



**Klevfos  
industrimuseum**

ANNO Museene i Hedmark



**FABRICA**

kulturminnetjenester as



Anno Klevfos industrimuseum

## **Saltforvitring i Klevfos Cellulosefabrik: Årsaker, virkninger og muligheter for begrensning**

Fagrapport Kunnskapsprosjektet

Delprosjekt 1 – Begrensning av forvitring

Fabrica kulturminnetjenester as

November 2021



FABRICA kulturminnetjenester as  
Vøienvolden gård  
Maridalsveien 120  
0274 Oslo  
Org. nr.: 922 632 642 MVA  
[www.fabrica.no](http://www.fabrica.no)  
[post@fabrica.no](mailto:post@fabrica.no)

Anno Klevfos industrimuseum  
Saltforvitring i Klevfos Cellulosefabrik: Årsaker, virkninger og muligheter for begrensnig  
Fagrapport Kunnskapsprosjektet  
Delprosjekt 1 – Begrensnig av forvitring

Forfatter: Per Storemyr, epost: [per.storemyr@fabrica.no](mailto:per.storemyr@fabrica.no), tlf.: 95 33 04 60

Kvalitetssikring: Morten Stige, Fabrica

Oppdragsgiver: Klevfos industrimuseum, Anno museum

Fotografier/illustrasjoner: Fabrica, der ikke annet er nevnt

30.11.2021

Forsidebilder: Øverst: Tapping av sodaovnen i 1960, Foto: Anno Museum. Nederst: Sodaovnen i dag.



## Sammendrag

Delprosjekt 1 i Kunnskapsprosjektet på Klevfos tok for seg forvitring og bevaringsmuligheter, spesielt knyttet til salt. Prosjektet har med feltarbeid og analyser vært utført i en toårsperiode fra vinteren 2020 til høsten 2021. Feltforsøk har vært utført med overvåkning fra høsten 2020 til høsten 2021.

Kildene til den massive saltforvitringen i fabrikken kan i all hovedsak tilskrives prosesskjemikaliene fra driften. Kjemikaliene fremstår i dag som ulike salter av natriumkarbonater og natriumsulfater. Dette gjelder nær alle deler av fabrikken, ikke bare i delene for gjenvinning av kokelut, men til en viss grad også for «papirlinja». Det er fukt i grunnen og dårlig drenering som gjør at saltene er svært aktive og ødeleggende i Sodahuset, Luthuset, Fyrhuset og tiliggende områder. Der det er mye salt, men lite fukt, er det færre problemer, som i Kokeriet. Forvitringen er preget av at fabrikken stort sett ikke er klimatisert. Men dette er av mindre betydning for forvitring av murverk enn de betydelige problemene med grunnfukt.

Fabricas anbefalinger inkluderer: Grunnfukt og overvann i og omkring fabrikken må begrenses til et absolutt minimum. Dette innebærer et betydelig arbeid med drenering og påfølgende opptørking som vil kunne ta flere år, jfr. prosjektet «Vannets veier» som nå gjennomføres av Anno Klevfos. Når grunnfukten og overvannet er under kontroll, og deler av fabrikken påvirket av dette har tørket ut, kan en i større detalj diskutere klimatisering på grunnlag av forholdene som observeres. Fabrikken vil generelt ha godt av klimatisering – i form av reduksjon av luftfuktighet til konstant 50-60%. Å utføre klimatisering uten først å ha sterkt begrenset grunnfukten kan på flere steder vise seg å være lite virkningsfullt, i verste fall kontraproduktivt. I de fuktigste sonene vil et inneklime med lav luftfuktighet bidra til opptørking, men med stadig påfyll av fukt, vil saltkrystalliseringen være intens. Parallelt med arbeidet for å eliminere grunnfukt må andre forebyggende arbeider utføres; det viktigste er å fjerne så mye som mulig av de saltinfiserte materialene i fabrikken. Fjerning av saltinfiserte materialer må også inkludere regelmessig fjerning av synlig salt på og langs vegger og installasjoner.

Det er vist at bruk av offerpuss basert på enkle, kalkbaserte kalkmørtler vil ha stor betydning for bevaring av murverket, derfor bør innvendige murvegger pusses. Det frarådes å benytte irreversibel saltkonvertering basert på magnesiumklorid eller kalsiumklorid. Det er vist at slik behandling kan føre til økt forvitring. Det er også vist at innføring av klorid vil føre til økende problemer med rust. Ellers må restaurering av skadd murverk følge normale, godt kjente metoder: Utbytting av teglstein der det er nødvendig, bruk av kalkbasert mørtel for fuging og spekking og bruk av beslag der det f.eks. er stor fare for lekkasjer. Å hindre oppadstigende fukt ved å kutte tilgangen til fukt i nedkant av murverk med fuktsperre kan bli aktuelt i deler av murverket, spesielt der murene ikke står på granittfundamenter og har fuktsugende tegl under bakkenivå. Slike tiltak er inngripende og må vurderes i nært samspill med dreneringstiltakene

Forsøksfeltene bør følges i flere år for å få flere resultater og eventuelt revidere de foreløpige resultatene. Metodene for oppfølging bør være de samme som nå, men det er ikke behov for nåværende hyppighet (ved hvert månedsskifte). I stedet kan en følge opp etter hver sesong (vår, sommer, høst, vinter). Etter hvert som en starter med utførelse av tiltak, er det nødvendig å etablere gode overvåkningsrutiner for å sjekke virkningen til tiltakene. At saltenes aktivitet reduseres er den viktigste indikatoren, men det kan også være fornuftig å etablere et system for direkte fuktovervåkning i viktige murverkspartier.

## Forord

Foreliggende arbeid inneholder den faglige rapporteringen fra delprosjekt 1 «Begrensning av forvitring» i Kunnskapsprosjektet for Klevfos cellulose- og parfabrikk. Rapporten er utarbeidet av Fabrica kulturminnetjenester på oppdrag fra Anno museum og med finansiering fra Riksantikvaren. Kunnskapsprosjektets øvrige resultater er samlet i en sammenfattende hovedrapport: «Bevaring av Klevfos Cellulose- og Papirfabrikk. Kunnskapsprosjektet - Sluttrapport» (Fabrica 2021) og en fagrapport fra delprosjekt 4 «Kunnskapsprosjektet Delprosjekt 1 – Identifisering av skader på overordnet nivå for hele anlegget» (Fabrica 2021).

Undertegnede har vært delprosjektleder, mens medarbeiderne på Anno Klevfos, Morten Hjarnø og Maciej Wantola hadde ansvar for praktisk oppsett av forsøksfeltene. Wantola sto for det store arbeidet med klimastyring og den månedlige overvåkingen av feltene. Hjarnøs kunnskap og iverksettelse var avgjørende for første fase av prosjektet, før han sluttet ved museet. Vi vil takke for innsatsen som har blitt lagt ned.

Vi vil også takke Christine Bläuer (Bläuer Conservation Science, Sveits) for faglig hjelp. Bläuer deltok på et nasjonalt seminar om saltforvitring på Klevfos i regi av Kunnskapsprosjektet i august 2021 og bidro i etterkant ved felles studier og teoretiske betraktninger for å forstå deler av saltforvitringen. Hennes rapport finnes i vedlegg 1. Anon Røring ved Saugbruks i Halden har trådt hjelpende til ved leting etter tilsvarende fabrikker og ved vanskelige kjemiske spørsmål. Tore Granmo (Murer Tore Granmo) har bidratt med sin store erfaring med kalkpussing.

Kollegaer Morten Stige og Vegard Røhme i Fabrica, samt Anders Nordbakken og Arild Teppen ved Anno Klevfos har gjennom prosjektperioden bidratt med utallige observasjoner og tolkninger som har kommet godt med. Ida Kristine Teien (Anno Norsk Skogmuseum) har bistått med skriftlige kilder og fotos fra arkivarbeid. Trine Edvardsen (Anno Klevfos) har gitt en levende forståelse av industrikulturen i og omkring Klevfos og Jarl Holstad (Anno Klevfos) har sørget for at arbeidet har kunnet foregå i en hyggelig og ubyråkratisk atmosfære.

Resultatene er en følge av et godt samarbeid med Anno Klevfos, men konklusjoner og anbefalinger er gjort på et fritt grunnlag av Fabrica kulturminnetjenester

Tusen takk til alle som har bidratt!

Hyllestad i november 2021

Per Storemyr

Fabrica kulturminnetjenester

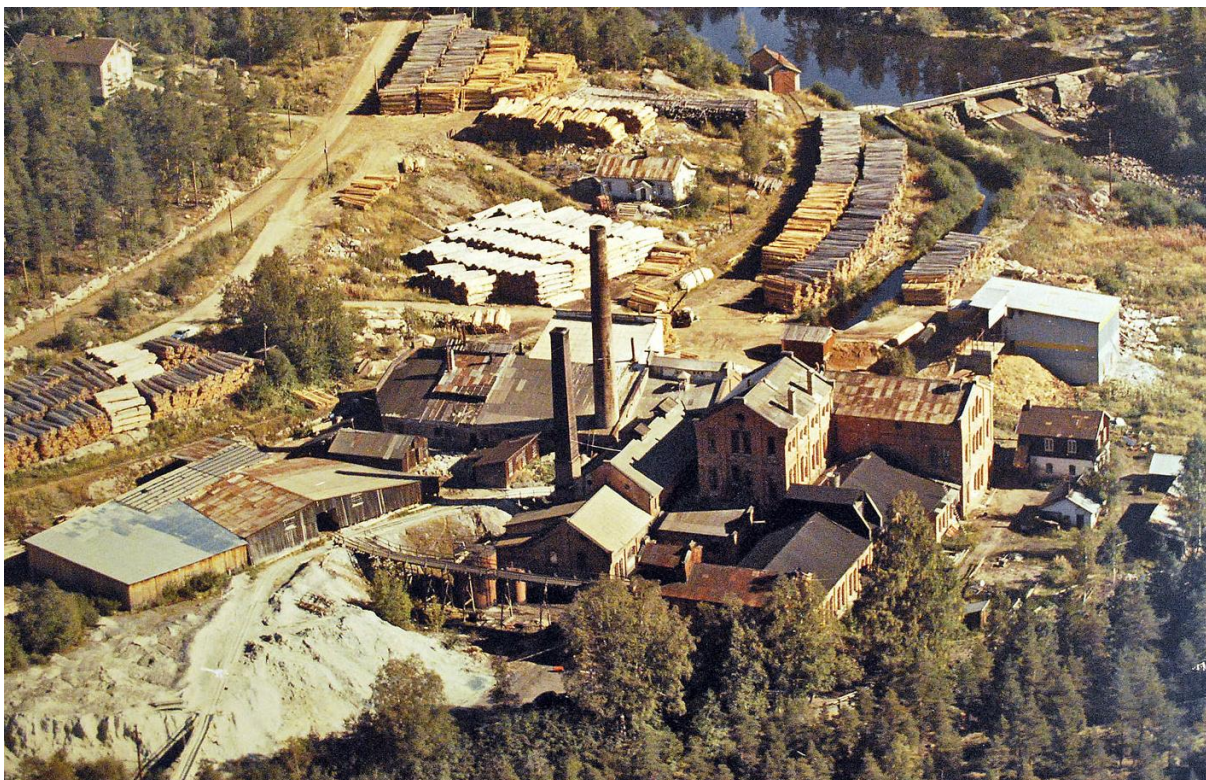


# Innhold

Sammendrag .....	3
Forord .....	4
1 Innledning: Fra kokelut til massiv saltforvitring.....	7
1.2 Rapportens innhold og struktur .....	7
1.2 Kort om kjemisk celluloseproduksjon.....	8
2 Oversikt over fabrikkens, topografien og skadene.....	11
2.1 Fabrikkens og logistikken .....	11
2.2 Fra naturforhold og geologi til fundamentering og drenering.....	13
2.3 Kort oversikt over bygningsmaterialer og restaureringer .....	17
2.4 Inneklimaet i fabrikkens .....	21
2.5 Utvikling av skader .....	21
3 Saltforvitringen i lys av produksjonsprosessen.....	29
3.1 Salttyper .....	30
3.1.1 Natriumsulfat og natriumkarbonat.....	31
3.1.2 Gips.....	35
3.1.3 Kalk og annet .....	37
3.2 Utbredelse av salt.....	37
3.3 Sulfatprosessen og kilder til salt – omvandling av prosesskjemikalier.....	46
3.3.1 Kokeriet .....	46
3.3.2 Silhuset, Hollenderiet og Papirmaskinhallen .....	49
3.3.3 Sodahuset – vakuuminndampingsanlegget .....	49
3.3.4 Sodahuset – varpeaggregat og roterovn .....	50
3.3.5 Sodahuset – sodaovnene og grønnlutkaret (sodakaret).....	53
3.3.6 Sodahuset – dungen med natriumsulfat .....	55
3.3.7 Mikseriet med dunge av brent kalk .....	57
3.3.8 Luthuset.....	58
3.3.9 Mengder med salt – sammenligning med andre kulturminner .....	59
3.4 Fukt og transport av salt.....	61
3.4.1 Sodahuset.....	61
3.4.2 Luthuset.....	63
3.4.3 Fyrhuset.....	63
3.4.4 Kokeriet .....	63
3.4.5 Øvrige deler av fabrikkens – Silhuset, Hollenderiet og Papirmaskinhallen .....	65
3.5 Forvitringen i lys av klimaendringer .....	65

4 Begrensning av saltforvitring .....	66
4.1 Metoder for å begrense saltenes skadelighet .....	66
4.2 Offerpuss .....	66
4.3 Saltkonvertering .....	68
4.4 Stabilisering av inneklima .....	70
4.5 Kapillærbrytende sjikt .....	78
5 Forsøksfelter for bevaringsmetoder med overvåkning 2020-2021 .....	79
5.1 Resultater fra testfelt Sodahuset nedfall nordvegg ute .....	81
5.2 Design og klimatisering av hovedtestfeltene inne i Sodahuset .....	84
5.2.1 Beskrivelse av testfeltenes tilstand .....	84
5.2.2 Behandling av testfeltene med magnesiumklorid .....	85
5.2.3 Behandling av testfeltene med kalkbasert offerpuss .....	85
5.2.4 Klimatisering av testfeltene .....	85
5.3 Resultater fra hovedtestfeltene inne i Sodahuset .....	89
5.4 Resultater fra øvrige felter med offerpuss .....	98
5.4.1 Sodahuset små offerpussfelt .....	98
5.4.2 Fyrhuset offerpuss .....	99
5.4.3 Sodahuset store offerpussfelt .....	101
5.4.4 Samlet vurdering av offerpussene .....	102
5.5 Resultater fra tester med plexiglass .....	103
5.5.1 Sodaovn plexiglass .....	103
5.5.2 Varpa plexiglass .....	104
5.5.3 Fyrhuset plexiglass .....	105
5.6 Bruk av subbus for demping av saltforvitring .....	105
5.7 Laboratorieforsøk med saltkonvertering ved bruk av magnesiumklorid .....	106
6 Oppsummering og anbefalinger .....	109
6.1 Forvitningsårsaker .....	109
6.2 Anbefalinger .....	110
7 Kommentert bibliografi .....	113
7.1 Celluloseproduksjon og gjenvinning av kokelut .....	113
7.2 Fabrikkens bygnings- og restaureringshistorie .....	113
7.3 Tilstandsvurderinger og istandsettingsarbeid .....	114
7.4 Saltforvitring .....	114
Vedlegg 1: Rapport fra Christine Bläuer om saltforvitring .....	117
Vedlegg 2: Saltanalyser utført av Per Storemyr, Fabrica .....	126





Figur 1: Fabrikken i 1967, ca. 9 år før den endelige nedleggelsen i 1976. Her ser vi hvordan området omkring selve fabrikkbygningene var omsluttet av store tømmerlagre, lagerbygninger og avgang av mesakalk (i forgrunnen). Foto fra Anno Museum.

## 1 Innledning: Fra kokelut til massiv saltforvitring

Klevfos er den eneste gamle cellulose- og papirfabrikken i Norge som er bevart med alt fra papirmaskin til gjenvinningsanlegg for kokekjemikaliene. Fabrikken var i drift fra 1888 til 1909 da den brant, og igjen – etter gjenoppbygging – fra 1911 til 1976, da driften opphørte. Rundt 1980 startet istandsettingsarbeider og fra 1986 har fabrikken vært museum.

Istandsettingsarbeidene har måttet stri med massiv og tiltakende saltforvitring. Allerede fra starten for mer enn 40 år siden var det klart at kjemikaliene fra produksjonsprosessen kunne holdes ansvarlig for mye av forvitringen, men det var ikke før i 2019 det ble forstått hvilke salter som faktisk har blitt dannet fra de store mengder kjemikalier som ble brukt i driftstiden. Dette hadde som umiddelbar bakgrunn at problemene med forvitring toppet seg i den varme og tørre sommeren 2018.

Saltforvitring er komplekst – spesielt når det dreier seg om de voldsomme saltmengdene en finner i fabrikken, først og fremst i gjenvinningsanlegget. Målene med det foreliggende arbeidet har derfor vært å bedre forstå forvitringen og ikke minst bidra til å finne langsiktige bevaringsløsninger.

### 1.2 Rapportens innhold og struktur

For å nå disse målene har det vært nødvendig å ikke bare forstå saltforvitring i lys av generell teori og praksis, samt i lys av hvordan forvitringen virker på Klevfos, men også å gå til dels detaljert inn i fabrikkens struktur og hvordan spesielt lutgjenvinningen foregikk. Dessuten har det vært nødvendig å utføre omfattende forsøk med mulige bevaringsmetoder.





*Figur 2: Den ene av to sodaovner for å smelte kokelut for gjenvinning viser det mest ekstreme utslaget av saltforvitring . Flere titalls kilo salt og fragmenter av forvitret teglstein er ramlet ned. Flere steder er det omtrent like ille, men de fleste deler av fabrikk er på langt nær så skadet.*

Hovedkapittelinnholdet gir et inntrykk av temaer tatt opp i rapporten:

- 2) Oversikt over fabrikk, topografien og skadene
- 3) Saltforvitringen i lys av produksjonprosessen
- 4) Begrensning av saltforvitring
- 5) Forsøksfelt for bevaringsmetoder med overvåking 2020-2021
- 6) Oppsummering og anbefalinger

Arbeidet startet med feltarbeid tidlig på vinteren 2020. Den gamle fabrikk har gjennom ni korte feltkampanjer vært gjenstand for studier for å kartlegge skadeomfang og forstå produksjonsprosessen. Et større antall saltprøver har også blitt analysert (vedlegg 2). Forsøksfeltene ble satt opp på ettersommeren 2020 og er fulgt opp med overvåking til høsten 2021.

Det må understrekes at det er bevaring av teglsteinsmurverk og bærende konstruksjoner som står i sentrum for diskusjonen, men andre materialer og installasjoner blir berørt, f.eks. betong. Dette gjelder også jern og andre metaller brukt i tanker, kar, rør, støttepilarer o.a.; i mindre grad treverk til takverk, mellometasjer, mesaniner o.a.

Noen kildehenvisninger finnes i teksten, men kildeverket som sådan presenteres i en kommentert bibliografi til sist i rapporten.

## 1.2 Kort om kjemisk celluloseproduksjon

Papir har man laget på mange måter, bl.a. ved mekanisk kverning av treflis til tremasse. Det vitner de mange tresliperiene som kom i drift fra midten av 1800-tallet om. Men det var først og fremst ved å koke treflis i sterke kjemikalier, sure eller basiske, at man bygde opp treforedlingsindustrien i Norge



og på verdensbasis. Da fikk man cellulose, noe som – enkelt forklart – innebærer fjerning av lignin i treverket.

Celluloseproduksjon basert på sur kokevæske kalles *sulfittmetoden* og var tidlig den dominerende i landet, med mange små fabrikker. Kjemikalierne som trengtes var svoveldioksid og brent kalk, de var billige og derfor måtte man ikke nødvendigvis gjenvinne dem; forurensende utslipp gikk gjerne rett i elver og vassdrag (f.eks. fra fabrikkene langs Drammenselva). Produksjon med lut kalles *sulfatmetoden* eller *Kraft-prosessen*. Den involverer natronlut og natriumbisulfid (forenklet natriumsulfid) og utviklet seg fra den såkalte *sodaprosessen* eller *natronprosessen* (kun natronlut). Metoden ga sterkere papir, men her stilte det seg annerledes på økonomifronten: Kokeluta var dyr og det var ved å *gjenvinne* den at man kunne gjøre prosessen lønnsom. Viktige sulfatfabrikker i Norge har vært Hafslund, Moss, Ranheim, Bable og Tofte. Klevfos startet med sodaprosessen i 1888, gikk over til sulfatprosessen i 1904 og fortsatte med denne etter brannen i 1909.

Produksjon av sulfatcellulose er fortsatt viktig på verdensbasis, men i Norge er alle fabrikker nå nedlagt. I dag er det mekanisk produksjon av tremasse og gjenvinning av papir som råder. De siste sulfatfabrikkene i landet, som på Tofte (nedlagt i 2013), hadde en mye mer moderne utforming enn Klevfos, ikke minst på grunn av stadig energiøkonomisering, forbedrede prosesser og maskineri – og strengere miljøkrav.

Den gamle kjemiske treforedlingsindustrien var svært forurensende. Det var fra skorsteinene i gjenvinningsanleggene «Mosselukta» og «Klevfoslukta» kom (fra det organiske, svovelholdige stoffet merkaptan og andre svovelforbindelser). Det dreier seg altså om luftforurensning, men også om utslipp av kjemikalier løst i vann; spesielt fra sulfittprosessen, men også fra sulfatprosessen gikk det kjemikalier til grunnvann, bekker, elver og fjorder. Ikke minst dreier det seg om utslipp av kjemikalier internt i fabrikkene.



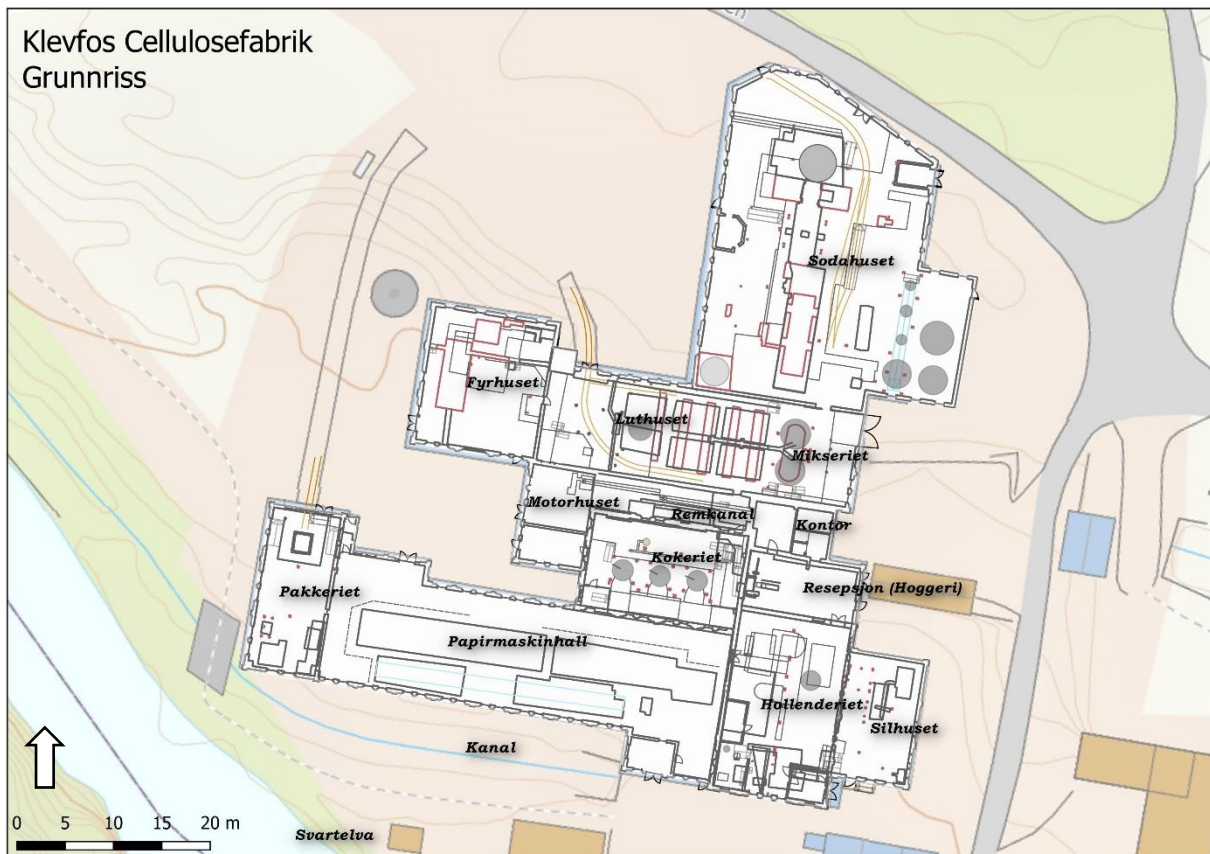
Figur 3: Fabrikken på Klevfos i produksjonstiden, sett fra øst med heftig røyk- og damputslipp, selve symbolet på industriutvikling og «gode tider». Foto: Normann Fotoatelier /Anno Museum (ukjent årstall, kanskje 1950-tallet).

