan and U. Rumeskumar, "Effect of moisture condition on mechanical behavior of low strength brick masonry," *Journal of Building Engineering*, vol. 17, pp. 23–31, May 2018, doi: 10.1016/J.JOBE.2018.01.015.
- [6] M. Gutland, S. Bucking, and M. Santana Quintero, "Hygrothermal modelling of historic rubble masonry walls: Accounting for geometric and compositional variability," *Journal of Building Engineering*, vol. 48, p. 103929, May 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103929.
- [7] D. Camuffo, "Physical weathering of stones," *Science of The Total Environment*, vol. 167, no. 1–3, pp. 1–14, May 1995, doi: 10.1016/0048-9697(95)04565-I.
- [8] S. Käärid, *Hoonete remont ja rekonstrueerimine*. Tallinn, 2004. Accessed: May 10, 2022. [Online]. Available: <https://eprints.ttkk.ee/id/eprint/283/>
- [9] D. Young, "Salt attack and rising damp A guide to salt damp in historic and older buildings," 2008.
- [10] R. M. Damle, N. Khatri, and R. Rawal, "Experimental investigation on hygrothermal behaviour of cement and lime plaster," *Building and Environment*, vol. 217, p. 109098, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2022.109098.

- [11] E. Franzoni and S. Bandini, "Spontaneous electrical effects in masonry affected by capillary water rise: The role of salts," *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 642–646, Oct. 2012, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.04.098.
- [12] J. H. Åkesson, "Offerputsning på saltvittrande tegelmurverk," 2013.
- [13] A. Sawdy and C. Price, "Salt damage at Cleeve Abbey, England: Part I: a comparison of theoretical predictions and practical observations," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 6, no. 2, pp. 125–135, Apr. 2005, doi: 10.1016/J.CULHER.2005.03.003.
- [14] Kashif Kamran, "Electrokinetic desalination of porous building materials," Eindhoven University of Technology Library, Pakistan, 2012.
- [15] "BSI-011: Capillarity—Small Sacrifices | Building Science Corporation." <https://www.buildingscience.com/documents/insights/bsi-011-capillarity-small-sacrifices#Figure%202> (accessed Feb. 15, 2022).
- [16] K. Öiger, *Ehitiste renoveerimine*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2011.
- [17] R. P. J. van Hees, *Guideline for desalination of porous substrates*. TUDelft. University of Technology, 2006.
- [18] N. Barbezat and M. Auras, "Poultices and mortars for salt contaminated masonry and stone objects," Copenhagen, 2008.
- [19] K. Öiger, "Patarei Merekindluse tehnilise seisundi uurimise tulemused ja renoveerimisettepanekud," Tallinn, 2005.
- [20] K. Kirtsi and M. Mihkelsoo, "Ohverkrohv – RestHunt." <https://resthunt.ee/ohverkrohv/> (accessed Jan. 29, 2022).
- [21] "Thermosilit® – RestHunt." <https://resthunt.ee/lugemist/thermosilit/> (accessed Feb. 08, 2022).
- [22] "Vad är Thermosilit? | Nordic Thermosilit AB." <http://www.nordic-thermosilit.se/vad-ar-thermosilit/> (accessed Feb. 08, 2022).
- [23] J. H. Åkesson, "Rapport: Offerputsning på tegelmurverk," 2013. [Online]. Available: www.nordic-thermosilit.se
- [24] H. Marsh and F. Rodríguez-Reinoso, "Porosity in Carbons: Modeling," *Activated Carbon*, pp. 87–142, Jan. 2006, doi: 10.1016/B978-008044463-5/50017-0.
- [25] M. Charai, H. Sghiouri, A. Mezrhab, and M. Karkri, "Thermal insulation potential of non-industrial hemp (Moroccan cannabis sativa L.) fibers for green plaster-

- based building materials," *Journal of Cleaner Production*, vol. 292, p. 126064, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.126064.
- [26] "Patarei militaarrajatisena (1830. aastad -1917) | Patarei Vangla." <https://patareiprison.org/et/ajalugu/patarei-militaarrajatisena-1830-aastad-1917> (accessed Jan. 26, 2022).
- [27] "Eesti Arhitektuurimuuseum - Patarei vangla, aerofoto," Nov. 1999. <https://www.muis.ee/museaalview/2630498> (accessed Apr. 26, 2022).
- [28] "Patarei keskvanglana (1920-1940; 1991-2002) | Patarei Vangla." <https://patareiprison.org/et/ajalugu/patarei-keskvanglana-1920-1940-1991-2002> (accessed Jan. 30, 2022).
- [29] "Patarei totalitaarsete režiimide terroripaigana (1940-1991) | Patarei Vangla." <https://patareiprison.org/et/ajalugu/patarei-totalitaarsete-reziimide-terroripaigana-1940-1991> (accessed Jan. 30, 2022).
- [30] "8485 Kaitsekasarm, 1829-1840 • Mälestised," 2018. <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=8485> (accessed Jan. 30, 2022).
- [31] K. Pilt, "Oluliste niiskuskahjustustega kivitarindite piirkondade suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri mõõtmise aruanne," Tartu, Aug. 2021.
- [32] P. Sedman, "Hüdrogeoloogia uuringu aruanne," Tallinn, 2021.
- [33] S. Averjanov, "Patarei merekindluse maa-aluste tarindite ekspertiis," Tallinn, Oct. 2020.
- [34] K. Pilt and S. Vessmann, "Patarei merekindluse niiskus- ja seenkahjustuste Mükoloogiauuringu Keskuse eksperthinnang," Tallinn, Jun. 2021.
- [35] K. Õiger, "Arvamus Patarei Merekindluses ehituskonstruksioonide tehnilisest seisundist," 2019.
- [36] "Merekindlusest köetakse niiskus gaasiga välja - Postimees," *Postimees*, Jan. 20, 2022. <https://www.postimees.ee/7434139/merekindlusest-koetakse-niiskus-gaasiga-valja> (accessed Feb. 03, 2022).
- [37] L. M. Ottosen, A. J. Pedersen, and I. Rørig-Dalgaard, "Salt-related problems in brick masonry and electrokinetic removal of salts," *Journal of Building Appraisal*, vol. 3, no. 3, pp. 181–194, Sep. 2007, doi: 10.1057/palgrave.jba.2950074.