I motsetning til moderne fabrikker som produserer i lukkede reaktorsystemer, hadde de eldre fabrikkene mange «åpne» prosess-skritt, det vil si at det stadig forekom spill av kjemikalier på golv og langs vegger. Også fra lukkede rørsystemer og tanker forekom det betydelige lekkasjer. I tillegg spredte kjemikaliene seg med gass og damp (i dråpeform) til vegger og gulv. Dette er kjemikalier som etter hvert kan tære voldsomt på bygninger og maskineri – og som gjør det vanskelig å bevare dem.

I dag, 45 år etter at driften opphørte, er det ingen luftforurensning på Klevfos mer. Og det er god kontroll på den gjenværende forurensningen til grunnen og til Svartelva. Dette er omtalt i andre deler av rapporteringen fra Kunnskapsprosjektet.

Men det er ikke god kontroll på hvordan kjemikaliene tærer på bygninger og maskineri. Spill og lekkasjer, spesielt fra gjenvinning av kokeluta, produserte til syvende og sist også enorme mengder løselige salter. Salt er en av de viktigste forvitningsårsaker i historiske bygninger og anlegg generelt. I Klevfos finner vi store mengder salt i grunnen, i teglsteinsvegger, i ovner og installasjoner. Vi kjenner ingen andre eldre bygninger i landet som er så påvirket av saltforvitring som Klevfos.





Figur 4: Fabrikken med dens enkelte bygningsdeler. Grunnriss fra laserscanning i regi av Terratec AS, bakgrunn fra [www.norgeskart.no](http://www.norgeskart.no), bearbejdet av Fabrica i QGIS. Alle kartene i denne rapporten er laget i vår prosjekt-GIS ved bruk av grunnrisset levert av Terratec (se beskrivelse i hovedrapporten fra Kunnskapsprosjektet).

## 2 Oversikt over fabrikken, topografien og skadene

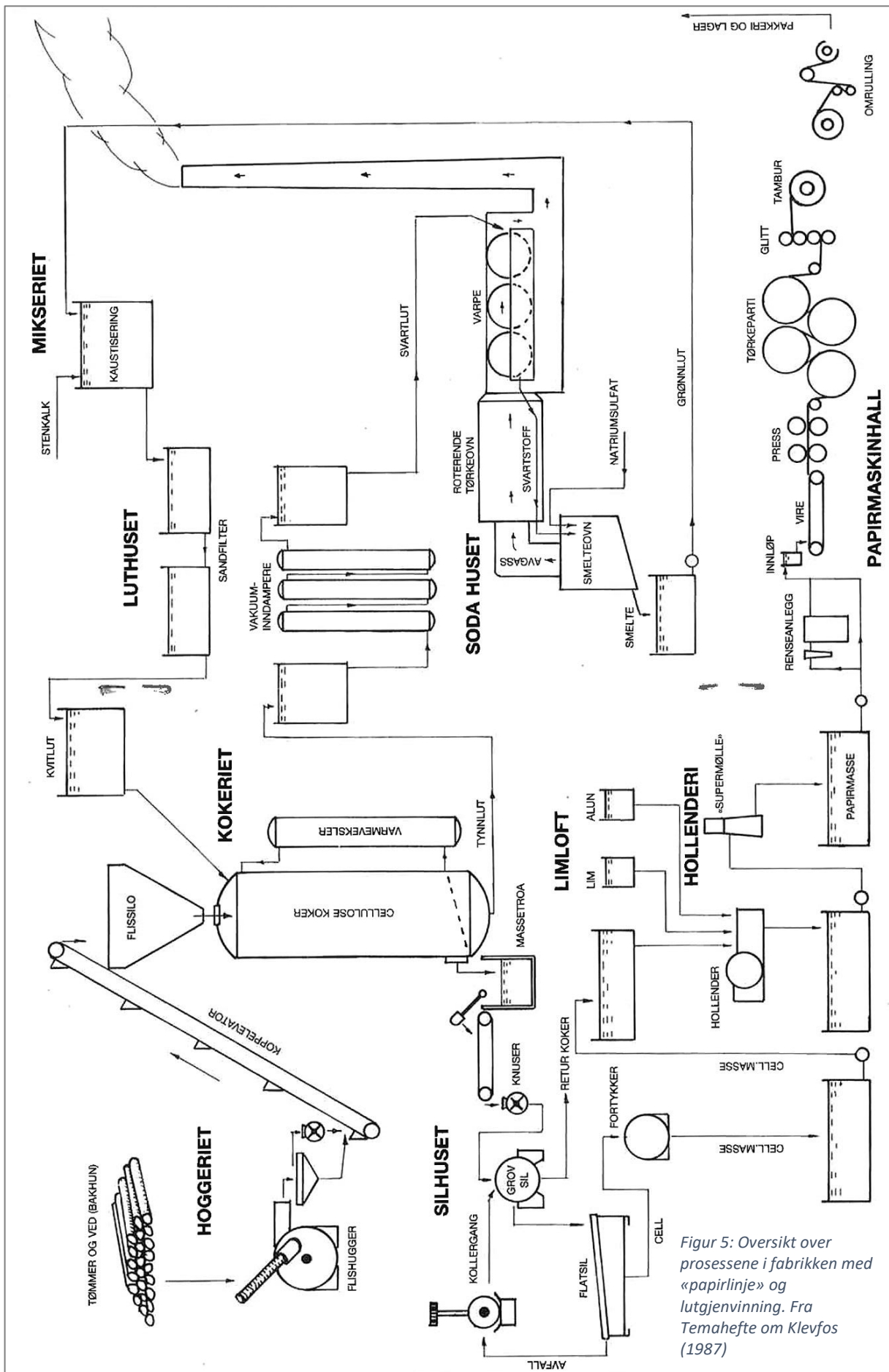
Topografien og naturforholdene er sentrale for å forstå fabrikken her ved en langstrakt sving i Svartelva ved Ådalsbruk mellom Elverum og Hamar. Det er viktig å ta for seg hvordan fabrikken i detalj er anlagt i det lokale landskapet. Dette er fordi landskapet, med geologien, har stor betydning for forståelse av dagens skader og saltforvitringen i fabrikken.

### 2.1 Fabrikken og logistikken

På gamle fotos og flybilder får vi et godt inntrykk av omfanget til fabrikken, slik den framsto etter brannen i 1911 og frem til 1976. Det gjelder bygningene, tilstøtende infrastruktur og ikke minst de store mengdene med **tømmer** som gikk inn i produksjonen av cellulose (Figur 1, Figur 6). Tømmeret ble lagret på store deler av fabrikkområdet, ble gjennom en mangesidig prosess hogd opp til flis i **Hoggeriet** og gikk så til koking med lut i **Kokeriet**. Derfra tok de videre prosessene to retninger (Figur 4, se også Mathiesen 1954, Klevfos Industrimuseum 1986 og Skjoldhammer 1987):

1) Papirproduksjon: Cellulosen gikk til videre bearbejding i **Silhuset**, der kjemikaliene ble vasket ut, og deretter til **Hollenderiet** og **Papirmaskinhallen** med **Pakkeriet**. Vaskevann gikk til en stor tank ved Svartelva – og sluppet ut ved stor vannføring. Det ferdige papiret gikk til **lagerbygninger** (nå revet) og ble så sendt ut på markedet.

2) Gjenvinning av kokeluta: Restene av kokeluta («svartluta») med mye gjenværende trefiber ble pumpet til **Sodahuset**, der den gjennom en energikrevende prosess i **vakuuminndampingsanlegget** suksessivt ble dampet inn til så tørr masse at den kunne sendes gjennom **Varpa** (inkl. **roterovn**). Her

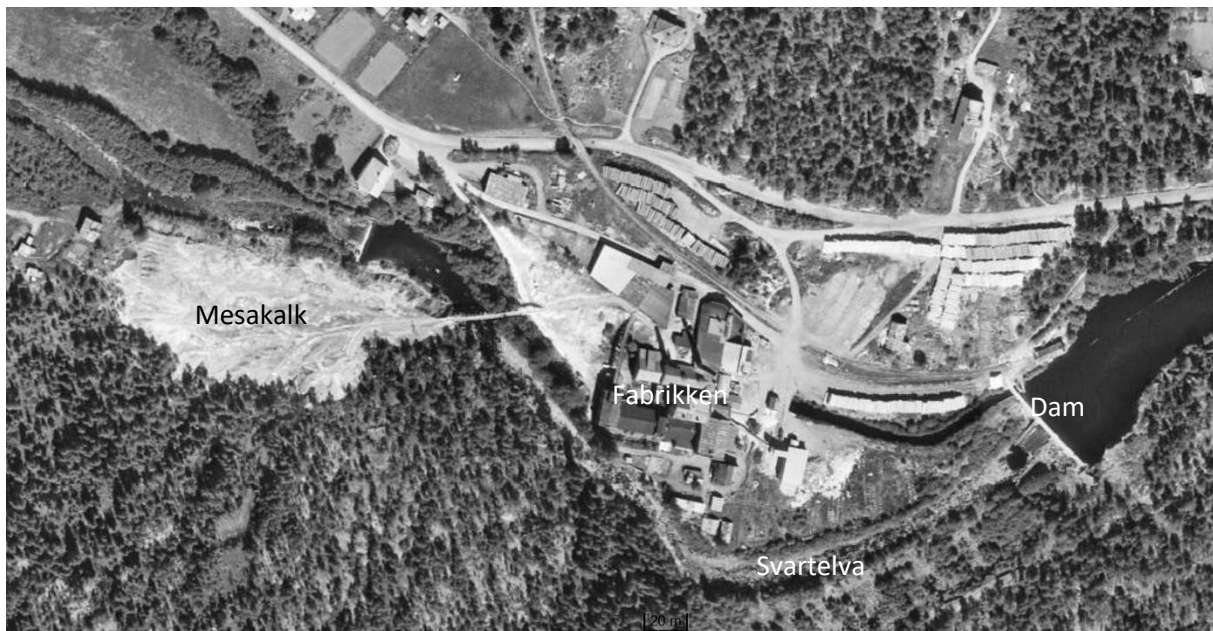


Figur 5: Oversikt over prosessene i fabrikk med «papirlinje» og lutgjenvinning. Fra Temahefte om Klevfos (1987)

ble massen tørket ytterligere ut før den ble brent/smeltet ved mer enn 1000 grader i de to **sodaovnene** (Figur 2), med tilsetning av **natriumsulfat** (derav navnet «sulfatprosessen») for å veie opp for tap gjennom fabrikken. Et sentralt energiaspekt er det store innholdet av trefiber i massen, det kunne brukes som brensel, slik at sodaovnene sjelden måtte fyres med ved, annet enn ved oppfyring. Ovnene var i stor grad «selvdrevne» og varmen/røyken fra ovnene ble brukt til å tørke massen gjennom Varpa. Sodaen, eller «grønnluta» som den kalles, ble så pumpet fra **sodatanken** under sodaovnene til **Mikseriet**, der den ble kaustisert med brent/lesket kalk (lokalt produsert i Hamarområdet) og deretter ført ut i store, åpne kar med sand for filtrering i **Luthuset**. Nå var luta ferdig («hvitlut»); den ble tappet på tanker og pumpet tilbake til Kokeriet. Senere skal vi ta for oss prosessene og kjemikaliene som ble brukt ved gjenvinningen i større detalj.

Foruten varmen fra sodaovnene var kraftkildene i fabrikken et eget **vannkraftverk** i kjelleren til Hollenderiet, med **dam**, inntakskanal og utløpskanal, en dampmaskin i Papirmaskinhallen og en stor fyrkjele i **Fyrhuset**, drevet med kull og etter hvert med olje. Fabrikken hadde også **jernbane** tilknyttet Rørosbanen for frakt av materialer og produkter.

Om mengdene tømmer som gikk inn i fabrikken var store, så var ikke avgangen av kalk fra kaustiseringsprosessen mindre imponerende: Fra Mikseriet/Luthuset ble kalken («**mesakalk**», kalsiumkarbonat) manuelt ført ut på store tipper vest for fabrikken, også over en bro til skogområdet på vestsiden av Svartelva (Figur 6). Et overslag fra målinger på kart/flybilder tyder på at disse tippene har et areal på ca. 10 000 kvadratmeter og rommer kanskje i størrelsesorden 30 000 kubikkmeter kalk. Noe av kalken har blitt gjenbrukt f.eks. til jordsbruksformål. I moderne celluloseindustri blir mesakalk gjenbrukt i prosessen ved hjelp av interne kalkovner.

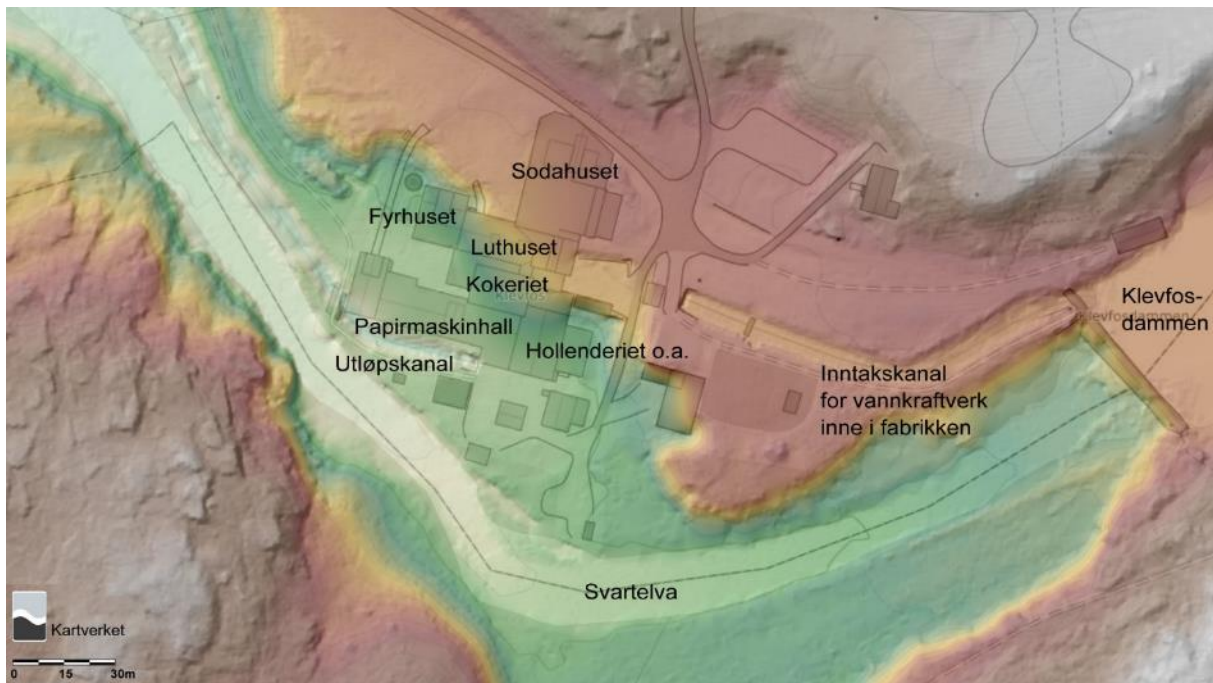


Figur 6: Flybilde av fabrikkområdet fra 1968. Bildebredden tilsvarer ca. 600 m. Fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).

## 2.2 Fra naturforhold og geologi til fundamentering og drenering

Storparten av fabrikken, med Hollenderiet, Papirmaskinhallen, Kokeriet, Fyrhuset og delvis Luthuset er anlagt på en flat slette (174-175 m.o.h.) ned mot Svartelva. I perioder med langvarig nedbør har det hendt at elva har gått over sine bredder og truet de nedre deler av fabrikkbygningene, men – så vidt vi kjenner til – ikke ført til større ødeleggelser.





Figur 7: Topografien på Klevfos. Høydemodell fra [www.hoydedata.no](http://www.hoydedata.no). Sodahuset ligger på drøyt 180 m.o.h., Papirmaskinhallen på snaue 175 m.o.h.

Fra sletta stiger terrenget steilt opp mot nord, til et svakt skrånende platå på drøye 180 m.o.h., der Sodahuset, Mikseriet og østre deler av Luthuset befinner seg (Figur 7). Teglbygningene på sletta er stort sett fundamentert med store blokker av lokal stein på sannsynlig morenedekke (og muligens noen elvededimenter), mens fundamentene på platået over trolig for en stor del ligger på fast fjell. Her oppe er morenedekket tynt og usammenhengende og flere steder, både inne i og rett utenfor fabrikk, stikker bart fjell opp i dagen. Men platået består nær bygningene også av kulturlag; rester etter bl.a. de store lagerbygningene som ble fjernet etter nedleggelsen av fabrikk i 1976, samt rester av tidligere fyllinger med mesakalk (jfr. Figur 1, sammenlign med Figur 4).

Høydeforskjellen mellom de ulike deler av fabrikk innebar at man måtte bygge broer fra bygningene nede på sletta og til platået, bl.a. for å frakte ut mesakalk fra mikseriet/luthuset og for å ha lett tilgang til Pakkeriet/Papirmaskinhallen fra jernbanesporet oppe på platået.

Bergarten i lendet er en grovkornet, grålig «granittisk» gneis (trolig en kvarts-monzonitt, forenklet her til «granitt»), en del av grunnfjellet (se [https://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil](https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil)). Berget er til dels svært oppsprukket, noe som lettet lokal brytning av steinen for bruk til fundamenter i fabrikk. Man kan se flere spor etter steinbrytning i bakkekammene rett nord og nordøst for Sodahuset. Kanskje har man også brutt en del stein ved anlegning av fabrikkbygningene som ligger i den steile bakken fra platået og ned mot sletta, kanskje også for å jevne ut terrenget på platået selv.

Topografien, med et skrånende platå og en bratt skrent ned mot en slette, innebærer at alt overflatevann naturlig drenerer over platået og samles på sletta før det går ut i Svartelva. Geologien, med et oppsprukket berg, betyr videre at mye overflatevann naturlig vil ledes i sprekkene. Det er observert til dels mye vann som renner ut av sprekker i utsprengt berg for den store grønnluttanken som ligger under/rett nord for sodaovnene (Figur 11), samt i de fleste bergskorter som kommer ut inne i bl.a. Fyrhuset og Kokeriet. Dreneringen blir dermed kompleks, men i hovedsak kan en si at overflatevann, med takvann, og i gamle dager prosessvann fra Sodaovnene, er forsøkt fjernet ved hjelp av kanal og drens som starter ved Sodaovnene og går vest for Sodahuset ned mot sletta ved Fyrhuset. Øst for fabrikk har vi i skrivende stund ikke helt oversikt over dreneringen.



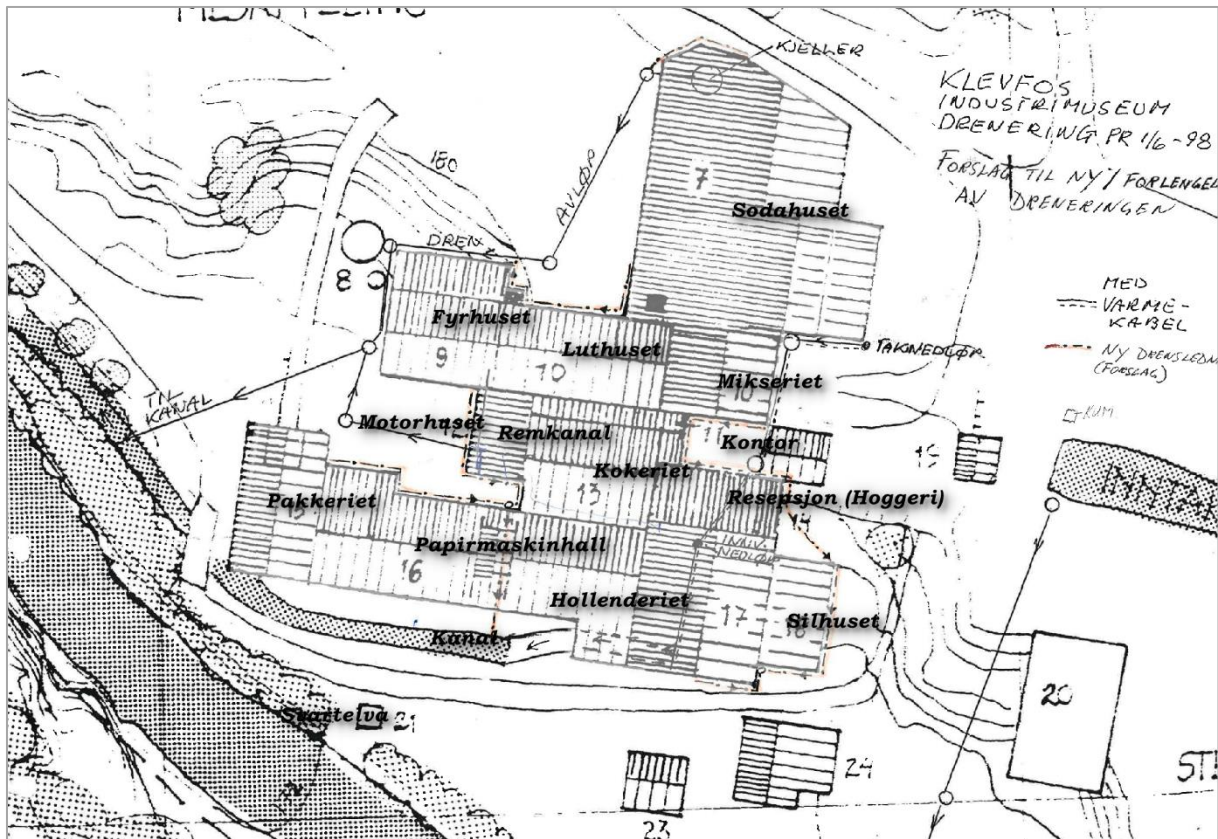


Figur 8: Fra broa over til Pakkeriet ser vi fra vest hvordan Fyrhuset (med oljetank i forgrunnen) og Luthuset (med pusset gavl) ligger lavere enn Sodahuset (oppe til venstre). Vi ser også Fyrhuspipa (forrest) og Sodahuspipa. Kokeriet troner i bakgrunnen. Det ligger på sletta, fundamentert ca. 6 m lavere enn Sodahuset, men er den høyeste bygningen i Fabrikken.



Figur 9: Fabrikken sett fra nord, rett mot nordfasaden av Sodahuset med platået og broa til Pakkeriet mot vest. Vi ser hvordan de lavere bygningsdelen «forsvinner» litt fra dette perspektivet.





Figur 10: Skisse over eksisterende og forslag til utbedring av nye dreneringsløsninger fra 1998. Skissen er ikke helt korrekt, men gir et bilde av hvordan det overordnede «vannsiget» er: Nordvest og vest i fabrikk går vannet mot sørvest til Svartelva, øst i fabrikk går vannsiget mot sør. Skissen tilhører Anno Museum.

Det er utført flere forsøk på å bedre dreneringen, og det finnes 20-25 år gamle kart over eksisterende og planlagte grøfter og kummer (Figur 10). Dessuten ble det gjort arbeider i grunnen ved anlegging av kloakkledning og kummer (bl.a. rett nord for Luthuset) i forbindelse med omgjøring av deler av Hoggeriet til museumsresepsjon og kontorlokaler rett etter årtusenskiftet.

Vi skal senere i mer detalj se hvordan og hvorfor dreneringen er problematisk, og at vann fra sodahuset og skråningen nord for denne bygningsdelen, samt fra plataet, er en viktig årsak til mange av de skadeproblemene vi finner både i Sodahuset og i «kjellerne» i bygningene nede på sletta (Luthuset, Fyrhuset, Kokeriet). I skrivende stund er dreneringen under utredning av Anno Klevfos med tanke på forbedringer, i prosjektet «Vannets veier».



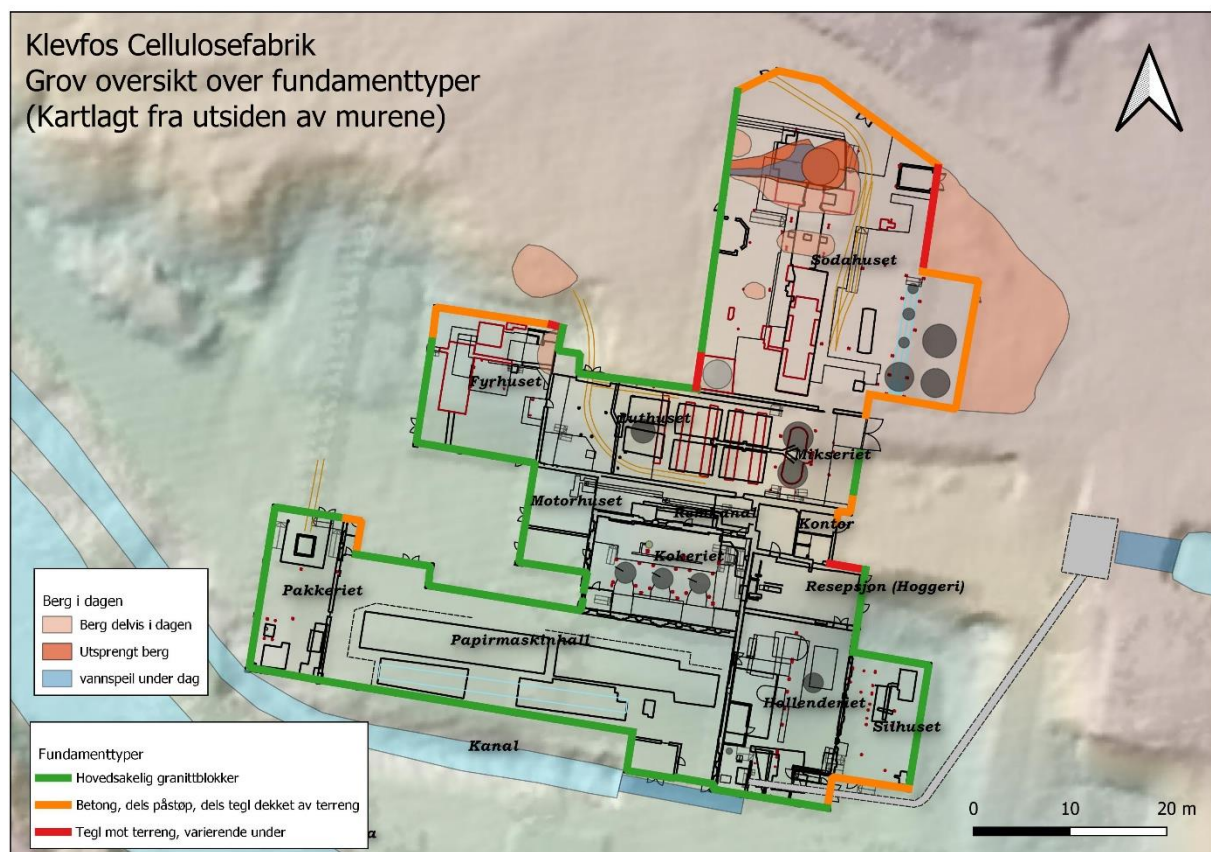
Figur 11: Fra området omkring den såkalte grønnluttanken, sprengt ut under den nordlige delen av Sodahuset. Her ser vi hvordan vann strømmer ut fra en fjellsprekk, med betongvegger over. Vannet er frosset, bildet ble tatt under den strenge vinteren i januar 2021.

### 2.3 Kort oversikt over bygningsmaterialer og restaureringer

Bygningskonstruksjonene og deres tilstand, også knyttet til stabilitet, er tema for fagrapport fra Kunnskapsprosjektets delprosjekt 4. Informasjon finnes også i hovedrapporten fra Kunnskapsprosjektet. Under følger en kort oppsummering som er viktig for forståelsen av saltforvitring og øvrig forvitring, f.eks. frost.

Med få unntak er fabrikkbygningene oppført med tynne teglsteinsvegger. Tykkelse og forband er ikke enhetlig gjennom hele fabrikk, men i hovedsak ser det ut til at det er benyttet halvannen til to steins blokkforband i veggene. Det vil også være noe tykkere vegger i de nedre deler av de høyeste bygningene, mot fundamentene. Dessuten har pipene spesialstein og det er tykkere partier (halvstein) i lisener, omkring vinduer, samt der det er foretatt senere påstøp med tegl under restaureringsarbeider.

Veggene er hovedsakelig bygd på fundament av tuktede, lokalt hogde granittblokker, men i flere tilfeller finnes det både betong og tegl i fundamentene og noen steder er nå de nedre deler av teglsteinsveggene dekket av løsmasser (f.eks. i de nordre deler av Sodahuset). Granittfundamentene beskytter teglveggene ganske godt mot oppadstigende fukt; om teglen er i kontakt med fuktige løsmasser er det større problemer med fukten. Noen steder finnes det også betongfundamenter, spesielt innvendig, f.eks. under roterovnen i Sodahuset og i flere søylefundamenter. Det er også benyttet betong og påstøp av betong som del av tidligere restaureringsarbeider for å bedre på stabilitet (f.eks. i forbindelse med grønntluttanken i Sodahuset, i Kokeriet og i Fyrhuset).



Figur 12: Grov oversikt over fundamenttyper i fabrikk. Hovedbildet er at det er benyttet gode granittfundamenter i de nedre deler av fabrikk, mens det i spesielt Sodahuset er fundamenter av vekslende kvalitet. I kartet er det også tatt med en del registrerte berg i dagen. Grå firkant og linje i øst (høyre) indikerer «rørgata» til intern turbin.





Figur 13: Solide granittfundamenter i det sørvestre hjørnet av Pakkeriet, nede på sletta, det laveste punktet i fabrikken der den møter utløpskanalen fra det interne kraftverket og Svartelva.

Mesteparten av teglsteinsveggene ble opprinnelig oppført i en svært kort periode etter brannen, mellom 1909 og 1911. Før brannen var fabrikken oppført i tre, bindingsverk og litt tegl (sistnevnte trolig bl.a. i deler av Luthuset og Sodahuset). Det er derfor mulig at noen få av teglveggene fra før brannen fortsatt er bevart, trolig bl.a. den utendørs pussede, vestre gavlen på Luthuset, slik en kan se på eldre fotos (Figur 8). Bygningshistorien til Sodahuset er kompleks og er ennå ikke helt klarlagt.

Teglsteinen er av varierende kvalitet, ofte relativt løsbrent, og skal i ifølge Arild Teppen, som har studert fabrikkens kopibok, stamme fra Fredrikstad. Det var for 100 år siden stor teglproduksjon, også omkring Hamar. En kan derfor ikke se bort fra at teglsteinen har flere kilder. Gjennom årene er det utført mange utbedringer og restaureringer, delvis med tilsvarende stein som de gamle, delvis med hardere brent tegl. Gjennom den siste, store restaureringsfasen 2013-14, initiert av den omfattende tilstandsanalysen utført av Finn Madsøe, ble det i stor grad benyttet hardbrent hultegl, bl.a. i påstøp på de nedre deler av veggene i den nordre delen av Sodahuset. Det er viktig å ha i mente at ulik teglstein reagerer ulikt på (salt)forvitring, slik vi skal se senere.

Mørtel benyttet som murmørtel og til puss på nesten alle flater innvendig er også mangfoldig. Fra visuelle observasjoner ser det ut til at opprinnelige mur- og pussmørtler er hvittede, svakt grålige, nokså normale kalkmørtler, med middels grov natursand som tilslag (1:3, ofte litt mer sand). De er generelt dårlig blandet med synlige, store «kalkklumper». Det kan være blandet inn ytterst lite Portlandsement («en neve»), evt. er kalken brent fra litt uren kalkstein (som gir svakt hydrauliske egenskaper). Analyser av Seir i Danmark (2021) har bekreftet dette bildet av de opprinnelige mørtlene. Hamar- og Mjøstraktene er et av Norges store, tradisjonelle kalkbrennersentra, så tilgang

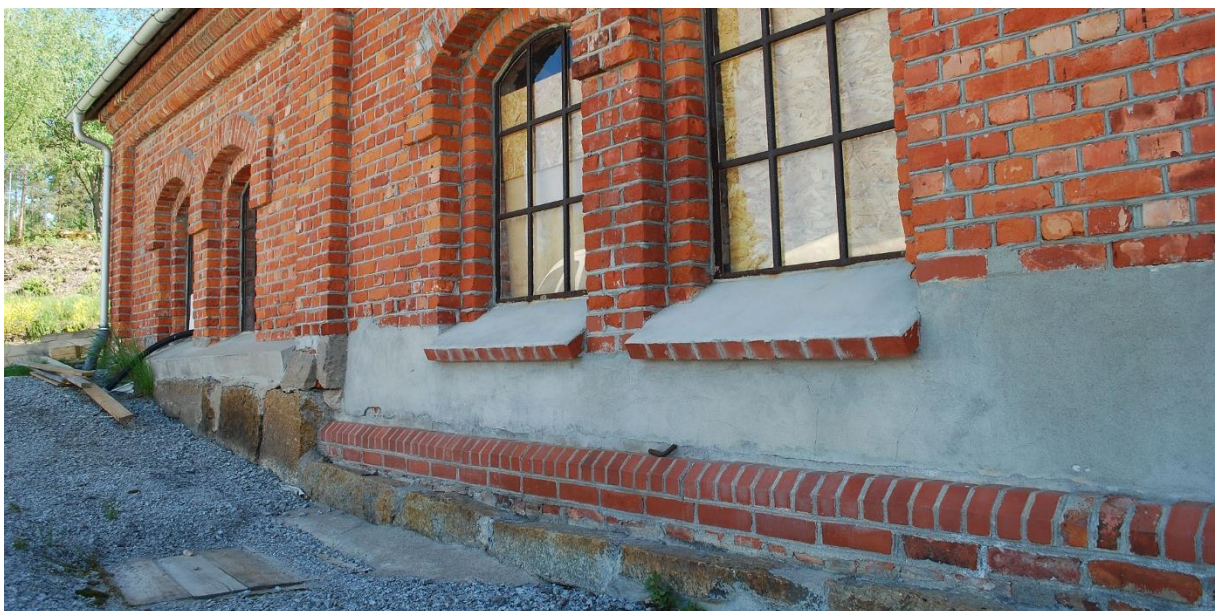
på billig brentkalk var enkelt. Steens kalkbrenneri på Furuberget ved Hamar var ganske sikkert en viktig leverandør, også til brentkalk for kaustiseringsprosessen i Mikseriet (se over).

Det er viktig å være klar over at nær alle deler av fabrikken innvendig, og noen steder også utvendig (bl.a. vestgavlen i Luthuset), var pusset i driftstiden. Pussen har suksessivt blitt skadd og ramlet ned etter at driften opphørte i 1976, men dette må også ha vært et problem i driftstiden, noe de mange reparasjonene vitner om. I dag er det relativt lite puss igjen, men på nær alle vegger (og mange installasjoner) finnes det utvetydige rester; rester som ofte dekker mange kvadratmeter.

De mange utbedringene og restaureringene er utført med forskjellige typer mørtler. Generelt kan en si at mørtlene blir «sterkere» og «tettere» med tiden, dvs. at har et større og større innslag av Portlandsement, noe som er i tråd med den generelle historiske utviklingen (og er bekreftet ved analysene utført av Seir, 2021). Sement ble jo også billigere etter hvert – og kalk mindre tilgjengelig. Ved den siste store restaureringen, for ca. 10 år siden (se over), skal det ha blitt benyttet kalksement (KC) 35:65, dvs. 35 volumprosent kalk og 65% sement. Visuelle observasjoner tyder på en ganske mager mørtel med fint tilslag. Slik mørtel er benyttet til spekking av skadde fuger over store deler av fabrikken, svært ofte som «pølsefuger». Et stort problem i dag, er at i fukt- og saltbelastet murverk har denne mørtelbruken ført til ytterligere forvitring fordi mørtelen er for hard og tett. I områder uten mye fukt og salt har det imidlertid gått ganske bra.

Ved restaurering av svært skadde fuger og frostskafer på sodahuspipa for ca. 5 år siden ble det benyttet spesialtilpasset teglstein og importert naturlig hydraulisk kalk (NHL 3,5). Inntil nå ser dette ut til å ha gått fint, selv om pipa fortsatt er ute av lodd. Dette er den siste, større murverks-restaureringen som er utført på fabrikken.

En kan stille spørsmål ved uheldig mørtelbruk basert på sement. Det er annerledes med den omfattende utbedringen av tak, takrenner og nedløpsrenner, som fortløpende har foregått siden ca. 1980. Det forekommer lokale lekkasjer fra tid til annen, for tiden spesielt i overgangen mellom Luthuset og Sodahuset (ved Sodahuspipa), men konklusjonen er at denne delen av restaureringen har vært vellykket. Blikkplatene på takene har blitt fornyet, beslag på gavler og sålbenker har kommet på plass, og det har blitt utført utbedring av renner og nedløp. Dog er det flere nedløp, f.eks. på Sodahuset, som ikke er knyttet til drenering og som derfor bidrar til fuktbelastning på murene.



Figur 14: Sodahusets vestvegg. Over gamle granittfundamenter er det restaurert med påstøp av tegl og sementpuss..





Figur 15: Sodahusets nordvegg og østvegg. Dette er deler av fabrikken der teglveggene stikker under terrenget og således er sterkt påvirket av fukt og salt, spesielt innvendig. Fundamentene er dels av stein, tegl og betong, noe som reflekterer utbedringsarbeider. Vi ser (til venstre) hvordan berg i dagen stikker opp, noe som viser hvor grunt bygningen ligger mot fjellet. I denne sonen er det ikke kontroll på overvann og drenering. Herfra kommer det svært mye fukt inn i fabrikken.



Figur 16: Sodahusets nordvestvegg innvendig. Nær alle deler av fabrikken var innvendig opprinnelig pusset med enkle, relativt tradisjonelle kalkmørtler (dvs. mørtler med lite sement). Pussen var også hvittet. På grunn av den intense forvitringen har de aller fleste pussmørtlene gått tapt, spesielt i de nedre deler av murverket. Bildet viser et av de større feltene som fortsatt er bevart



## 2.4 Inneklimaet i fabrikken

Bare svært få deler av fabrikken er i dag klimatisert, dvs. har en viss oppvarming og kontroll på relativ luftfuktighet. Dette gjelder Hollenderiet, som benyttes i museumsformidlingen, samt de små kontorlokalene, som er veloppvarmet med elektrisitet. Museumsresepsjonen og et lagerrom i det gamle Hoggeriet er ikke oppvarmet, men får noe varme fra de tilstøtende bygningsdelene. Klimatiseringsanlegget er levert av Hamstad AS, som i mars 2019 også installerte et eget styrings- og kontrollsystem for temperatur og relativ luftfuktighet, et såkalt SD-anlegg.

SD-anlegget dekker de fleste deler av fabrikken, slik at man har løpende kontroll med temperatur og luftfuktighet. Fra målingene siste år (oktober-2020-oktober 2021) ser man at Sodahuset, Luthuset, Kokeriet, Papirmaskinhallen og Silhuset har temperaturer og relative luftfuktigheter som svinger i takt med forholdene ute. Dette er fordi disse bygningsdelene er dårlig isolerte og derfor har liten «bufferkapasitet» (Figur 17).

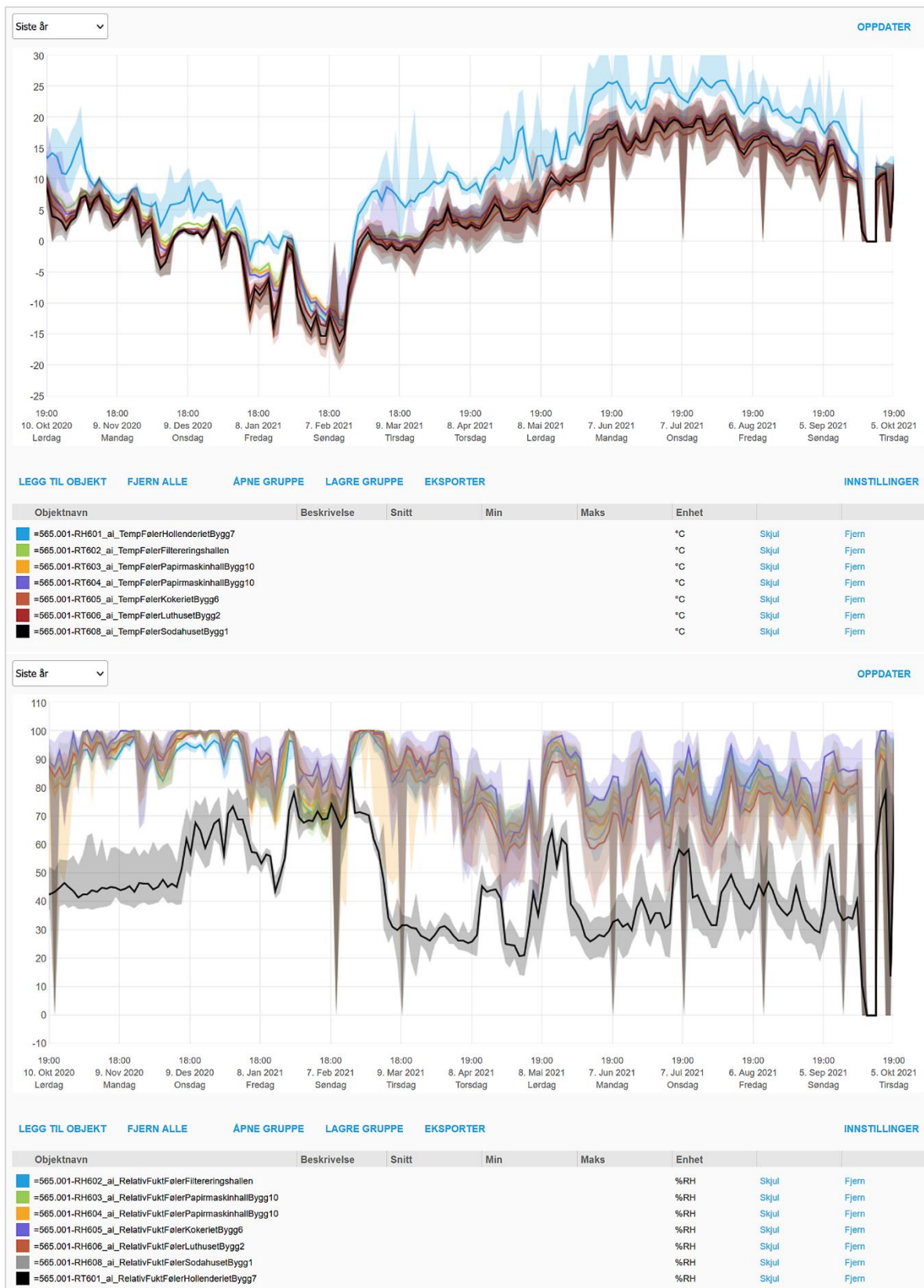
Vi ser også at de bygningsdelene (Papirmaskinhallen, Kokeriet, Silhuset) som ligger nærmest de klimatiserte delene av fabrikken (Hollenderiet o.a.) tendensielt har litt høyere temperaturer og litt lavere luftfuktigheter enn deler som ligger lengre unna (Luthuset, Sodahuset). Dette er nok først og fremst på grunn av nettopp nærheten, dvs. varmeoverføring, som også bidrar til en viss senkning av luftfuktigheten. Men det har også å gjøre med at spesielt Sodahuset er dårligere isolert enn øvrige bygningsdeler, spesielt i taket. Her er det mange åpninger som skulle sørge for lufting da fabrikken var i drift, spesielt for å føre ut damp ved inndampning av svartlut.

Dette understreker at det var et helt annet klima i fabrikken i driftstiden. Her var det store varmekilder (ovner, inndampingsanlegg, varpe, miksetanker etc.) som ikke bare ga varme, men også mye damp. Dessuten var det et sinnrikt system av rør, ofte isolerte, som fraktet damp og prosesskjemikalier omkring i fabrikken. Det var med andre ord generelt mye varmere enn i dag, og også mye større temperaturforskjeller mellom oppvarmede områder og «kalde hjørner». Den dag i dag kan vi få et godt inntrykk av hvordan kalde vegger og hjørner er forsøkt isolert – ofte med papir. På gamle bilder ser vi store istapper fra blikktakene. Den gang smeltet snøen på takene raskt, i dag kan det være et problem at for mye snø blir liggende.

Et slikt inneklima medførte at frysepunktet generelt lå lengre ut i veggene enn i dag; slik at man den gang ikke fikk frostskafer innendørs, noe som det er et høyt potensiale for i fuktige områder inne i dag. Men det vil også si at kondenshendelser må ha vært svært hyppige, spesielt i den kalde årstiden, f.eks. på undersiden av fabrikkens blikktak og de mange vinduene. I dagens uoppvarmede og svært trekkfulle fabrikk er det imidlertid også stort potensial for kondenshendelser, gjennom hele høsten, vinteren og våren – ikke minst når en får milde vinder etter kalde perioder, når f.eks. massive konstruksjoner som varpefundamentet i Sodahuset, som holder lenge på kulda, blir spesielt sårbare. Dessuten er i dag alle metalledene i fabrikken mye mer utsatte for kondens, siden det nå ikke er varme i rør og tanker. Det kan vi se på det store omfanget av rustskafer i fabrikken.

## 2.5 Utvikling av skader

Selv om fabrikken har vært nedlagt i 45 år og mye har forandret seg, så har de grunnleggende forvitningsprosessene sannsynligvis ikke forandret seg mye. Stedene der ulike forvitningsfenomener skjer har nok forflyttet seg litt, intensiteten har økt i styrke, men det har trolig hele tiden dreid seg om salt og frostforvitring (og rust) aktivert av fukt i alle former – fra grunnen, fra lekkasjer, fra kondens og damp.



Figur 17: Samlet fremstilling av temperatur (T, over) og relativ luftfuktighet (RH, under) i fabrikk fra oktober 2020 til oktober 2021. Vi ser at Hollenderiet er den bygningsdelen som peker seg ut ved høyere T og lavere RH. Det er fordi denne delen av fabrikk er oppvarmet og har luftavfuktning. De andre delene er priggitt uteklimaet. I disse varierer T med ca. +/-5 grader og +/-10-15% RH i forhold til uteklimaet. Vi ser at T kan gå ned mot minus 20 grader inne og at RH er ekstremt varierende, men ofte ligger svært høyt. Fargelagte områder i diagrammet viser daglige maksimum og minimum, «peaks» gjenspeiler tilfeldige målefeil. Data fra SD-anlegget som drives av Hamstad AS på oppdrag fra Anno Klevfos.

Den nye fabrikken ble anlagt på ruinene av den gamle etter brannen i 1909; Sodahuset, Luthuset og Kokeriet forble på de samme stedene; fundamentene til de gamle sodaovnene, store flammeovner som vil ha gitt ekstreme mengder damp og som ble håndtert helt manuelt, ligger f.eks. fortsatt innenfor Sodahusets vegger. Det vil si vil si at jordsmonnet, grunnen og golvene allerede før 1909 var forurenset med prosesskjemikalier/salter.

Det finnes nesten ingen bilder som viser tilstanden på nært hold inne og ute gjennom driftstiden. Men det finnes flere bilder fra tiden rett etter nedleggelsen i 1976, først og fremst fra utsiden, spesielt Sodahuset som fra slutten av 1970-tallet var ansett som den mest skadde delen av fabrikken. Vi skal derfor følge Sodahuset fra 1978 til noen av de siste istandsettingstiltakene som er utført, i 2017. Sodahuset og øvrige deler av den «kjemiske delen» av fabrikken var ikke i bruk etter 1972, da man gikk over til å benytte innkjøpt cellulose for papirproduksjon.

Det er en historie som starter med en mindre brann, som gir opplysninger om store problemer med utendørs murverk, fundamenter og drenering – og forsøk på å rette opp disse problemene. Siden det er så store problemer rett i etterkant av nedleggelsen, så må vi anta at bygningene var preget også lang tid i forkant. Men vi kan altså ikke bekrefte dette ved historiske fotos eller beskrivelser. Videre undersøkelser av arkivene kan forhåpentligvis gi mer opplysninger.

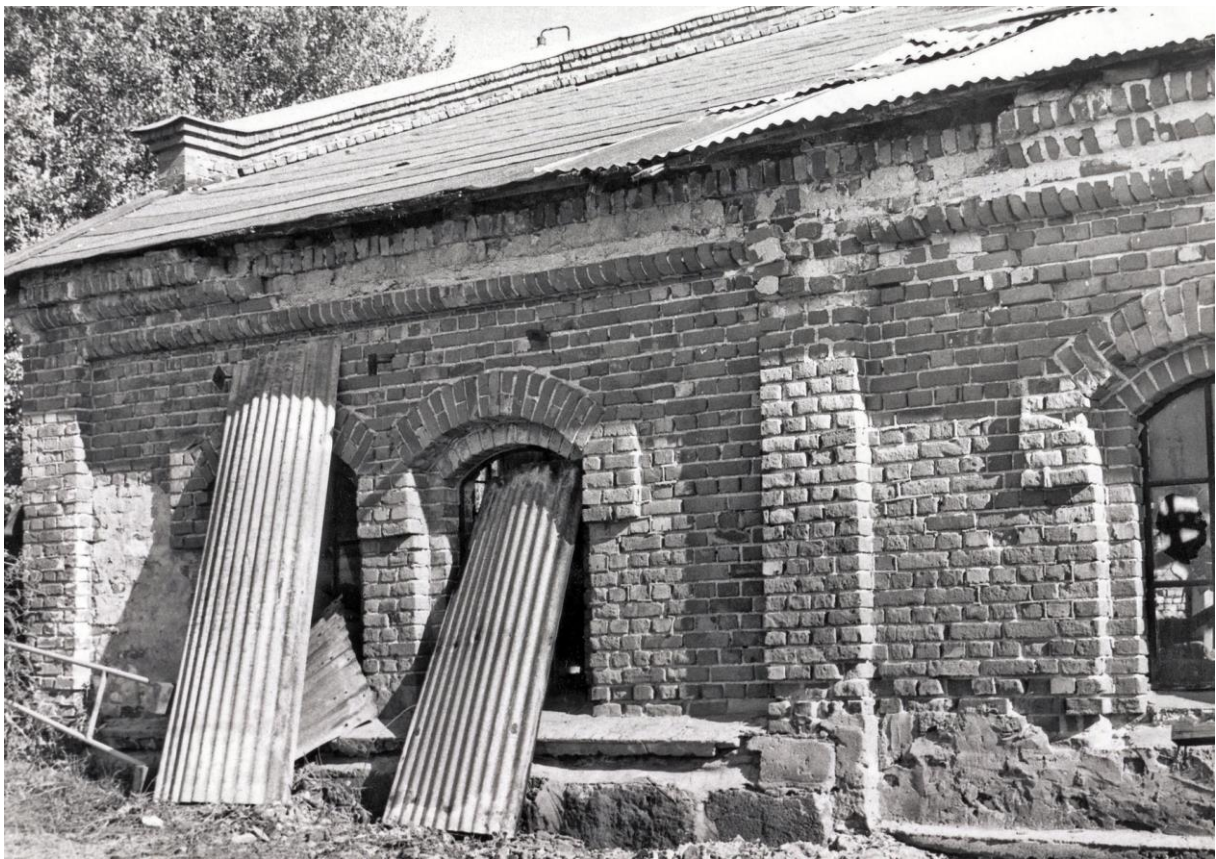


*Figur 18: Brann i Sodahuset i 1978. Det er ikke lett å finne opplysninger om brannen, men den kan ikke ha vært særlig omfattende. Innvendig er det i dag stort sett i enkelte takbjelker en kan finne spor av brannen. Foto: Anno Museum.*





*Figur 19: Sodahuset sett fra vest rett etter brannen i 1978. i forgrunnen ser vi rester etter tidligere lagerbygninger som fortsatt ikke er fjernet. Foto: Riksantikvarens arkiv. Sammenlign med Figur 8, Figur 9.*



*Figur 20: Et nærbilde av nordvestre del av Sodahuset viser store skader i fundament- og sokkelsonen og oppe ved gesimsen. Mye murverk er ødelagt – og dette skyldes ikke den lille brannen i 1978, men forvitring. Foto Riksantikvarens arkiv, 1978.*





Figur 21: Grøfting i 1984 for å bedre dreneringen langs Sodahusets vestvegg og Luthusets nordvegg. På bildet ser vi også at mesteparten av vestveggen er satt i stand siden 1978. Det gjelder bl.a. også sodahuspipa. Foto: Riksantikvarens arkiv.



Figur 22: Søndre deler av Sodahusets vestvegg, ca. 1989, som ikke ble satt i stand før 1984 (jfr. bildet over). Store skader i teglmurverket. I etterkant er reparasjoner utført. Foto: Anno Museum





Figur 23: Nordveggen til Sodahuset i 2012. Ca. 30 år er gått sidene istandsettingsarbeidene tidlig på 1980-tallet. Vi ser betydelig forvitring og at teglveggene stikker ned i bakken. Foto: Anno Museum.



Figur 24: Utbedringsarbeider på nordveggen til Sodahuset i 2012. Sokkelen/fundamentet er «sikret» med et betongskall og veggene er meislet i påvente av oppføring av et ytre lag med ny teglstein satt i sterk sement. I dag vet vi at denne arbeidsmåten tvinger salt opp i veggene. Foto: Anno Museum.





Figur 25: På den østre siden av Sodahuset var det tidligere satt opp skiferplater for å hindre vann i å trenge inn langs murene. Dette hadde kun den virkning at grunnfukten ble tvunget høyere opp i murene. Her bilde fra 2012. Platene er nå fjernet. Foto: Anno Museum.



Figur 26: Innsiden av Sodahuset ca. 1989, med den østre sodaovnen til høyre. Saltforvitringen på ovnen er betydelig, men på langt nær så omfattende som i dag (jfr. Figur 2). Foto: Anno Museum





*Figur 27: Haugen med natriumsulfat som ble brukt til lutgjenvinning i sodaovnene. Haugen lå i det nordøstre hjørnet av Sodahuset, nær sodaovnene. Den var på ca. 5 tonn og lå på svært fuktig grunn, slik at salter herfra ble spredt i omgivelsene. Haugen ble først fjernet i 2017, sammen med flere andre masser inne i fabrikk. Fortsatt ligger det ca. 180 tonn med saltinfiltrerte masser igjen i fabrikk, de skal med det første fjernes, slik det beskrives i hovedrapporten fra Kunnskapsprosjektet. Foto: Riksantikvarens arkiv.*





Figur 28: Ekstrem saltforvitring på den østre sodaovnen. Vi kan se at krystallisasjon av store mengder salt har hatt kraft nok til å forskyve hele teglsteiner, og det i et murverk som har betydelig tyngde ovenfra.

### 3 Saltforvitringen i lys av produksjonsprosessen

Saltforvitring er den viktigste årsaken til nedbrytning av murverk og murverksinstallasjoner i fabrikken. De fleste salter er lettoppløselige mineraler, de kommer i oppløst form med fukten, tar seg inn i porøst murverk via kapillært oppsug og med tyngdekraften og krystalliserer på eller nær overflaten når vannet fordamper. Når krystallisasjonen skjer i murverket, nær overflaten, så er trykket gjerne stort nok til at overflaten sprenges vekk, som pulver eller flak. Det er dette som på massivt vis foregår i fabrikken i dag.

Men salt er ikke den eneste skadeårsaken. Frost er trolig også viktig i fuktbelastet murverk, også inne i de uoppvarmede bygningene. Men siden det nesten alltid er salt tilstede der en kan mistenke frostforvitring, så er det vanskelig å avgjøre hva som er viktigst. Sannsynligvis kan en si at der en observerer lite salt og det likevel er betydelig forvitring, så er frost dominerende. I tillegg vil det være mindre viktige forvitningsprosesser f.eks. knyttet til kjemisk oppløsning, samt gjentatt utvidelse/krypning av materialer i relasjon til variasjoner i temperatur og fuktighet. Siden saltforvitring er så dominerende og også vanskeligst å hankses med i et bevaringsperspektiv, så blir frost og andre prosesser ikke videre behandlet i dette avsnittet. Det er viktig å bemerke at en relativt enkelt kan hindre frostskafer som ikke skjer i relasjon til grunnfukt. Slik forvitring krever mye fukt; å holde fukt unna sensitivt murverk er derfor helt essensielt (unngå lekkasjer, bruke beslag på utsatte steder o.a.).

Kapitlet starter med en systematisk oversikt over de salttyper som finnes i murverket. I de senere år har salttypene blitt bestemt (se Austigard 2019), men det er ikke utført prøvetaking og analyse på et systematisk vis tidligere. Dernest følger en oversikt over hvor i anlegget en finner salt, dvs. en

kartlegging av utbredelse og mengder. Kildene til saltene blir så diskutert; de er med få unntak knyttet til prosesskemikaliene som ble brukt til cellulosekoking og som videre gikk gjennom gjenvinningsanlegget for kokelut. Det er helt sentralt å forstå hvordan salt blir transportert i anlegget; saltene har funnet veien til mange steder der en ikke trodde det var mulig. Det er ikke bare grunnfukt og vann som har transportert saltene, også damp og gass i driftstiden kan ha vært vesentlige transportformer.

Det er innlysende at fri fukt (dreneringsproblemer, lekkasjer) må bekjempes for å stagge saltforvitring. Men de fleste salter er mer eller mindre hygroskopiske, dvs. at de reagerer med luftfuktigheten i tandem med temperaturvariasjoner; de løses opp og krystalliserer igjen. Det er dette som gjør salt så vanskelig å hanske med, når de først har tatt veien inn i porøst murverk: Selv om en kan ha kontroll på fukt fra bakken og vannlekkasjer, så kan salt fortsette å ødelegge murverk i kraft av sine hygroskopiske egenskaper.

### 3.1 Salttyper

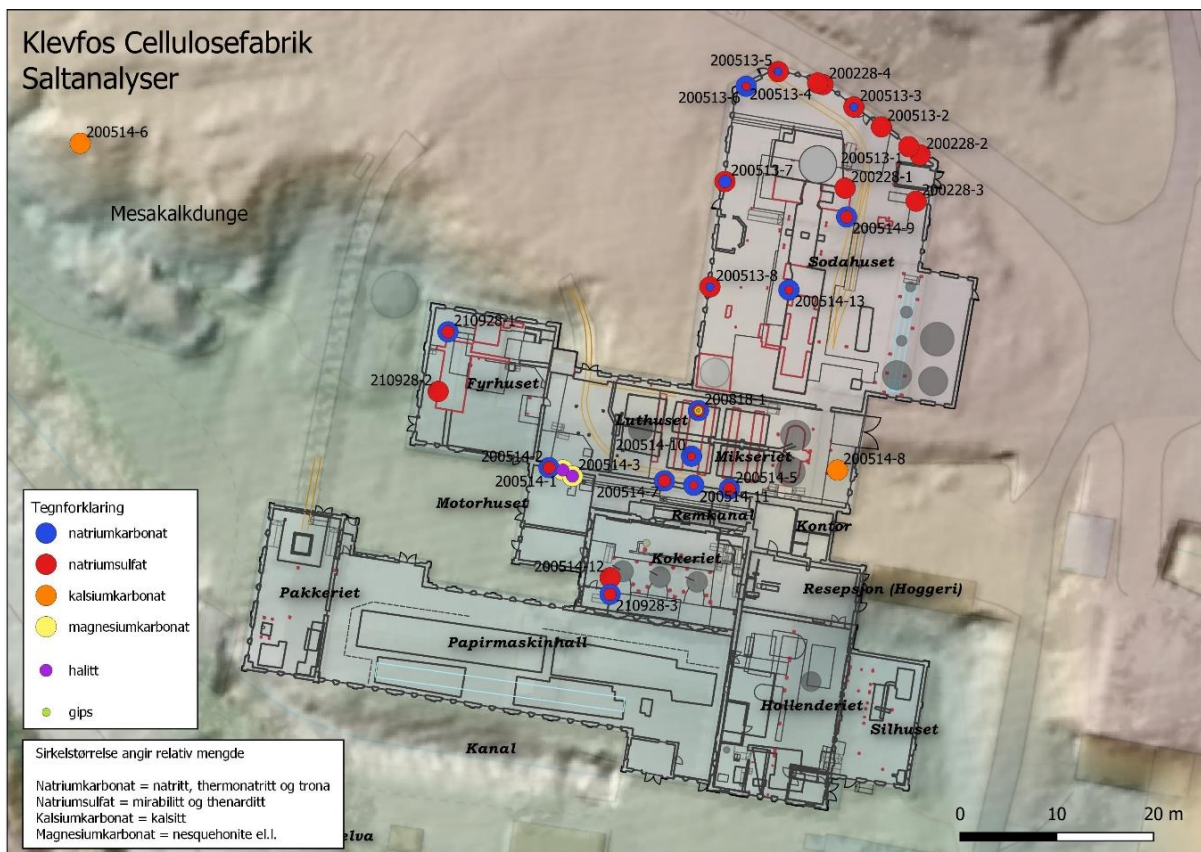
Salt viser seg som «hvitt pulver» på murverk, golv og i de nedfalte massene som ligger langs forvitrede vegger og murverksinstallasjoner. Også på forvitret treverk, f.eks. i Luthuset og Kokeriet, kan en se tilsvarende «pulver». Men ser en nærmere etter, så har dette «pulveret» mange former, ulik morfologi: Det finnes sprø skorper, tykke og tynne whiskers (Figur 29) og nåler, store, bomullslignende forekomster og salt som sitter tett til materialene, som et svært finkornet pulver.

Denne varierende morfologien er nært knyttet til mengden fukt som er tilgjengelig på ulike steder i fabrikken. Forenklet: Er det mye fukt, så vil sprø skorper, whiskers og tykke nåler dominere, med litt mindre fukt får en helst tynne nåler og «bomull», enda mindre fukt – og spesielt når det er lav luftfuktighet – gir finkornet, tettsittende, løst pulver på murverket. De fleste salttyper oppviser slike relasjoner mellom fukt og morfologi.



Figur 29: Kraftige saltwhiskers med flere cm størrelse «blomstrer» ut fra murverket i kjelleren til Luthuset og sprenger løs materialene.





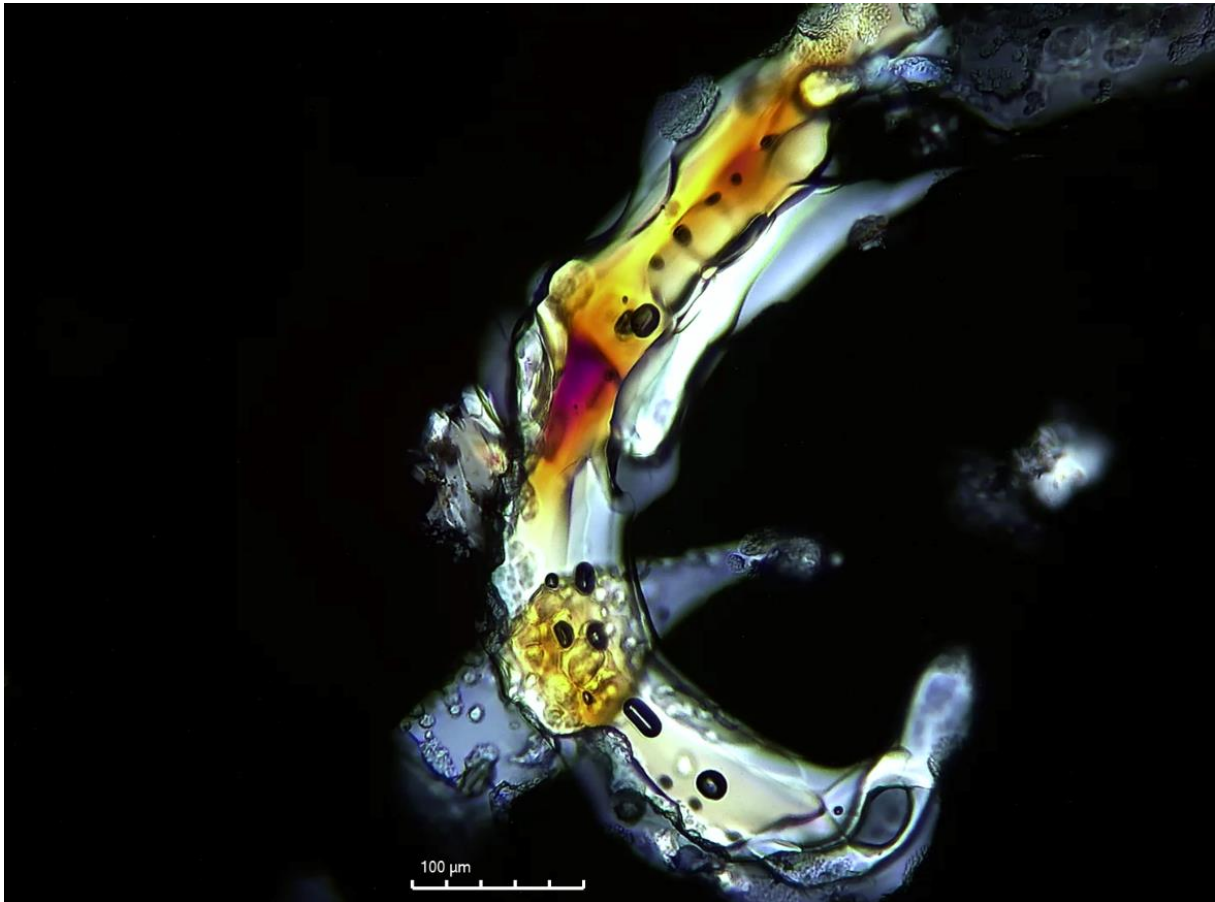
Figur 30: Oversikt over et utvalg saltanalyser gjennomført. Natriumsulfat dominerer i deler av Sodahuset, natriumkarbonat i Luthuset, men begge er å finne mange steder i fabrikkens. Halitt og magnesiumkarbonat har sin opprinnelse fra tidligere bevaringsforsøk med saltkonvertering, se senere i rapporten.

Vi har analysert ca. 30 prøver tatt fra mange deler av fabrikkens, først og fremst fra forvitrende vegger. Analysene, utført med kjemiske metoder og polarisasjonsmikroskopi (se vedlegg 2), viser et nokså ensartet mønster. Dette mønsteret er bekreftet ved et utall enklere analyser (pH-måling og sulfatbestemmelse). Generelt finnes 30-40 typer salt på historisk murverk i Norge og verden for øvrig. På Klevfos opptrer to hovedtyper, med 5 undertyper, samt noen andre typer.

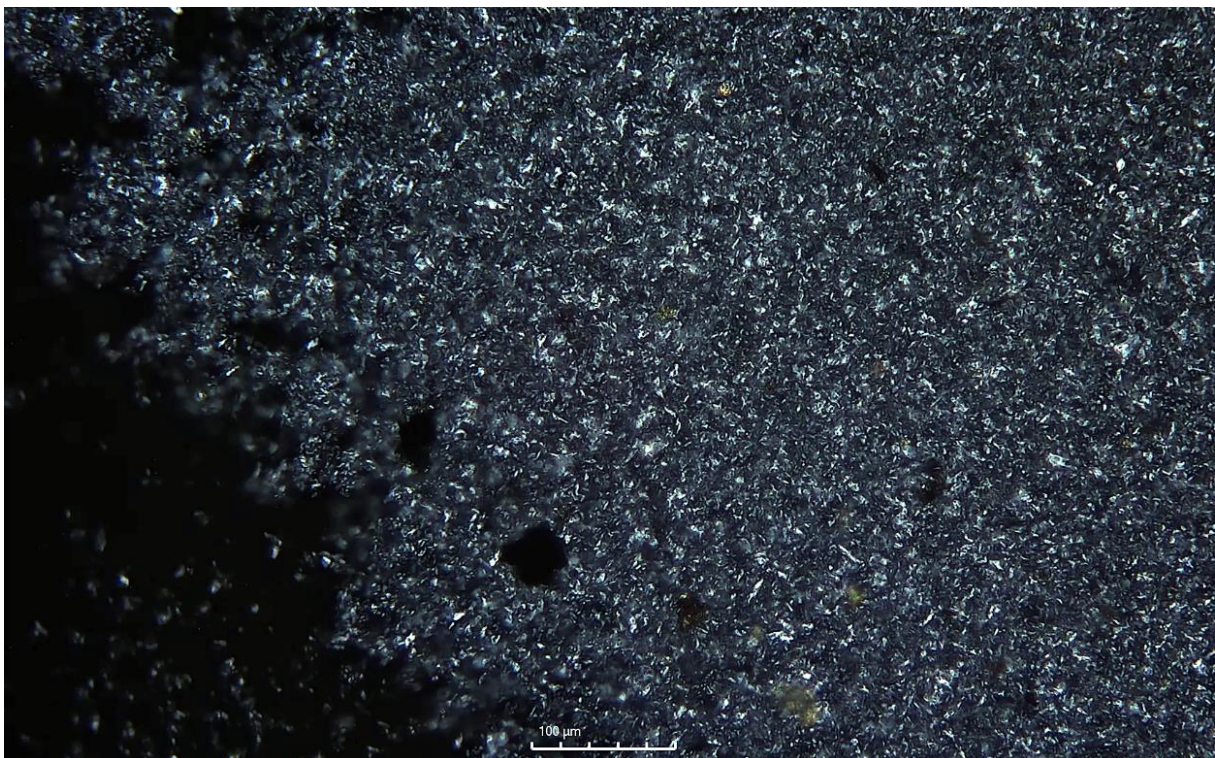
### 3.1.1 Natriumsulfat og natriumkarbonat

**Natriumsulfat.** Dette saltet oppviser bl.a. to spesifikke former som kalles **mirabilitt** ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) (altså et salt med krystallvann) og **thenarditt** ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Det er et «saltpar» og hydratsalter. Generelt ser vi at mirabilitt er vanlig når det er relativt fuktig og kjølig, thenarditt når det er tørt og varmt. Dette er fordi saltparet har en spesiell egenskap: Det er mirabilitt som krystalliserer fra porevannet og gjør skade på murverket. Når det blir tørrere eller varmere forhold, så mister mirabilitten sitt innebygde krystallvann, det dehydrerer i en kompleks prosess som etter all sannsynlighet også skaper betydelig forvitring. Når det igjen blir fuktig nok, så løses thenarditt helt eller delvis opp i fukten. Og når tørrere forhold igjen inntreffer, så er det mirabilitt som krystalliserer. Slik går det i sykluser, ofte på sesongbasis, men også knyttet til mer tilfeldige regnværperioder og tørre tider. Det er disse syklusene som over tid tærer kraftig på murverk – kraftigere jo større mengden med salt er.

**Natriumkarbonat** har nokså tilsvarende egenskaper som natriumsulfat, vi har også her å gjøre med et hydratsalt, et saltpar: **natron** (ofte feilaktig kalt **natritt**) ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) og **thermonatritt** ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Dette er alkaliske (basiske) salter, det vil si at de har høy pH (11-12) i en vannløsning og kan detekteres med f.eks. pH-papir (natriumsulfat har nøytral pH 7). Men natriumkarbonat er mer mangfoldig enn natriumsulfat. På Klevfos finner vi også varianten **trona** ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

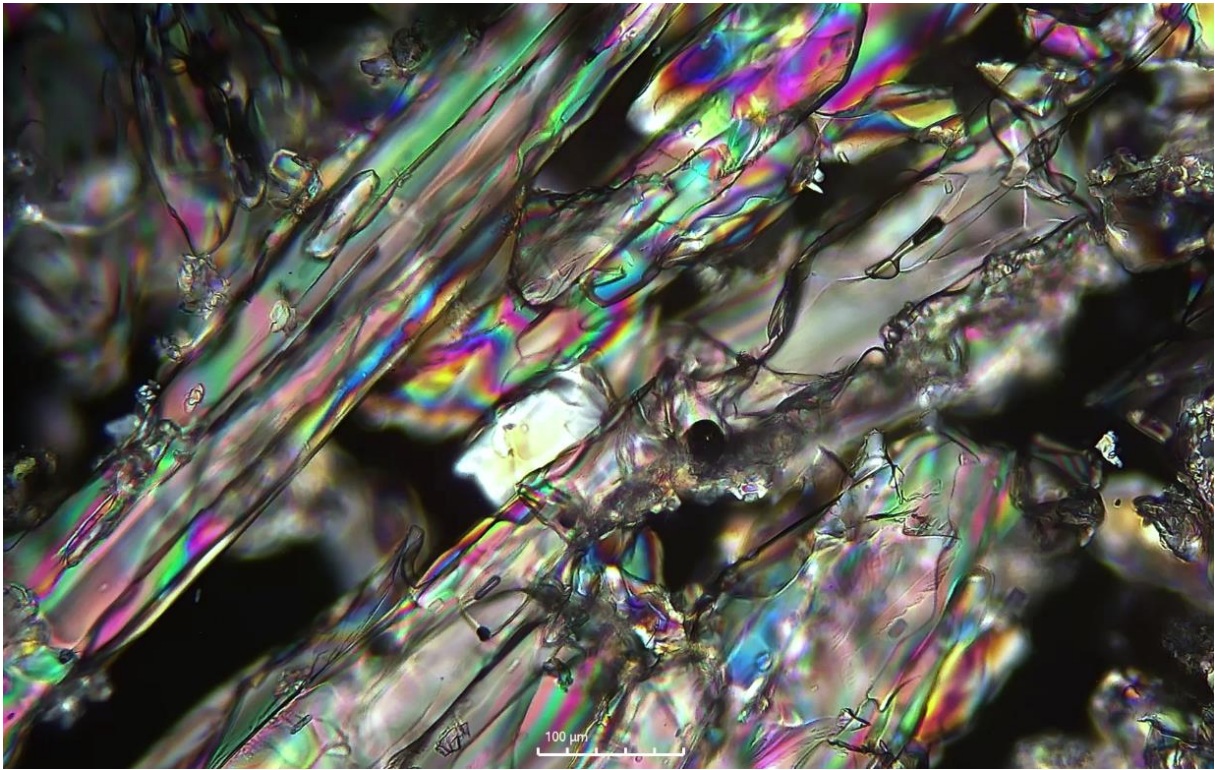


Figur 31: WhiskerkrySTALL av mirabilitt i polarisasjonsmikroskop, dobbelpolarisert lys. Fra sodaovnen

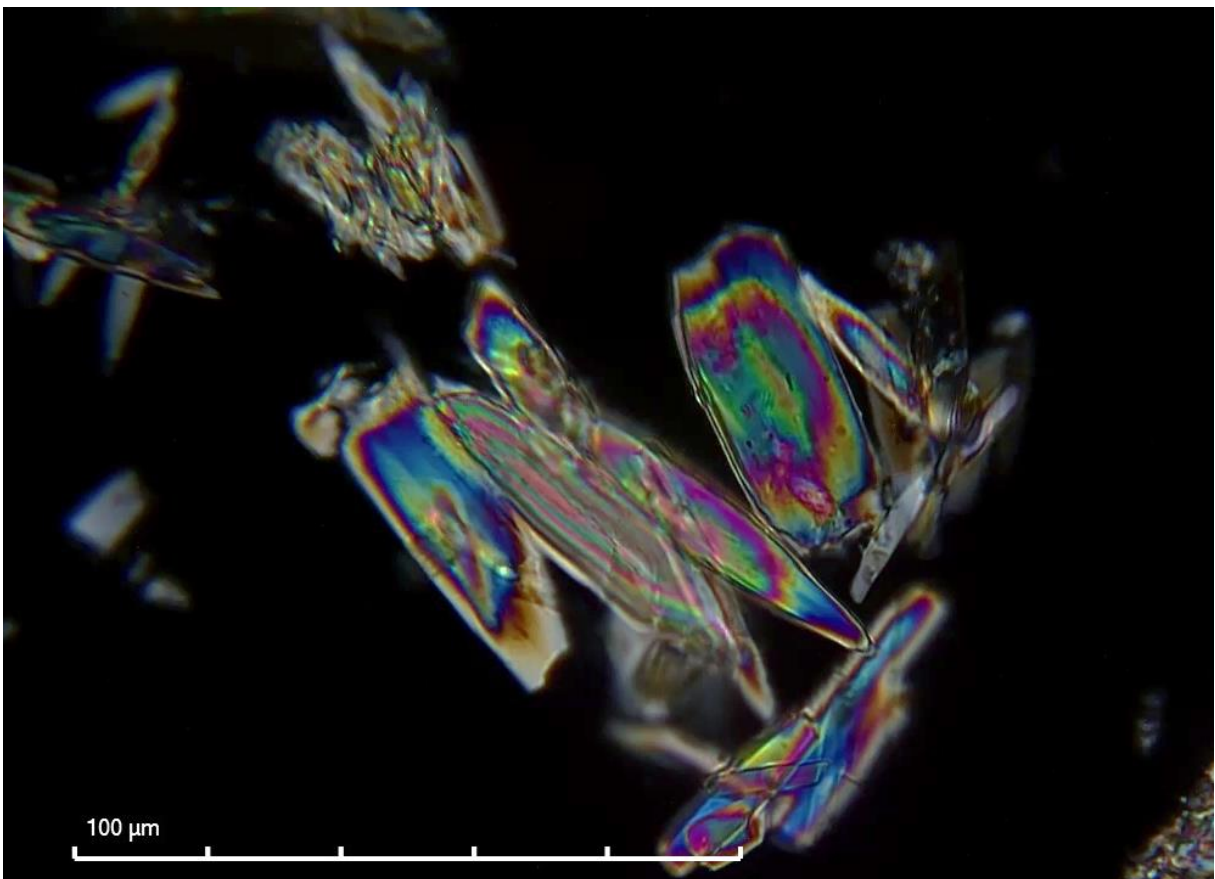


Figur 32: Finkornet thenarditt, dehydrert fra mirabilitt, i polarisasjonsmikroskop, dobbelpolarisert lys. Fra nordveggen på Sodahuset, inne.





Figur 33: Krystaller fra whiskerskorpe av natron i polarisasjonsmikroskop, dobbelt polarisert lys. Fra luthuskjelleren



Figur 34: Små krystaller av sannsynlig trona i polarisasjonsmikroskop, dobbelt polarisert lys. Fra varpa i Sodahuset.



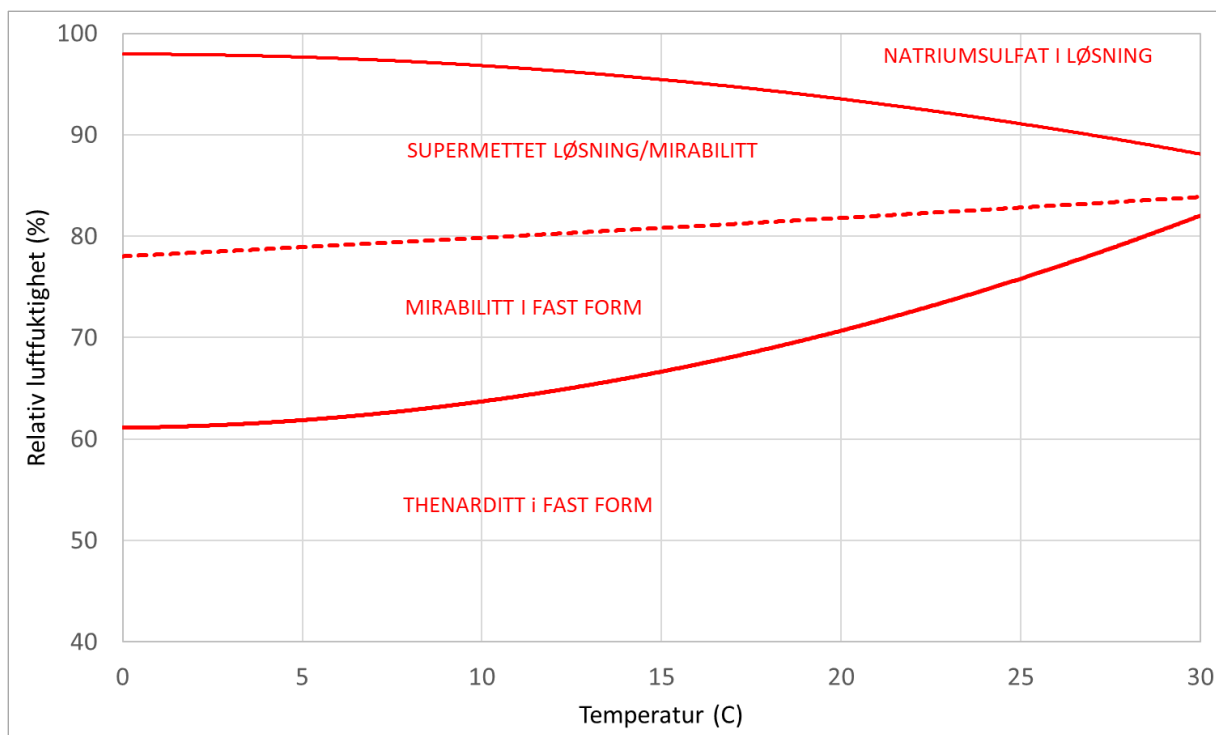
Figur 35: Stor forekomst av natriumsulfat på den østre sodaovnen. De glinsende delene av saltet er nåler av mirabilitt, i de hvite delene er mirabilitten i ferd med å dehydrere til thenarditt. Foto fra midten av mai 2020, da relativ luftfuktighet i Sodahuset hadde sunket til 50-60%.

Salter kan representeres i fasediagrammer som viser ved hvilke relative luftfuktigheter (RH) og temperaturer de er i krystallin og oppløst form. Fra Figur 36 ser vi at mirabilitt er vanlig i spennet fra 60-80% RH ved lave temperaturer, men mister krystallvannet når temperaturen øker – og naturligvis også når RH synker. Vi ser også fra figuren at det er et stort potensiale for hyppig krystallisasjon og rekrystallisasjon av mirabilitt i et kjølig og fuktig innelika – som på Klevfos. Det er nettopp derfor dette saltet er så skadelig. Direkte krystallisasjon av thenarditt fra en vandig løsning (og fra porevannet i materialer) kan for øvrig bare skje ved temperaturer over ca. 35 grader. Fasediagrammet for natron/thermonatritt er ikke godt vitenskapelig kjent, men erfaring viser at det trolig er ganske tilsvarende som for natriumsulfat.

Fasediagrammer er utviklet for «rene» salter. På Klevfos og de fleste andre steder er det mer komplekst enn diagrammene kan vise oss, da saltene vil opptre sammen og forrykke bildet. For å forstå slike forhold – og flere andre forhold knyttet til salt – finnes det dataprogrammer (ECOS-RUNSALT), som Christine Bläuer har benyttet i sin ekspertrapport om saltforvitringen på Klevfos (vedlegg 1). Slike programmer kan hjelpe et stykke på vei videre, men kan ikke erstatte observasjoner gjort i praksis.

I et miljø som på Klevfos, der en både har både natriumsulfater og natriumkarbonater, er det svært viktig å være klar over at natriumkarbonat ikke er stabilt i miljøer med sulfat. Tilgjengelig sulfat reagerer med natriumkarbonatet ved utskilling av CO<sub>2</sub> og en får natriumsulfat. Forenklet kan en si at om en har natriumkarbonat og oppløst sulfat på samme sted, så vil det frie sulfatet reagere med natriumkarbonat til det ikke er mer sulfat igjen. Derfor kan en få sameksistens mellom saltene; det skjer i stort monn på Klevfos, som en kan se av kartet over salttyper.





Figur 36: Fasediagram for natriumsulfat med de to viktigste saltene mirabilitt og thenarditt.

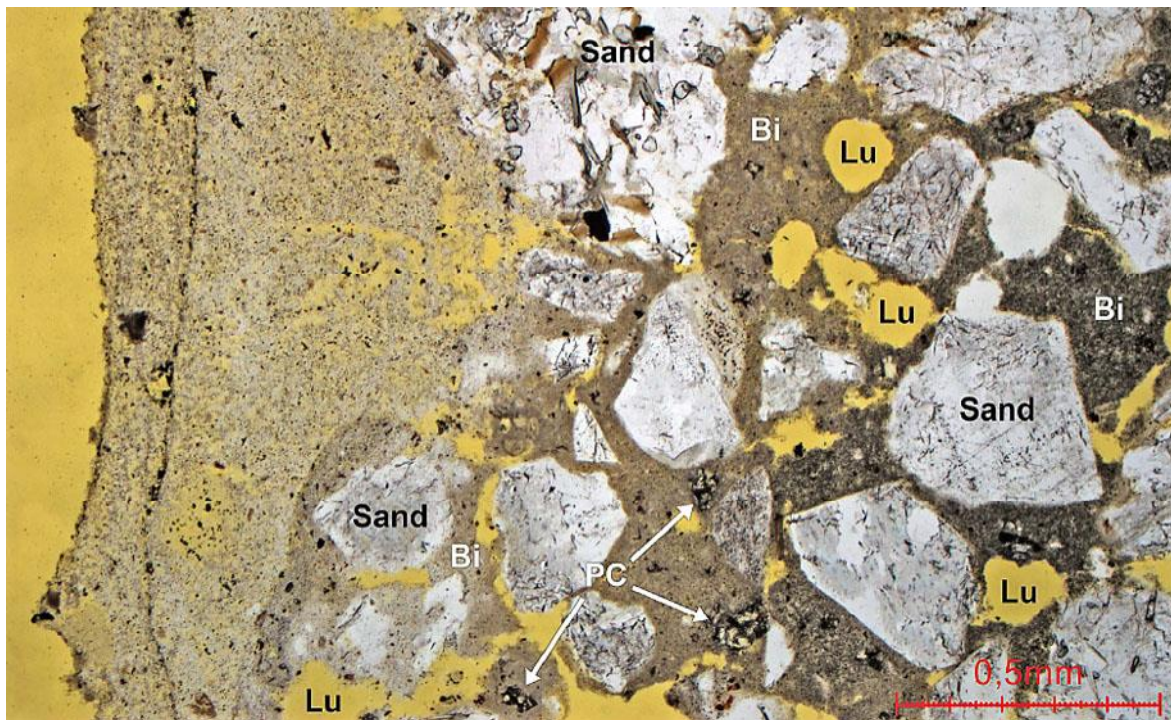
### 3.1.2 Gips

Salter av natriumsulfat og natriumkarbonat er de viktigste på Klevfos. Det finnes også et annet vesentlig salt, bl.a. i Luthuset, nærmere bestemt i de gjenværende sandfiltermassene i lutkarene. Her finner vi i tillegg til store mengder av de øvrige saltene også **gips** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), dannet ved reaksjon mellom kalk og sulfat. Saltene gir ikke noen særlige problemer i lutkarene, annet enn at de bidrar til at massene har blitt skorpeformet harde og dermed vanskelige å fjerne.

Men gips er nok vesentlig mer utbredt enn bare i Luthuset. En skal huske på at damp og røyk med svovelforbindelser var utbredt i fabrikken og at svoveldioksid og sulfat lett reagerer med kalsium i bygningsmaterialene (spesielt kalkmørtel) og gir gips. Analyser av pussmørtler utført av Seir i Danmark (2021) viser bl.a. at i eldre pusslag med kalkhvitning så har hvitningen blitt forvandlet til gips (Figur 37). En kan også mange steder se tynne, men karakteristiske «sorte skorper», typisk for gips blandet med sot. Det er også høyst sannsynlig at de innvendige (murverks)deler av fyrkjelen og begge skorsteinene (sodahus- og fyrhuspipa) har vesentlige mengder gips, det samme vil en trolig finne i tilknytning til sodaovnene og varpa, da det her ble dannet store mengder svovelholdige gasser.

Dannelse av gips gir saltskader, men ikke på samme måte og like intenst som de øvrige saltene, fordi gips er nokså tungt løselig og ikke hygroskopisk. Det er først og fremst ved selve dannelsen og ved betydelig, gjentakende fukt at litt skader oppstår.

Det er litt rart at en ikke finner betydelige mengder gips som sorte skorper på utendørs vegger, som resultat av svoveldioksid- og sotutslipp fra skorsteinene. Dette var i tidligere tider et stort problem i byer og industristrøk. Muligens er skorsteinene på Klevfos så høye at de effektivt drev svoveldioksid og sot bort fra fabrikken. Men det er også mulig at senere tiders restaureringer (bl.a. utbytting av teglstein) har fjernet slike spor, for på gamle bilder kan en se flere steder med sort belegg på bl.a. gesimser.



Figur 37: Pussmørtel fra fyrhuset i mikroskop (enkelt polarisert lys). Pussmørtelen er en kalksementmørtel med to lag kalkhvitting (til venstre). Disse lagene er omvandlet til gips. Foto fra Seir Materialanalyse AS, i rapport 2021.



Figur 38: Sorte avsetninger på Luthusets nordvegg ca. 1989. De er mindre utbredt i dag, som følge av regnvasking og trolig restaureringsarbeid. Avsetningene er ikke analysert, men det kan dreie seg om sorte gipsskorper, dannet ved hjelp av luftforurensning. Foto: Anno Museum.



### 3.1.3 Kalk og annet

Kalsiumkarbonat (kalkspat,  $\text{CaCO}_3$ , forenklet til kalk) er også et salt, men svært tungt løselig i vann og gir i seg selv ingen skadeproblemer. Siden det finnes store mengder kalk – mesakalk – i og omkring anlegget, fra brentkalken som gikk inn i Mikseriet og kom ut som finkornet avfall fra gjenvinningsprosessen, så vil imidlertid mesakalken inneholde mindre mengder av de øvrige saltene beskrevet over (ca. 1% er beskrevet i litteraturen). Altså er mesakalken et reservoar for salt før det etter noen tid vaskes ut med regnvann utendørs. Vi har ikke funnet betydelige mengder salt i dungene som ligger utenfor Luthuset og Fyrhuset i dag. Men store mengder spill som har falt ned i luthuskjelleren ved transport ut fra etasjen over inneholder nok en god del salt, også fordi det var søl av lut her.

Kalk finnes også i kalkdungen i Mikseriet. Her ble det i driftstiden lagret brentkalk for bruk i mikserne. Det er usikkert om dagens dunge med kalk er leskede og karbonatiserte rester av brentkalken, eller om det dreier seg om mesakalk senere plassert her som del av industrimuseets formidling. Vi har ikke funnet betydelige mengder salt her, men fra en viss dybde i dungen er materialet lett alkalisk, kanskje som resultat av at det faktisk var brentkalk – som ennå ikke er fullt ut karbonatisert etter naturlig lesking i fuktig miljø.

To andre salter gir ingen nevneverdige problemer: **halitt** (natriumklorid,  $\text{NaCl}$ ) og magnesiumkarbonat (muligens **nesquehonitt**,  $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). De finnes i Motorhusets nord- og østvegg og er et resultat av senere tids avgrensede forsøk med såkalt saltkonvertering med magnesiumklorid og kalsiumklorid (mer om saltkonvertering senere).

Natriumkarbonat og natriumsulfat kan virke som «eksotiske» forbindelser. Men de er vanlige og helt nødvendige i samfunnet. Et annet navn for karbonatet er soda eller natron og kom ut som en del av grønnluten fra sodaovnene på Klevfos. Det finnes i naturlige forekomster mange steder i verden og brukes i et stort antall industriprosesser, ikke minst for å lage natronlut – som ble brukt i kokeriet. Og soda er utgangspunktet for bakepulver, som vi alle har i heimen. Tilsvarende finnes sulfatet også i naturlige forekomster og brukes i industrien; det var velkrystallisert thenarditt som ble kjøpt inn for å spe på sodaproduksjonen i sodaovnene. Og både karbonatet og sulfatet brukes f.eks. som filler i mange vaskemidler, det er bare å sjekke deklarasjonen på pakken du har ved vaskemaskinen din.

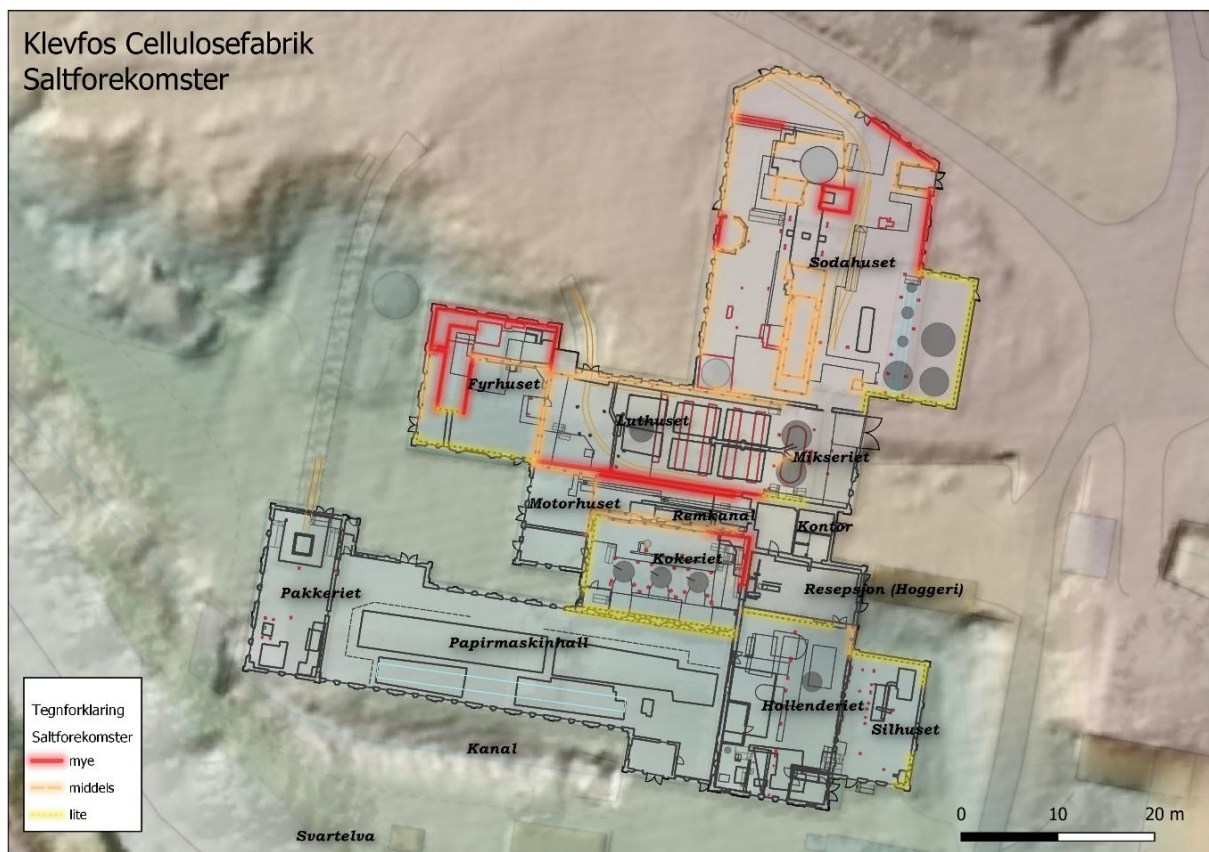
## 3.2 Utbredelse av salt

Som kartet over utbredelse av salt i fabrikkens viser (Figur 39), så er det klare forskjeller mellom de ulike bygningsdelene. Salt og saltforvitring er først og fremst å finne i gjenvinningsanlegget, med Sodahuset og Luthuset. Det er også mye salt i Kokeriet og Silhuset (og tilliggende vegger til andre deler), men mye mindre i Hollenderiet og Papirmaskinhallen. Så står Fyrhuset frem med overraskende store saltmengder. Dette var ikke del av selve produksjonsprosessen, men produserte damp til fabrikkens. Senere skal vi se at Fyrhuset er svært viktig for å forstå hvordan salt transporteres med vann/fukt langt vekk fra dets kilder og gjør skade der en ikke umiddelbart ville ha forventet det.

I utbredelseskartet for salt har vi på øyemål skilt mellom «mye», «middels» og «lite». Kartet er basert på observasjoner gjort inne i fabrikkens, men gjenspeiler forholdene også ute. Her må det bemerkes at salt er viktig også utvendig, men i langt mindre grad enn innvendig. Det er fordi direkte regnpåvirkning evner å vaske bort brorparten av saltene; de kan bare konsentreres opp på vegger/deler av vegger som er beskyttet mot regn. Således er det i underkant av vinduer og i andre relativt beskyttede nisjer vi får mest saltforvitring ute. Men den generelle graden av saltforvitring ute gjenspeiles altså i utbredelseskartet. Det er f.eks. betydelig saltforvitring på de relativt beskyttede utendørs nordveggene og østveggene i Sodahuset.

Når vi har angitt «lite» i (indre) deler av Silhuset, Hollenderiet og Papirmaskinhallen, så betyr ikke dette at salt er uvesentlig her. Det er mye mer salt her enn i andre kontekster hvor salt kan være et problem, altså i andre gamle bygninger. Men på Klevfos er det så enormt mye mer i gjenvinningsanlegget (og delvis i Kokeriet og Fyrhuset): «Mye» betyr at det på veggene, gjerne i de nedre deler av murverket, kan være mange centimeter tykke forekomster og store mengder, kilovis, forvitret materiale (fra tegl, fugemørtel og puss) på golvet/bakken. «Middels» ville også i mange andre kontekster ha blitt betraktet som voldsomt, på Klevfos er det en mildere variant av «mye». Det er ikke nødvendigvis kun salt som har ført til forvitringen, som nevnt over kan frost også ha en finger med i spillet der det er fuktig nok. Alle viktige saltforekomster i fabrikk er, i tillegg til analysene (vedlegg 2) testet med pH-papir og indikatorpapir for sulfat (Merckoquant teststrips). Testene gir en god indikasjon på at saltene vi har funnet i analysene går igjen gjennom hele fabrikk.

I hovedsak finner vi saltene langs grunnen/golvne og til 3-4 meter opp på veggene. Men det er også til dels store mengder i selve golvne og i mer uregelmessig grunn i kjellere (ikke merket på utbredelseskartet). Her peker Sodahuset og spesielt Luthuset seg ut, men også Kokeriet har mye salt i grunnen. Videre er det mengder med salt i store installasjoner, som f.eks. varpefundamentet og sodaovnene i Sodahuset og sandfilterkarene i Luthuset. Mange steder finner vi salt også høyt oppe i vegger og konstruksjoner. Skorsteinene har f.eks. mye salt, likeledes mange områder langs gesimser og steder der det har vært tidligere eller er pågående lekkasjer. På treverk finner en også salt, bl.a. høyt oppe i Kokeriet, der kokerne ble matet med lut, og under tregolvet i Luthuset. Likeledes er treverk i «bingen» (massetroa) der cellulosemassen ble oppbevart i Kokeriet før den gikk videre til Silhuset «mettet» med salt.



Figur 39: Kart over utbredelse av salt langs de indre veggene i fabrikk, fortrinnsvis i grunnfuktsonen og flere meter oppover veggene. Se teksten for forklaring av «mye», «middels» og «lite». Vær oppmerksom på utbredelsen inne gjenspeiles på ytre vegger, men her er det naturlig nok mye mindre salt pga. av regnvasking. Salt i golv og grunn er ikke tatt med. Under er en bildekavalkade om saltforekomster i fabrikk.





Figur 40: Sodahusets vestvegg, ved lite motorhus. Betydelig saltforvitring og mye skadd mur er falt ned.



Figur 41: Varpa i Sodahuset er sterkt skadet. Selv om det ikke alltid er så lett å se saltmengder på linje med grunnfuktsonen langs vegger, så er salt alltid tilstede, ikke minst under flak og i sprekker og riss. At salt er litt mindre synlig, kan være fordi saltet trona er viktig her. Trona er mindre løselig i vann enn natron/thermonatritt og kan forbli relativt stabil om det ikke er så mye fukt tilstede. Varpa er imidlertid preget av kondenshendelser, som vi senere skal se.





Figur 42: Sodahusets nordvegg, østre del. Sterkt saltskadd vegg, hovedsakelig natriumsulfater. Her er det nå satt opp forsøksfelter for saltforvitring, se senere i rapporten. Sammenlign også med fotos fra utsiden og arbeider som ble gjort for å styrke vegg og bedre fuktforhold i 2012 (Figur 23, Figur 24). Som en kan forstå har ikke arbeidene hjulpet mye. Sammenlign også med fundamentkart, Figur 12.





Figur 43: Luthuskjelleren. Spill av mesakalk fra oven ligger i en stor dunge, vegger og tregolvet over er sterk skadet av salt.

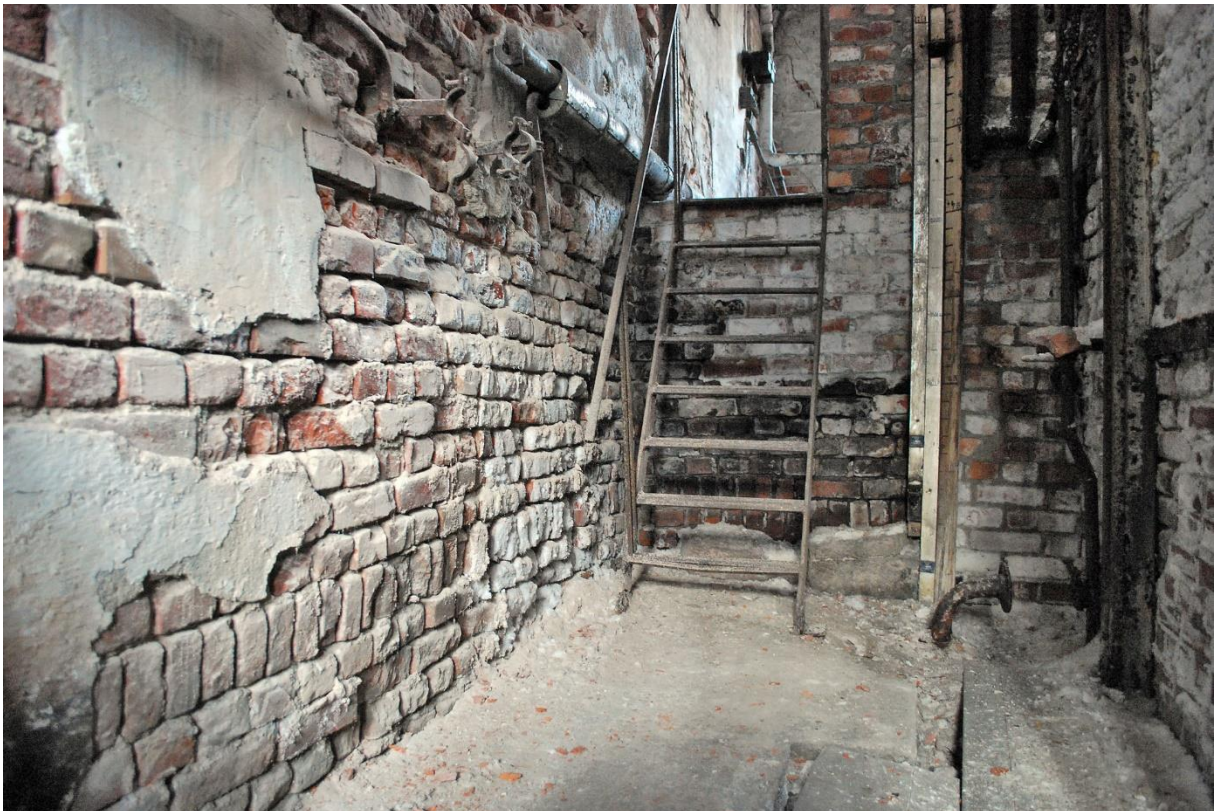


Figur 44: Søylefundament i kjelleren i Luthuset er helt oppspist av salt. Legg også merke til rustende jern, påvirket også av sulfatet i grunnen. Selv om det også er sterkt basiske salter her, så gir de tilsynelatende ingen «korrosjonsbeskyttelse» når det også er mye sulfat.





Figur 45: Remkanalen mellom Luthuset (høyre) og Kokeriet (venstre) er reparert med sementpuss for å «styrke» konstruksjonene. Som vi ser går ikke dette særlig bra når det er så mye salt tilstede.



Figur 46: Fyrhuset er sterkt preget av saltforvitring. Her fra nordsiden, bak fyrkjelen. Alt det hvite er salt.





*Figur 47: Salt i grunnen i Kokeriet. Her fra en sjakt i golvet. Selv om det i Kokeriet ble benyttet sterkt basisk lut, så er det natriumsulfat som blomstrer ut her. Det er fordi luten også inneholdt natriumsulfid – som ikke er stabil i luft. Se videre forklaring i neste kapittel.*



*Figur 48: Søylefundament i Kokeriet, sterkt skadd av salt. Det er benyttet en betongforsterkning her, og en kan mistenke betongen for ikke å være av god kvalitet. Dette gjelder også flere steder i fabrikkens der relativt ny betong er benyttet som forsterkning.*





*Figur 49: Nordveggen i underetasjen i Hollenderiet (Turbinhallen) med inngang til kjelleren i det gamle Hoggeriet. Her er det også betydelig saltforvitring, men en har ennå ikke helt forståelse for de mer nøyaktige kildene til saltet og fukten som mobiliserer det.*



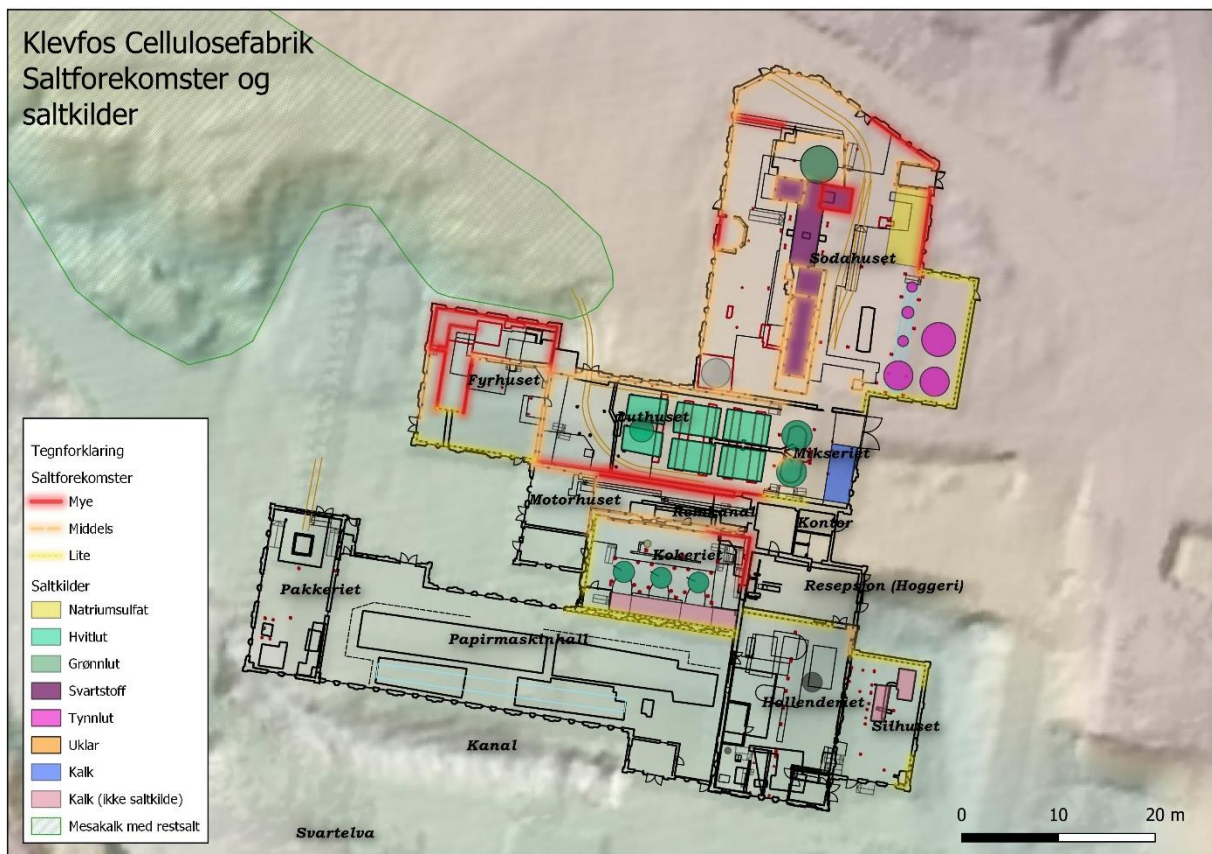


*Figur 50: Fyrhuspipa er på spesifikke steder utendørs preget av forvitring. Her er det dyp forvitring av enkelte stein og de harde og tette pølsefugene av sterkt sementholdig mørtel står igjen. Det er åpenbart fukt som driver forvitringen og at salt er viktig. I tørre perioder er det mye mer salt her enn på bildet. Men frost kan nok også spille en rolle.*



*Figur 51: Forvitring på Fyrhusets NV-hjørne. Salt er viktig her, men frost og tette sementfuger (KC 35/65) bidrar også. Dessuten blir fukten og saltet tvunget høyt opp i veggen av en betydelig påstøp med tett betong (nederst i bildet). Videre gir takdrypp på hjørnet ekstra fuktbelastning. Legg for øvrig merke til at teglsteinene har ulik grad av forvitring. Dette skyldes vekslende tegl kvalitet, spesielt knyttet til porøsitet og porestruktur.*





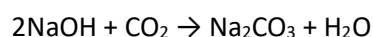
Figur 52: Utbredelse av salt i fabrikken – sett i forhold til de viktigste saltkildene fra prosessene. Som vi ser er det en sterk romlig sammenheng mellom saltforekomster og saltkilder.

### 3.3 Sulfatprosessen og kilder til salt – omvandling av prosesskjemikalier

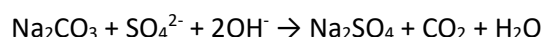
Utbredelsen av salter er åpenbart sterkt knyttet til produksjonsprosessen og spesielt, men ikke utelukkende, til gjenvinning av kokeluta. Om vi skal forstå kildene til salt, så må vi også forstå hele produksjonsprosessen og litt av kjemien knyttet til både lut og gjenvinning av lut. Under går vi systematisk gjennom kjemikalienes veier i fabrikken. Vi tar ikke hensyn til de mange organiske forbindelsene som ble dannet gjennom prosessene, men konsentrerer oss om de aktive kjemikalierne, dvs. luta (for andre kjemikalier, se rapport om forurensningssituasjonen, referert i hovedrapporten fra Kunnskapsprosjektet, samt generell litteratur om sulfatprosessen, spesielt Mathiesen (1954).

#### 3.3.1 Kokeriet

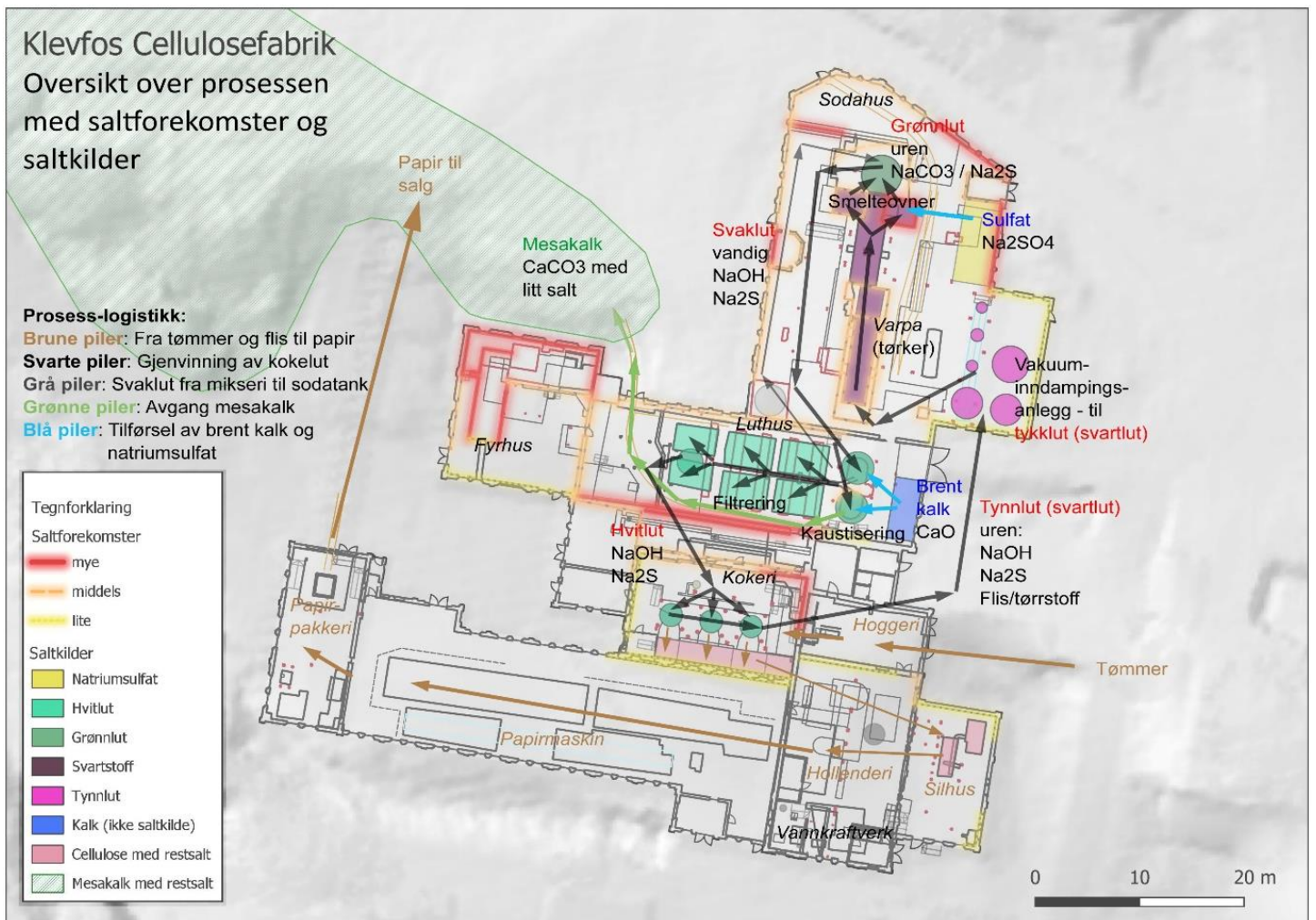
Kokeluta benyttet på Klevfos besto av natriumhydroksid (NaOH) og natriumsulfid (Na<sub>2</sub>S) i vannløsning. Dette er sterke baser som ikke er stabile i luft. Det vil si at når de ved spill, søl og lekkasjer fra kokerne/tankene og røropplegg kommer ut i fri luft og når vannet fordamper, så vil de transformeres til salt. Natriumhydroksid tar raskt opp karbondioksid fra lufta og går over til natriumkarbonat, altså et av saltene vi har beskrevet over. Reaksjonsligningen er, forenklet:



Natriumsulfid er heller ikke stabil i fuktig luft. Men omvandlingsprosessene er komplekse. Det dannes ulike svovelforbindelser, samt sulfat – og dessuten absorberes CO<sub>2</sub> fra lufta som gir natriumkarbonat. En får altså også her natriumkarbonat og dessuten mye fritt sulfat. Siden natriumkarbonat ikke er stabil ved tilstedeværelse av sulfat, vil det deretter dannes natriumsulfat, inntil tilgjengelig sulfat er brukt opp, forenklet:

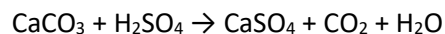






Figur 53: Oversikt over de kjemiske prosessene i fabrikk, med kilder til saltene og utbredelse av salt langs innvendige vegger. Vi aner den sterke sammenheng mellom prosess, kilder og utbredelse. For prosessen, se også skjematisk fremstilling i Figur 5.

Dette forklarer hvorfor vi svært ofte finner salter av natriumkarbonat og natriumsulfat sammen, nær overalt i fabrikk i dag. Dessuten forklarer det hvorfor gips til tider er viktig, bl.a. som skorper på pussede vegger, da kalken i murmørtelen reagerer med sulfatet, forenklet:



Figur 54: Liten dreneringskanal på gulvet i Kokeriet.

Utbredelsen av saltene, først og fremst natriumsulfater og -karbonater, er mye mer hyppig i Sodahuset og Luthuset (og Fyrhuset), enn i Kokeriet. Det er fordi disse delene av fabrikk er sterkt påvirket av fritt vann, på grunn av bl.a. dreneringsproblemer. I kokeriet var det betydelig spill og søl, fra kokerne og spesielt fra massetroa, men langs gulvene hadde en anlagt fine dreneringskanaler som gikk ut i større kanaler og fjernet betydelige deler av de vandige løsningene.





Figur 55: Kokeriet sett mot vest med de tre cellulosekokerne og varmeveksler til høyre. Innfelt: Koker Jens Fossen på toppen av en av cellulosekokerne, trolig ca. 1960. Herfra ble kokerne matet med treflis og hvitlut. Foto: Anno Museum.



Figur 56: Massetroa i Kokeriet. Til denne forede troa ble cellulosemassen tappet ut fra kokerne og senere manuelt videreført til Silhuset – fra den bakre enden av troa (sett fra fotografens ståsted).



### 3.3.2 Silhuset, Hollenderiet og Papirmaskinhallen

Fra Kokeriet gikk cellulosemassen via massetroa manuelt til Silhuset, hvor gjenværende kjemikalier ble vasket ut med vann. Det vil si at oppløste rester av kokeluta ble fjernet fra cellulosen og til syvende og sist, via en stor samlelum, skylt ut i Svartelva når vannføringen var god. Silingen var en «åpen» prosess, dvs. at det ble mye søl i omgivelsene. Men siden kjemikaliene i denne delen av prosessen befant seg i fortynnet form og det var en funksjonerende drenering mot Svartelva, så ble det ikke konsentrert opp større mengder når vannet fordampet fra golv og vegger. Men ellers vil akkurat de samme salter som i kokeriet ha blitt dannet. Det kan vi i mer begrenset grad se på vegger og golv i denne bygningsdelen. Det samme kan en si om den videre prosessen mot ferdig papir, gjennom Hollenderiet med Limloftet og senere Papirmaskinhallen. Disse prosess-stegene inneholdt vandige masser med cellulose, men kjemikaliene opptrådte nå i så fortynnet form at selv om det forekom søl, så ga det ikke opphav til stor oppkonsentrasjon av salter i murverk o.a.

### 3.3.3 Sodahuset – vakuuminndampingsanlegget

Svartluta fra Kokeriet, en mørk, vandig, basisk blanding av kjemikalier, tjærestoffer, mengder med trefiber o.a., ble tappet ut fra kokerne og pumpet i rør til vakuuminndampingsanlegget i Sodahuset. Inndampingsanlegget har flere store tanker og klargjorde den vandige blandingen for videre prosessering i varpeaggregatet og roterovnen, dvs. at hovedformålet var å fjerne vann. Siden dette i hovedsak var en lukket prosess, så kom det ikke ut svært mye kjemikalier til bygningen, annet enn ved lekkasjer og i dråpeform i dampen. Dette kan man observere i denne fabrikkdelen, ved at det er relativt lite salt på golvet og langs veggene, men de samme salter som ellers. Man kan også observere «seig» svartlut, eller svartstoff, som resultat av lekkasjer (se også hovedrapporten fra Kunnskapsprosjektet, delprosjekt 2).



Figur 57: Utsnitt foto fra vakuuminndampingsanlegget i Sodahuset. Legg merke til spill av svartlut. Udatert, Anno Museum.



Figur 58: Lut ble pumpet i rør mellom Kokeriet og lutgjenningsanlegget. Det har ennå ikke lyktes å identifisere hensikten med alt røropplegg i fabrikk. Her er vi i det nordøstre hjørnet av Kokeriet, i overgangen mot Remkanalen og Luthuset/Mikseriet. Rørene høyt oppe kan ha hatt lekkasjer og bidratt til den sterke saltforvitringen i dette hjørnet. Men vannlekkasjer kan også ha spilt en rolle.

### 3.3.4 Sodahuset – varpeaggregat og roterovn

Når svartluta var godt nok inndampet, ble den pumpet til varpeaggregatet rett vest for inndampingsanlegget. Et slikt varpeaggregat representerer både en teknologisk nyvinning og en mellomperiode i celluloseindustrien, før de mer avanserte «Tomlinson-reaktorene» tok over fra 1930-tallet, og enda mer avanserte reaktorer kom senere. I varpa ble ytterligere vann fjernet fra massen. Varpa er en massiv konstruksjon med roterende visper inne i ståltanker; alt hvilende på et tungt og høyt fundament bygget av tegl med bukonstruksjoner. Det var de tilbakeførte røykgassene fra sodaovnene som sørget for varmen som fjernet fukten fra svartluta; fukten og mange stoffer i gassform gikk deretter ned i en kanal og ble ført til Sodahuspipa og ut i fri luft. Røykgassene vil ha gitt opphav til både gips og øvrige salter.

I utgangspunktet var dette en nær lukket prosess. Men siden det her var store, bevegelige deler (med remdrift), så var ikke skader og lekkasjer til å unngå. Varpefundamentet, og også golvene omkring, er derfor gjennomtrukket med tjærestoffer (brukt her som generisk begrep for seig, brunlig masse) og salt fra den inntørkende svartluta. Teglsteinsmurverket er nå brunfarget fra lekkasjer (og også fra olje brukt til å vedlikeholde bevegelige deler av varpa). Den kompliserte situasjonen gjør at alt saltet (mye trona) nå forsvinner litt fra oppmerksomheten - og i alle skadene som kan registreres.

Dette gjelder ikke minst overgangen mellom varpa og roterovnen. Roterovnen var det siste leddet i inntørkingsprosessen før svartluta gikk til sodaovnene. Den nå nesten inntørkede massen ble ført i en åpen, liten renne på vestsiden av varpa og via et sinnrikt, forbausende lite skovlsystem (med remdrift) og ført inn i roterovnen på nok en liten, åpen renne. Her ble det svært mye spill og søl; hele området omkring er sterk påvirket av tjærestoffer og salt; de samme saltene som beskrevet tidligere.





Figur 59: Nordre del av varpa, roterovn og sodaovn bakerst i bildet. Legg merke til skadene på den nedre delen av varpa og hvor mye som har falt ned.



Figur 60: Nordveggen til varpa er preget av sterk saltforvitring og mye søl av svartlut fra oven. Det kan se ut til at forvitringen er en hovedårsak til de betydelige deformasjonene i murverket.





*Figur 61: Overgangen mellom varpa og roterovnen sett fra vest. I dette området har det forekommet mye spill. Legg også merke til granittfundamentene og skadene på teglmurverket. Jfr. Figur 60, som viser forholdene rett rundt hjørnet i venstre billedkant.*



I roterovnen ble massen klargjort for sodaovnene og tørket helt ut til svartstoff. Stoffet kom ut av roterovnen rett ved siden av toppen på sodaovnene, og ble manuelt fylt inn gjennom en liten, sirkulær åpning i gulvet. I dette området ble det også mye søl. Men svartstoffet var nå en tørr masse, med stort innhold av både treflis og kjemikalier: Flere hundre kilo svartstoff ligger igjen oppe ved roterovnens overgang til sodaovnen eller har falt ned til de store haugene som ligger ved roterovnens fundament. Men siden massen stort sett er tørr, så gir den ikke noe stort bidrag til salt i omgivelsene, annet enn i nærheten av den østre sodaovnen, som er påvirket av grunnfukt.

### 3.3.5 Sodahuset – sodaovnene og grønnlutkaret (sodakaret)

Sodaovnene var kjernen i gjenvinningsanlegget. Det er to ovner. De skulle fyres til langt over 1000 grader og måtte derfor jevnlig vedlikeholdes for å bøte på brannskader. Så vidt vi har brakt på det rene kunne en ovn klare påkjenningsene i omkring ett år, før vedlikehold/utbytting av deler (ildfaststein, klebersteinsforing, teglstein oa.) var nødvendig.

Sodaovnene ble fyrt opp med ved i starten av en «batch» (ca. en gang i uken), men deretter var det nok energi i treflis fra svartstoffet til at ovnene var selvgående; de kunne da produsere nok energi til ikke bare å smelte kjemikalier i svartstoffet, men også, som over nevnt, til å tørke ut svartluta via røygassene som ble tilbakeført via et felles skorsteinsystem for de to ovnene (bygd av ildfaststein, foret med kleber) over ovnene, gjennom roterovnen og varpa. Mye av sbovelet i svartluta gikk tapt gjennom de svovelholdige røygassene, som bl.a. inneholdt merkaptan (hovedkilden til Klevfoslukta), men også hydrogensulfid ( $H_2S$ ) og svoveldioksid.

Alle disse gassene kan tære på bygningsmaterialer og ikke minst stål og jern i fabrikken, om de også sirkulerer innendørs. Utendørs gikk de opp fra de høye skorsteinene og ble fraktet med vinden – som luftforurensning. En får velkjente reaksjoner som gipsdannelse og dannelse av de øvrige saltene vi har vært inne på over. Fra  $H_2S$  kan en også få reaksjoner til mørke, stabile metallsulfider – noe som her og der kan ha vært viktig i fabrikken.  $H_2S$  kan for øvrig også dannes fra inntørring av kokeluta (se over) i samband med alle reaksjonene denne utsettes for ved spill og søl.

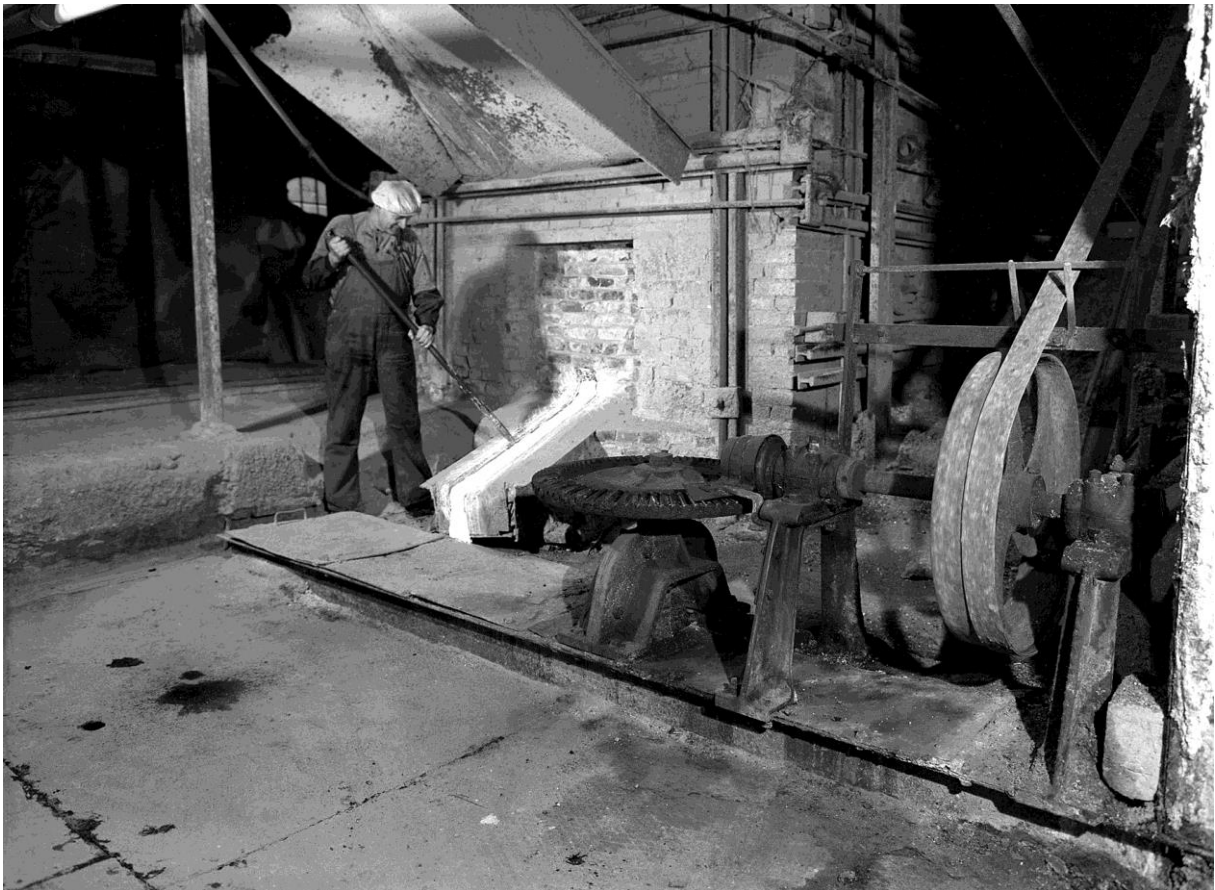
Ovnene kunne ikke oppnå så høy temperatur som over 1000 grader uten stor tilførsel av oksygen; derfor var det et betydelig system for tilførsel av luft i de nedre deler av ovnene. Men ellers kan de betraktes som «selvgående» smelteovner. Slike ovner var svært viktige i den gamle celluloseindustrien og fantes over hele verden fra slutten av 1800-tallet. Et viktig poeng er at kleberstein til foring av slike ovner – også på Klevfos – i stor grad kom fra kleberbruddene omkring Otta. Her hadde man tidlig startet en betydelig eksportindustri av kleberblokker på mål, tilpasset den enkelte ovn – om den var på Klevfos, eller i India eller Sør-Amerika. Dette er en viktig «link» mellom Otta, Klevfos og resten av verden.

I Sodaovnene foregikk det omvandling og smelting av svartstoffets basiske bestanddeler og gjenværende svovel (nå som sulfat). Gjenværende natriumhydroksid tok opp karbondioksid og dannet natriumkarbonat, mens natriumsulfat ved hjelp av karbonet i brenselet ble redusert til natriumsulfid. På grunn av det store tapet av sulfat/svovel gjennom spill, lekkasjer og damp, men spesielt fra røygassene, var det nødvendig å tilføre store mengder natriumsulfat til ovnene under brenningen (se under).

Den basiske smelten ble tappet av på en tynn renne i nedkant av ovnene. Herfra rant smelten ned i et stort, underjordisk, sirkulært kar fylt opp med såkalt svaklut, rester tilført i rør fra kaustiseringsprosessen i Luthuset (se under). Nede i karet fikk man dermed en sterkere og sterkere, men fortsatt nokså uren lut, såkalt grønnlut, de aktive bestanddelene bestående av oppløst natriumkarbonat og natriumsulfid, men også med fritt sulfat og andre stoffer.



*Figur 62: Ottar A. Skjerstad i ferd med å fylle sodaovnen i 1960. Dette gjøres manuelt gjennom et hull på toppen av ovnen etter at svartstoffet er kommet tørt ut fra roterovnen i bakgrunnen. Murkonstruksjonen er del av pipeløpet fra ovnen; røyken går videre tilbake gjennom roterovnen og varpa. Foto: Anno Museum.*



*Figur 63: Ottar A. Skjerstad tømmer den glødende smelten fra sodaovnen i 1960. Smelten går ned i grønntlutkaret som ligger i et utsprengt rom under golvet i Sodahuset. Maskineriet er for røreverket i karet. Foto: Anno Museum.*





Figur 64: Den østre sodaovnen sett fra toppen av grønntlukaret i dag, jfr. Figur 63.

For å få plass til «grønntlukaret» er det kilt og sprengt ut fjell under denne delen av Sodahuset, og fra det underjordiske «kammeret» er det videre sprengt en kanal med utløp under Sodahusets vestvegg. Herfra dreneres mye overflatevann, som tar med seg rester av prosesskjemikalier videre sørvestover (mer om dette senere) – og det foregikk nok også spill ved avtapping fra sodaovnene; målinger ved hjelp av indikatorpapir viser at vannet her nede, omkring karet og i utløpskanalen, nå har nøytral pH, men at det fortsatt er i størrelsesorden 1000 mg/l sulfat i vannet, målt med Merckoquant teststrips (gjennomsnittlig sulfatinnhold i ferskvann i Norge er ca. 2 mg/l).

### 3.3.6 Sodahuset – dungen med natriumsulfat

Natriumsulfat tilført ovnene ble importert fra tilbydere på verdensmarkedet. Det dreide seg om såkalt «vannfri vare», dvs. det billige mineralet/saltet thenarditt,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . På et eldre bilde ser vi at natriumsulfat er pakket i en mengde sekker i lagringssonen rett øst for sodaovnene (Figur 67), men i en tid før gjenvinningsanlegget ble nedlagt i 1972 må natriumsulfatet ha vært tilført i bulk. Det vet vi fordi det lå en dunge på flere tonn med natriumsulfat her (Figur 27).

Dungen ble fjernet i 2017, men det er fortsatt betydelige rester på overflaten og i de øvre deler av grunnen, rester store nok til å fastslå at natriumsulfatet på grunn av mye fukt i omgivelsene ble omvandlet til en kornet, nokså hard masse av mirabilitt ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , se analyse i vedlegg 2). Siden det er store mengder grunnfukt, og til dels overvann, i dette området av fabrikkens, så har det ikke vært til å unngå at betydelige mengder oppløst natriumsulfat har sluppet ut i grunnen omkring dungen – og videre fulgt «vannets veier» gjennom Sodahuset og fabrikkområdet generelt.

Det er derfor sannsynlig at en stor del av sulfatinnholdet i vannet omkring grønntlukaret (se over) under sodaovnene stammer fra denne dungen. Videre er det sannsynlig at den nærmeste sodaovnen (den østre) er sterkt påvirket av salt herfra. Denne ovnen er nå i bedrøvelig tilstand.





Figur 65: Hele sodaovn-anlegget sett forfra, med to ovner og pipeløp i gul ildfaststein over.



Figur 66: Pipeløpet og andre deler av ovnene er foret med spesialsåret kleberstein fra saghuset på Sagflaten ved Sel i Gudbrandsdalen. Her var det en betydelig eksportindustri for kleberforinger som kunne tåle høye temperaturer. Men vi ser at kleberen er sterkt skadet av høye temperaturer og salt fra røykgassene. Se bl.a. <https://perstoremyr.net/2018/05/12/historien-om-et-saghus-i-gudbrandsdalen-produksjon-av-kleberstein-som-ildfaststein-til-smelteovner>

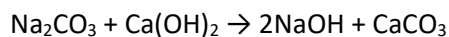




Figur 67: Ved siden av vakuuminndampingsanlegget i Sodahuset ligger det pent stablet sekker med natriumsulfat for bruk i soadovnene. Bildet trolig tatt omkring 1960. Mot slutten av driftstiden lå sulfaten i en åpen haug her, jfr. Figur 27. Foto: Anno Museum.

### 3.3.7 Mikseriet med dunge av brent kalk

Fra grønntlukaret under sodaovnene ble den vandige luten pumpet i rør til de to miksetankene i Mikseriet. Her foregikk kaustisering av grønntluten. Det vil si at det oppløste natriumkarbonatet i den «svake» grønntluta ved hjelp av brent kalk tilført fra toppen av miksetankene, ble omvandlet til natriumhydroksid, som sammen med natriumsulfid i løsningen nå var på vei til å bli ferdig, sterk hvitlut. Den brente kalken (CaO) ble raskt lesket (til Ca(OH)<sub>2</sub>) under utvikling av varme i miksetankene og hovedprosessen kan fremstilles slik, forenklet:



Her er det altså natronlut og kalk – mesakalk – som er endeproduktene. Men luten inneholdt også store mengder basisk natriumsulfid, en helt sentral del av kokeluta, som skal ha forblitt relativt upåvirket av kaustiseringsprosessen.

Det trengtes store mengder brent kalk, som over nevnt fra lokale kalkbrennerier, for å kaustisere grønntluta. Det kan vi se fra de store dungene med avfallskalk – mesa – i tilknytning til fabrikk (anslått over til 30 000 kubikkmeter).

Mesaen ble bunnfelt i miksetankene, rørt opp og vasket. Løsningen fra vaskeprosessen, med mange aktive kjemikalier, er den som ble pumpet tilbake til grønntlukaret i Sodahuset, og som tok imot smelten fra sodaovnene; her har vi altså en komplisert, intern prosess som skulle hjelpe til i energiøkonomisering og effektivitet.



Figur 68: Miksetankene i Mikseriet (bak) og et av lutkarene i Luthuset.

Mesakalken ble videre rørt opp og tappet utover en del av sandfilterkarene i Luthuset (se under). Herfra ble den skavet/spadd av og manuelt ført ut på vagg/skinnegang til mesakalkdungene utenfor fabrikk. Denne prosessen førte til mye spill som nå ligger nå bl.a. som en metertykk masse under og ved siden av miksetankene i kjelleren til Luthuset.

\*

Den vandige løsningen over bunnfelt mesakalk i miksetankene inneholdt til slutt i hovedsak sterkt basisk natronlut ( $\text{NaOH}$ ) og natriumsulfid ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), men den var fortsatt uren, bla. med fritt sulfat og mange andre bestanddeler, som rester av fiber. Løsningen måtte ytterligere renses for å kunne brukes til å produsere cellulose i Kokeriet.

### 3.3.8 Luthuset

Løsningen fra miksetankene gikk derfor til Luthuset for rensing. Fra Mikseriet rant løsningen i åpne renner utover store sandfilterkar i den øvre etasjen av Luthuset. Det var sanden i karene som renses lutløsningen. Sanden fanget opp det meste som ikke var ønskelig i luten. Den ferdig hvitluten rant så ned fra tappekanaler under sandfilterkarene til tanker i kjelleretasjen.

Kanalene under karene fremstår som åpne renner og svært utsatt for spill og søl. Fra tankene i kjelleretasjen ble så den ferdige hvitluten, i hovedsak  $\text{NaOH}$  og  $\text{Na}_2\text{S}$  i vannløsning pumpet videre til tanker i Kokeriet og sto så klar når det igjen skulle utføres et massekok. Dette ble utført i batch, dvs. at lutløsningen kunne bli stående en kort tid i tankene/karene under sandfilterkarene i Luthuset og i tankene i Kokeriet.

Luthusets kjeller/underetasje er en av de verst skadde delene i hele fabrikk. Dette har litt å gjøre med at mesakalk har opp til omkring 1% restsalter. Men det har mest å gjøre med spill og søl fra de helt åpne prosessene for filtrering av luten (som også mesakalken kan ta opp). Lutkarene med sand





Figur 69: Luthuskjelleren, med undersiden av sandfileterkarene

som filtermasse står i det fri inne i fabrikk; både tilførsel og avgang fra disse karene foregikk helt åpent, i renner, ikke i lukkede rør. Her var det over tid stort spill av kjemikalier, det som ble til saltene natriumkarbonat og natriumsulfat – og også gips.

### 3.3.9 Mengder med salt – sammenligning med andre kulturminner

Det er vanskelig å se for seg mengdene med salt som har funnet veien til og ødelegger murverk og konstruksjoner i fabrikk. Vi vet nå at det i hovedsak dreier seg om natriumkarbonat og natriumsulfat, med en del gips. Vi vet også at mengdene må stå i en viss relasjon til de sikkert tusentalls tonn med natriumsulfat som ble tilført sodaovnene og all den kalk som ble brukt i kaustiseringsprosessen (ca. 1,5 tonn pr batch). Fra denne prosessen gikk det i størrelsesorden 30 000 kubikkmeter mesakalk som avfall gjennom en hundreårsperiode fram til 1972, da celluloseproduksjonen ble nedlagt og anlegget fortsatte som ren papirfabrikk i ytterligere fire år.

Dette betyr at vi må regne med at grunnen og veggene i fabrikk, som hypotese, gjennom spill, søl, avdampning, røykgasser og avgang er infisert med mange tusen kilo salt. Det finnes så vidt kjent ingen andre stående kulturminner i Norge som er utsatt for det samme. Vi vet at sement og betong kan gi en god del tilsvarende salter (natriumkarbonat og natriumsulfat; Nidarosdomen med sine lekkasjer er et godt eksempel), men selv om slike materialer er benyttet for restaureringsformål på Klevfos, så er saltmengdene de kan gi av underordnet betydning.

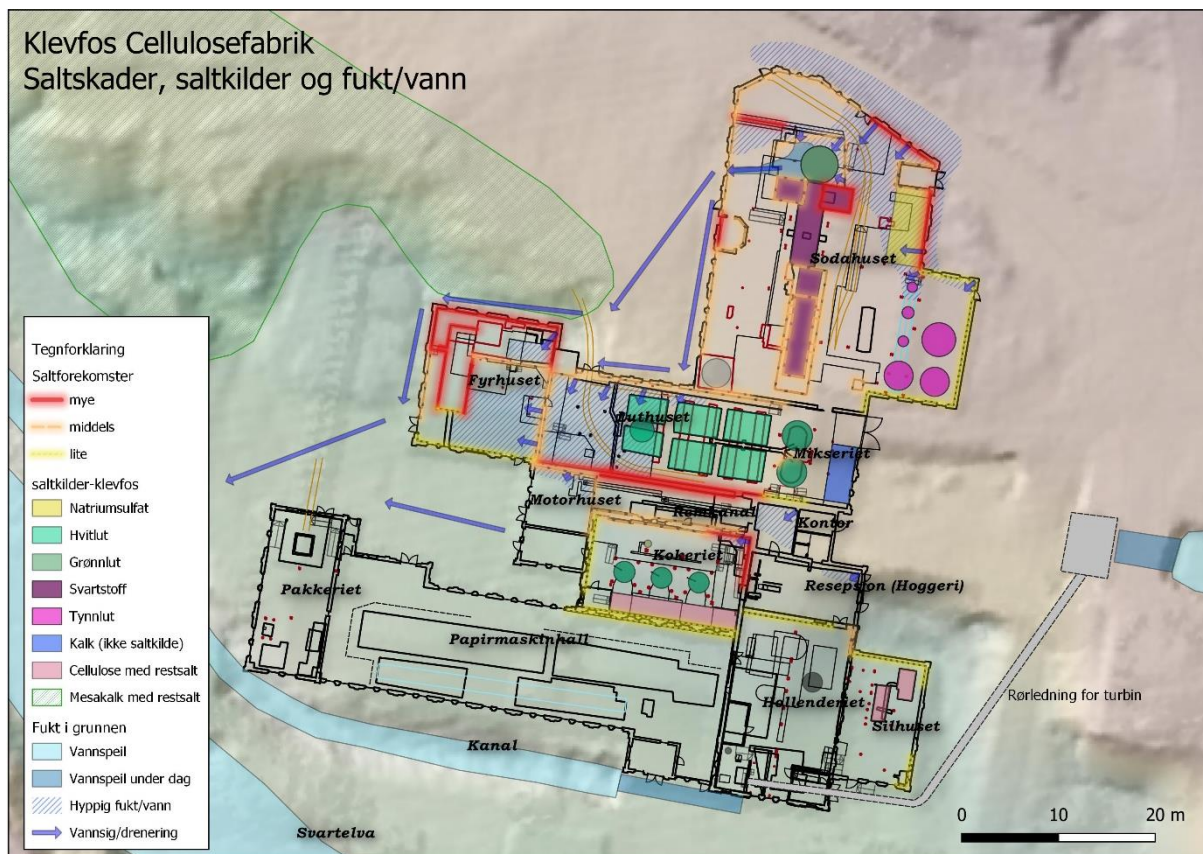
Så vidt vi vet er det altså ingen andre eldre anlegg av tilsvarende type bevart i Norden som har så store saltproblemer som Klevfos. Men vi har ikke studert andre typer, eldre kjemiske fabrikker, som kanskje er bevart både i Norden, Europa eller i andre deler av verden. Muligens finnes også eldre anlegg for celluloseproduksjon i mindre industriutviklede deler av verden. Det vil være av stor interesse å lokalisere slike anlegg for å sammenligne med Klevfos og for å lære. Vi kjenner imidlertid til andre typer kulturminner som har tilsvarende, om enn mye mindre massive, saltproblemer av relevans til Klevfos: To av dem er det store festningsverket Suomenlinna utenfor Helsinki og Nidarosdomen i Trondheim. De er referert i bibliografien og en sammenfatning av problemene finnes i Storemyr (2020). I begge tilfellene dreier kjernen i bevaring seg, ikke overraskende, om begrenning av fukt, for Suomenlinna også om god styring av inneklime.





*Figur 70: Luthuskjelleren. Fra tanker i kjelleren ble den ferdige hvitluta pumpet i rør til Kokeriet. Det er de rustne rørene på bildet det dreier seg om. Legg også merke til de fuktige forholdene med sterk saltforvitring på golvet og veggene.*





Figur 71: Hyppig overflatevann, sterk fukt i bakken og vannsig (kartlagt av Arild Teppen og Anders Nordbakken) samt generell drenering, sett i sammenheng med saltforekomster og saltkilder. Dreneringen på østsiden av fabrikken er ennå ikke helt forstått og blir del av det videreførende prosjektet «Vannets veier» i regi av Anno Klevfos.

### 3.4 Fukt og transport av salt

Vi har sett at det var spill, søl og lekkasjer fra maskineri, samt damp og røykgasser som avsatte saltene i fabrikkens grunn og vegger i driftstiden. Den videre transporten, både i driftstiden og i dag foregår ved hjelp av grunnvann/overvann som siver inn i fabrikkens og kapillært trekker opp i murverket, samt med vanninntrenging og lekkasjer fra tak og vegger – og ved hjelp av kapillært oppsug av kondensvann når doggpunktet er underskredet på murverk.

Fuktbildet på golv og grunn inne i fabrikkens er observert og kartlagt i flere omganger gjennom prosjektet. Det er slående at den mest intense forvitringen romlig sammenfaller med hyppig grunnfukt/overvann, først og fremst i Sodahuset og Luthuset, der det også er store saltkilder. I Fyrhuset er det mye forvitring til tross for få direkte saltkilder, men her er det svært mye overvann og fukt. Helt motsatt er bildet i Kokeriet, der det er betydelige saltkilder, men relativt lite forvitring og fukt. Dette betyr generelt at det er kombinasjonen mye salt/mye fukt som er den viktigste trusselen. Under går vi systematisk gjennom de enkelte bygningsdelene.

#### 3.4.1 Sodahuset

I Sodahuset kommer fukten inn som overvann og sig i grunnen gjennom naturlig drenering fra bergkuppene nord og øst for bygningen. Ved grønnluttanken og den utsprengte kanalen som drenerer vannet ut mot vest, går det fritt vann i fjellsprekker og her står det vann ca. 1,5 m under golvet, mindre i tørre perioder. Det vil si at dette nivået er det omtrentlige, lokale grunnvannsnivået.

Fundamenter mot nord og øst i Sodahuset er som nevnt med sparebetong, med påstøp av ekstra betong, og de nedre deler av teglsteinsveggene i området er dekket av masser som stort sett er



Figur 72: Utsprengt kanal med sulfatholdig vann fra det utsprengte området for grønnluttanken under sodaovnene. Legg merke til betong med armeringskorrosjon. Kanalen fortsetter i dårlige funksjonerende rør utenfor fundamentene/veggene.

fuktige (jfr. Figur 23, Figur 24). Det vil si at det ikke er noe som hindrer saltinfisert fukt fra å stige opp i det porøse murverket og føre til forvitring. Kapillær oppstigning når inne en høyde på 2-4 m (høyden er et lokalt resultat av forholdet mellom kapillært sug og fordampning; forenklet: jo fuktigere det er jo høyere stiger fukten). Det er også stor saltbelastning på det utendørs murverket, forsterket ved at de nedre deler har relativt ny påstøp med tegl i sement, samt nye sementrike «pølsefuger», som tvinger fukten gjennom teglsteinen i stedet for fugene.

Den østre sodaovnen er også påvirket av fukten som drenerer rett inn i denne delen av Sodahuset. Teglsteinsgulvene i nærheten (ved den gamle natriumsulfat-dungen) er preget av salt, men også av frost – her er det betydelig telehiv om vinteren. Sodaovnen selv er ekstremt saltforvitret – og det kan komme av at det her er «dobbel» saltbelastning: I tillegg til vannsig fra NØ, ligger det inne i ovnen fortsatt mye svartstoff som naturligvis også blir fuktig og dermed gir salt til ovnsmurverket. Det er viktig å legge merke til at den vestre sodaovnen, som også har svartstoff inni seg, er i mye bedre stand, høyst sannsynlig fordi grunnen her er tørrere.

Den vestre veggen i Sodahuset er stort sett i bedre stand enn i nord, til tross for at den ligger lavere. Men her er fundamentet av granitt og teglmuren står stort sett over fuktige masser. Det betyr at forvitringen her trolig skjer i en kombinasjon mellom litt grunnfukt og direkte regnpåvirkning av de ytre, nedre deler av murverket, samt av en sannsynlig problematisk drenering langs veggen utenfor. For det er utvilsomt mye fukt her, nedenfor golvnivået, noe en kan se ved den lille, tilbygde strukturen (pumpehus) (Figur 40) innvendig langs vestveggen, sistnevnte er svært skadet av salt.

Det massive varpefundamentet er også sterkt skadet. Men her er det ikke først og fremst dagens fuktbilde en kan holde ansvarlig, selv om grunnfukt nok virker noe inn, da det sannsynligvis er et «vannsig» fra nordøst til sørvest i grunnen. Men fundamentet står litt «oppdøyd», trolig på en



kombinasjon av fjell og rester av den eldre sodaovnen (før 1909) som var plassert her. Fukten og saltet kom nok først og fremst fra lekkasjer i de roterende delene under driften. Siden teglkonstruksjonen er massiv, har den et stort potensial til å bli påvirket av kondens, som tidligere nevnt.

### 3.4.2 Luthuset

Den betydelige fukten i kjeller og vegger i det saltinfiltrerte Luthuset kommer i hovedsak fra skrenten på nordsiden av den vestre delen av huset. Her er det store problemer med drenering, både i forbindelse med drensledningen som går på skrått over plataet fra Sodahuset, og drens som er lagt ned langs veggene både til Sodahuset og nordveggen på Luthuset. Problemene fører til jevnlig overvann i de nederste deler av kjelleren, og det er også fuktinnsig i de høyreliggende deler av kjelleren, under de fire bakre lutkarene som i alle fall delvis er fundamentert på fjell.

Saltet/fukten går høyt opp i alle veggene her, men i de høyere deler er det nok også påvirkning av eldre og pågående lekkasjer, således f.eks. i den svært skadde vestgavlen og i området på «baksiden» av sodahuspipa, der det nå er påvist lekkasjer som er under utbedring. Tilsvarende gjelder sørveggen mot Remkanalen, der det er sterk forvitring på begge sider av veggen. En del fukt her kommer sannsynligvis fra taket over kanalen.

### 3.4.3 Fyrhuset

Fyrhuset har som nevnt en egen saltkilde, røykgassene fra brenning av kull/koks og olje, som gikk ut i bakkant av den store ovnen/dampkjelen og opp skorsteinen. Disse vil ha gitt saltbidrag (sulfat/gips), ved lekkasjer fra pipa – og det er også tydelig saltforvitring i de nedre deler av utvendig murverk på pipa i dag. Men de altoverveiende typene av salt i fyrhuset er de samme som ellers i fabrikkens, dvs. natriumsulfater og -karbonater.

Dette betyr at hovedkilden til saltene trolig er med vannsigtet fra Sodahuset og Luthuset. Det er altså den dårlige dreneringen som er hovedproblemet, og ikke minst at det stikker ut berg i den indre, nordre delen som vannet renner ned langs. Her er det for øvrig utført påstøp av betong for å sikre stabilitet, noe som også er tilfelle langs vestveggen ute; sistnevnte tvinger saltene høyere opp i murene. Vi husker at det fortsatt er store mengder sulfat i vannet under Sodahuset – i driftstiden vil det ha vært enda høyere konsentrasjoner. Mye av dette vannet har trolig i lange tider havnet nettopp her nede i Fyrhuset, mye sikkert også i de vestre deler av Luthuset.

En annen sannsynlig kilde til salt er restene som fantes i mesakalken som tidlig i fabrikkens historie ble dumpet rett nord for Fyrhuset. Men her dreier det seg om en kilde som avtok etter hvert som saltene ble vasket ut av regnvann. Vi har ikke funnet salt i de øvre deler av mesadungene i dag.

### 3.4.4 Kokeriet

At det foregikk spill og lekkasjer fra de store koketankene i Kokeriet kan man slutte av at det i golvet nede i kjelleren er anlagt kanaler for å ta unna det sterkt lutholdige vannet. Det kommer derfor som en overraskelse at bevaringstilstanden til Kokeriet er forholdsvis god. Selvsagt er det en god del salt langs veggene, spesielt nordveggen og ved massetroa langs sørveggen. Men det kan ikke sammenlignes med Soda-, Lut- og Fyrhuset.

Forklaringen er etter all sannsynlighet at det er ganske tørt i Kokeriet, også i kjelleren. Her er det ikke registrert mye fuktinnsig, annet enn i det nordøstre hjørnet, der det stikker ut berg og der det er gjort utbedring av stabilitet med påstøp av betong. Kokeriet ligger i all hovedsak nede på sletta langs Svartelva, der det er rimelig god drenering av overflatevann – samt gode granittfundamenter.



*Figur 73: Dreneringsarbeider ved nordveggen på Fyrhuset ca. 1989. Som vi ser er det svært fuktig Er det fukten man har villet hindre med tidligere betongpåstøp?*



*Figur 74: I det nordøstre hjørnet av Fyrhuset er det utført betydelige, nyere sikringsarbeider med betong. Mye fukt siver inn her. Sist gang det var overvann på golvene i Fyrhuset var i 2020.*



Det er imidlertid en overraskelse at det opptrer intens saltforvitring høyt oppe i det nordøstre hjørnet i Kokeriet, som over nevnt (Figur 58), over/bak trappesystemet og der det er tilgang mellom Kokeriet, via Remkanalen til Luthuset. Forklaringen her ligger trolig i at det her er plassert rør som brakte kokeluta til eller fra gjenvinningsanlegget.

Denne situasjonen er sannsynligvis et godt eksempel på de større og mindre soner med saltforvitring som finnes i hele fabrikken, men som en ikke alltid kan umiddelbart forklare. En må ha et oppmerksomt øye for det intrikate rørsystemet som brakte kjemikaliene rundt i fabrikken – og også for større dampmengder, som kan ha transportert en del salt oppløst i dråpeform. Overskuddsdamp fra Kokeriet ble f.eks. brukt som varmekilde rundt om i fabrikken.

#### 3.4.5 Øvrige deler av fabrikken – Silhuset, Hollenderiet og Papirmaskinhallen

I Kokeriet ble saltholdig cellulosemasse samlet opp i den såkalte massetroa. I de nære omgivelsene til massetroa er det en del forvitring, men siden det ikke er store fuktmengder fra grunnen i dag, så har ikke forvitringen utviklet seg til et stort problem her.

Det samme gjelder Silhuset. Det er salt «overalt» i denne bygningsdelen, men først og fremst knyttet til vegger og grunn nær selve installasjonene for siling. Cellulosen ble skylt med vann og tappet for restkjemikalier i Silhuset. Men siden dreneringen både i driftstiden og nå i museumstiden virker å være rimelig bra, så har ikke saltene bidratt særlig til forvitring av bygningsmassen. Mye av disse kjemikaliene gikk via oppsamlingstank til Svartelva, nevnt over. I et historisk perspektiv er det kanskje Silhuset som har stått for den største forurensningen til Svartelva.

Hollenderiet og Papirmaskinhallen har lite saltforvitring. Men det finnes saltforekomster, i hovedsak langs vegger som grenser til Kokeriet og Silhuset. Papirproduksjonen i hallen ga fra seg noe salt, gjennom alt vannet som ble avgitt i produksjonen. Men saltmengdene er helt underordnet hva som ble «produsert» i øvrige deler av fabrikken.

### 3.5 Forvitringen i lys av klimaendringer

Det er for fremtiden varslet høyere temperaturer og mer intens nedbør over kort tid (se «Klimaprofil Hedmark», <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/hedmark>). Positivt for Klevfos kan være mindre frostforvitring, uten at vi i dag kan vurdere dette i detalj. Mulige hyppigere sykluser omkring frysepunktet kan virke negativt i forhold til det vanlige, tørre innlandsklimaet en har hatt på Klevfos, med kalde vintre og en årsnedbør på bare snau 600 mm. Høyere temperaturer og mer intenst regn er av åpenbar betydning for saltforvitring. Det vil føre til høyere risiko for fuktinntrengning og heftigere fordampning, begge negativt når det gjelder saltforvitring.

Her er det viktig å rekapitulere sommeren 2018, den 6. tørreste som er registrert siden 1900, med varme og tørke fra mai, avløst av regnvær i juli og senere mer varme og tørke (se klimadiagrammer i kap. 4), før høsten ble fuktig. På Klevfos observerte man sterkere forvitring denne sommeren, noe som er naturlig så lenge det er fukt i grunnen. Vannet vil fordampe heftig når det er tørt og saltkrystallasjonen kan da også bli heftig.

Når det gjelder nedbør, så anbefaler Meteorologisk institutt/Norsk klimaservicesenter (<https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/hedmark>) et såkalt «klimapåslag» på minst 40% på dimensjonerende nedbør med kortere varighet enn 3 timer. Dette har betydning for alle strukturer som skal lede bort vann – takrenner, nedløp og ikke minst drenering i grunnen.

## 4 Begrensning av saltforvitring

Observasjonene og analysene viser med all tydelighet at det er de usedvanlige mengdene med salt, samt fukt i store deler av fabrikken som er hovedårsakene til den sterke forvitringen. Reduksjon av grunnfukt og overflatevann er helt essensielt og skal videreføres i et eget kartleggings- og utbedringsprosjekt («Vannets veier») i regi av Anno Klevfos. Derfor tas ikke dette temaet opp til videre diskusjon i dette kapitlet om begrensning av saltforvitring.

Det er videre åpenbart at mange deler av fabrikken trenger direkte og irreversible inngrep som utbygging av svært skadde teglsteinspartier og sanering av skadde betongkonstruksjoner, mye av dette er nødvendig for opprettholdelse av stabilitet – likeså større sikringsarbeider for installasjoner. Det er også åpenbart at normalt bygningsvedlikehold, inklusive reparasjon av lekkasjeutsatte partier, må opprettholdes på intensiv, permanent basis. Videre er det allerede igangsatt et program for omfattende fjerning av tusenvis av kilo saltinfiserte masser i spesielt Sodahuset og Luthuset (med mikseriet). Alle disse temaene er tatt opp i hovedrapporten fra Kunnskapsprosjektet.

Dette kapitlet dreier seg om hvilke øvrige praktiske indirekte og direkte, reversible og irreversible metoder en har til rådighet for å begrense mengden salt i murverk og for å redusere saltenes aktivitet, dvs. begrense omfanget av krystallisering av salt. Det tas altså for gitt og kommenteres ikke videre, at kildene til salt og transport av salt med fukt blir redusert så langt det praktisk lar seg gjøre.

Først gis det en oversikt over tilgjengelige metoder, deretter beskrives i kapittel 5 et større antall forsøksfelter med ulike metoder satt opp høsten 2020 og som har vært overvåket i ca. ett år.

### 4.1 Metoder for å begrense saltenes skadelighet

I tillegg til de forebyggende metodene, har man i praksis fem hovedmetoder for å begrense skadeligheten til salt som allerede er i murverket (se [https://www.saltwiki.net/index.php/Conservation\\_Measures](https://www.saltwiki.net/index.php/Conservation_Measures)):

- Desalinering, eller å trekke ut salt, ved hjelp av innpakninger (med f.eks. leire) og ulike typer offerpuss
- Desalinering med elektrokjemiske metoder
- Konvertering av salt ved kjemisk endring til potensielt mindre skadelige salttyper
- Hindre fukt fra grunnen ved innsetting av fuktsperrer
- Stabilisere inneklimate slik at saltenes aktivitet reduseres. Dette er egentlig en forebyggende metode, men behandles her fordi den i et anlegg som Klevfos krever store investeringer

Desalinering med innpakninger er helst en «engangsmetode» for mindre objekter og behandles ikke videre her. Elektrokjemiske metoder anses som nokså usikre, krever betydelige inngrep og behandles heller ikke. Også saltkonvertering er en uskikker metode, men den har tidligere vært testet på Klevfos og tas derfor med. Da står en igjen med offerpuss, saltkonvertering, inneklimatestabilisering og kapillærbrytende sjikt.

### 4.2 Offerpuss

Bruk av offerpuss er den vanligste metoden for å trekke salt ut av murverk, for å beskytte murverket bak ved å «ofre seg» til forvitring. Alle pusser kan jo egentlig anses som offerpusser, om det dreier seg om «værhuden» utenpå en bygning eller pusser innvendig. Det er fordi alle pusser med tid og stunder blir så skadde at de repareres eller fornyes, de blir helt eller delvis «ofret» for å ta vare på selve det bærende murverket – det er bare et spørsmål om tid. Men de færreste pusser «deklarerer»





Figur 75: Rester av opprinnelig puss i det nordvestre hjørnet av Sodahuset. Det dreier seg om en enkel puss på kalkbasis, men mulig med en liten sementtilsetning. Pussen er godt bevart der det ikke er mye salt.

som offerpusser, det er en betegnelse som i dag stort sett blir forbeholdt puss som påføres med hensikten å ta opp salt (og fukt) i pussene eller la saltene krystallisere på overflaten (og der jevnlig fjerne dem og frakte dem bort) – i stedet for at saltene fortsetter å krystallisere på/i murveggene.

I snever forstand var ikke de opprinnelige, kalkbaserte pussene på nesten alle vegger innvendig på Klevfos noen offerpusser – men de fungerte likevel på denne måten, inntil de ble så skadd at de falt ned, mest der det var mest salt (eller frosten kan noen steder ha tatt dem). Selv om de her og der har blitt fornyet, så har ikke dette vært med den hensikt å ta opp salt – det har mer vært for å «styrke» murene ved bruk av mer og mer sementholdige pusser.

I streng forstand er ikke offerpusser reversible. Det kan følge med fragmenter av underliggende, skadd murverk når pussene blir skadd og må helt eller delvis fjernes og deretter repareres. Men uten puss vil murverk med salt brytes ned raskere enn med puss. Dette vil ofte gi enda større tap. En må altså vurdere den aktuelle situasjonen – og alltid ha i mente at det ikke er mulig å stoppe nedbrytning og forvitring. Det er entropiens lov, det er kun mulig å senke hastigheten på forvitring.

Offerpuss brukes gjerne i de mest skadde sonene eller sonene med mest salt. Det kan bli et dilemma om en skal pusse hele veggen eller kun de skadde sonene. På Klevfos kan dette illustreres ved at fragmenter, ofte større flater, av opprinnelig eller eldre puss er bevart i de øvre deler av veggene, mens de nedenfor er forvitret bort. På høyere/midtre deler av veggene er det ofte få skader å spore, i alle fall om en sammenligner med nedre deler. Skal en da pusse alt? Her er det viktig å bemerke at der pussene nå er borte, om det er lavt eller høyt, så har den blitt offer for forvitring, først og fremst på grunn av salt, noen ganger også på grunn av frost. Pussen har «ofret seg» og det vil si at forvitringen går sin gang også på murflater som ved første øyekast ser nokså bra ut.

En har også estetiske hensyn å ta. Teoretisk kunne en benytte offerpuss som et «lappverk» på de mest saltskadede deler av en vegg, noe som også ville gi besparelser i tid og penger, i alle fall på kort sikt. Men de fleste vil være enige om at slik behandling ikke er estetisk tilfredsstillende, og det ligner heller ikke slik Klevfos sto i driftstiden, nemlig at så godt som alle innvendige murer var pusset.

Her er det altså spørsmål om autentisitet. «Lappverk» legger vekt på materiell autentisitet, dvs. å prøve å bevare så mye som mulig av det overleverte murverket med overflate så lenge som mulig, selv om man vet at det med tid og stunder ødelegges. Å følge tradisjonen legger vekt på prosessuell autentisitet, dvs. at man gir veggene et tilsvarende uttrykk som de har hatt. Prosessuell autentisitet handler også om håndverk og materialvalg. Ideelt vil man benytte tilsvarende materialer og tilsvarende håndverksprosesser som det man kan lese av veggene eller som man har historiske opplysninger om.

På Klevfos er man i så måte i en gunstig situasjon, i og med at man kjenner mange av de opprinnelige pussmørtlenes sammensetninger og kan gå ut fra at det ble benyttet lokalt/regionalt brent kalk, noen ganger med «en neve» Portlandsement som hydraulisk tilsats, samt natursand fra nære sandtak. Men man vet ikke hvordan pussene ble tilberedt/blandet – fra hydratkalk eller som varmesket mørtel (hotmix) ved bruk av stykkalk. Uansett virker de opprinnelige/eldre, nokså enkle pussmørtlene (noen ganger i ett sjikt, noen ganger to), slik de opptrer på Klevfos, å være nokså gunstige også som offerpusser. Men det er ikke sikkert de er like «effektive» til å trekke ut salt av murverk som egenproduserte spesialmørtler eller dyre spesialblandinger i salg i dag. Det er fordi slike mørtler kan ha spesialtilpasset porestruktur for å trekke ut eller «oppmagasinere» salt.

Samlet sett er vi ikke i tvil om at det ut fra tekniske, verdimeslige og estetiske hensyn vil være mest gunstig å pusse hele murflater og dermed gi fabrikken «tilbake» det pussede preget den en gang hadde innvendig. Vi er heller ikke i tvil om at det fra et tradisjons-perspektiv vil være best å pusse veggene med noenlunde samme mørtel som en finner bevart på veggene. Tilpasninger kan være nødvendige når en også skal ha for øyet at pussens hovedfunksjon i dag skal være å trekke ut salt. Dessuten er det viktig å ha et øye for enkelhet i både materialvalg og blanding av mørtel. Det er store flater som skal pusses, ofte på litt vanskelig tilgjengelige steder, i størrelsesorden opp til kanskje 2000 kvadratmeter – og som senere skal vedlikeholdes jevnlig. Da vil det være formålstjenlig å bruke en puss som man opplever som enkel å jobbe med og gir best mulig kost/nytte.

Og kanskje viktigst: Det er helt sentralt at alt salt som danner seg på pussflatene jevnlig skal fjernes (børsting, støvsuging), gjerne når saltene krystalliserer som mest, ofte fra vinteren til sommeren. Det kan være arbeidskrevende og her må det etableres faste rutiner. Dette er essensielt for å på sikt redusere saltinnholdet i murverket og grunnen – og derfor må saltene deponeres vekk fra fabrikken, så de ikke igjen kan gjøre skade. Dette er imidlertid på ingen måte «giftige» eller problematiske masser i et videre miljøperspektiv. Og så må naturligvis offerpussen fornyes og repareres når den blir skadet og ikke lenger opprettholder sin funksjon.

### 4.3 Saltkonvertering

Saltkonvertering impliserer å injisere kjemiske stoffer i murverket, andre typer salter enn de som finnes fra før. Hensikten er å kjemisk konvertere de eksisterende saltene til potensielt mindre skadelige salter.

Metoden er på generell basis irreversibel, ikke forenlig med tanker om materiell og prosessuell autentisitet – og kontroversiell i fagkretser. Et av ankepunktene er at slik injisering/konvertering kan ha uante følgeeffekter. Et klassisk eksempel, selv om det ikke har saltkonvertering som hovedmål, er fjerning av kalkskorper med saltsyre, dvs. at kalsiumkarbonatet i skorpene blir effektivt løst opp, men



også at klorid fra syren trekker inn i murverket. Her vil kloridet reagere med tilgjengelig kalsium og andre stoffer, f.eks. natrium som kan komme fra bygningsmaterialene. Da får man dannet kalsiumklorid ( $\text{CaCl}_2$ ) og natriumklorid ( $\text{NaCl}$ ) som i mange situasjoner gir murverket uønskede hygroskopiske egenskaper og skaper aktiv saltforvitring, spesielt innendørs.

En metode som er relativt mye benyttet er den såkalte bariummetoden (bruk av bariumhydroksid) for å konvertere gips til bariumsulfat. Dette er et tungt løselig mineral som ikke gir mye skader, selv om det også her er rapportert uønskede følgeskader. I praksis er metoden kompleks og best egnet for mindre objekter. Den har f.eks. vært brukt på kalkmalerier. På Klevfos er den uaktuell fordi den handler om å få bort gips, som ikke er noe betydelig problem i fabrikken.

På Klevfos oppdaget Morten Hjarnø for noen år siden at injisering av sterkt saltbelastet murverk med kalsiumklorid og magnesiumklorid (som bl.a. brukes som veisalt) ga mye mindre utblomstrende salt. Flere forsøk ble startet i samarbeid med Mycoteam, NIKU og SINTEF og større prøvefeltet finnes oppsatt i Motorhuset. Hovedtanken var å danne gips, magnesiumsulfater, magnesiumkarbonater og kalk som potensielt er mindre skadelige enn de eksisterende saltene, noe som ifølge våre analyser også har skjedd (se vedlegg). Men både i teori og praksis dannes det også natriumklorid (eller evt. andre klorider) – altså salt som kan ha stor skadevirkning. Det er funnet krystalliserende natriumklorid ved våre analyser.

Et viktig praktisk forhold som ble observert, var at det er enklere å injisere magnesiumklorid enn kalsiumklorid. Derfor ble magnesiumklorid benyttet i ekstraforsøkene som en del av forsøksprogrammet i Kunnskapsprosjektet, og som er rapportert senere i rapporten. De forenklete reaksjonsligningene er:  $\text{NaSO}_4 + \text{MgCl}_2 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{NaCl}$  /  $\text{NaCO}_3 + \text{MgCl}_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 + \text{NaCl}$



Figur 76: Forsøksfeltene for saltkonvertering i Motorhuset med sine forvitrede vegger. Det er veggene mot Luthuset som er sterkest skadd. Legg merke til de store fatene med kloridløsning for injisering via slanger til borte hull i teglstein. Forsøksoppsettet er nå fjernet.



Figur 77: Whiskerkrystaller av halitt ( $\text{NaCl}$ ) funnet på vegger behandlet med kalsium- og magnesiumklorid i Motorhuset. Sett i polarisasjonsmikroskop, enkeltpolarisert lys.

Et tilleggsproblem er at omfattende bruk av klorider naturlig vil gi økende rustproblemer om veggene er i kontakt med stålkonstruksjoner. Siden det er så mye stål i fabrikken, så er det utelukket at slik saltkonvertering kan utføres i annet enn spesielle tilfeller der en har kontroll på utbredelsen av kloridene.

Dessverre ble ikke selve forvitringen – dvs. om forvitringen ble mer eller mindre aktiv – godt registrert i prøvefeltene i Motorhuset, men det ble gjort visuelle observasjoner av saltmengder på overflatene. Her kunne også vi observere at saltmengdene var mindre, men ikke borte, på behandlede overflater. Dette skyldes sikkert at natriumsulfater og -karbonater ble omdannet, men det er også sannsynlig at de opprinnelige saltene blir sterkt påvirket av de hygroskopiske overflatene som oppstår. Kalsiumklorid og magnesiumklorid er svært hygroskopiske (ca. 30-35% RH), natriumklorid (ca. 65-75% RH) mye mindre; dette er salter som har vesentlig lavere likevektsfuktigheter enn de opprinnelige saltene. De opprinnelige saltene vil altså ha lettere for å bli holdt i løsning etter behandling med kloridsalter. Kloridsaltene tiltrekker ganske enkelt mye fukt.

Natriumklorid krystalliserte imidlertid i tørrere perioder og vil bidra til forvitring. Dessuten må man huske på at det i veggene vil være fortsatt tilførsel av opprinnelige salter med fukten. Dette betyr i praksis at injisering stadig må «fornyes».

#### 4.4 Stabilisering av inneklime

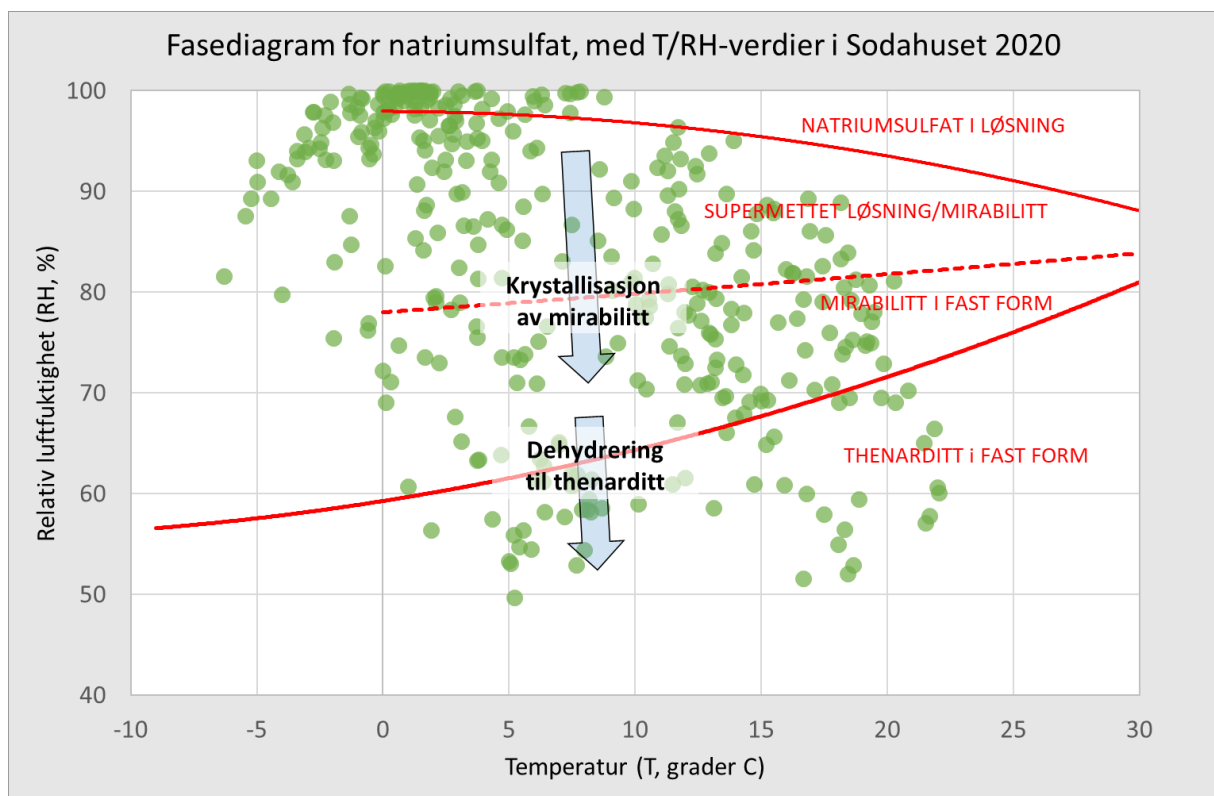
Når saltinfiserte masser er fjernet, overvann og drenering er under kontroll og fabrikken forhåpentligvis etter en tid viser positive tegn til å tørke opp, og når offerpusser etter hvert gjør sin virkning, er det aktuelt å stabilisere inneklime. Som vi vet er dagens inneklime i mesteparten av fabrikken helt kontrollert av det sterkt varierende uteklime.



Det store spørsmålet er hvordan inneklimate kan stabiliseres for å begrense skadene. For å svare på dette må vi tilbake til teori og observasjoner av forvitringen. Vi har tidligere sett at natriumsulfater og sannsynligvis også natriumkarbonater, samt kombinasjoner av disse to mest skadelige saltene på Klevfos, krystalliserer svært aktivt når det er relativt fuktig og kjølig i fabrikk. Når luftfuktigheten synker fra ekstremt høye verdier til ned mot 60-70% får vi intens forvitring, dvs. ved krystallisasjon av mirabilitt og natron.

Men det skjer også betydelig forvitring når fuktigheten synker under ca. 60% og det blir varmere i været. Da dehydrerer de over nevnte saltene ved komplekse prosesser til thenarditt og thermonatritt. Dessuten får vi svært betydelig forvitring når det blir virkelig varmt og tørt om våren/sommeren (som i 2018); dog er dette trolig i høy grad knyttet til sterk uttørking av den fuktige grunnen, høy fordampning og «primær» krystallisasjon av mirabilitt og thenarditt, med påfølgende, rask dehydrering. Dette siste fenomenet vil trolig bli vesentlig forbedret om en etter hvert kan få overvann, grunnfukt og drenering under kontroll.

Når det igjen blir fuktigere i været mot høsten, stiger luftfuktigheten og saltene går i oppløsning, men aldri helt. Det er fordi det er store mikroklimatiske forskjeller innad i fabrikk og det målte fukt-nivået kan ikke uten videre brukes på hvert enkelt sted med store eller små saltforekomster. Utover vinteren starter en ny «hovedsyklus» med krystallisasjon og dehydrering. Innad i slike hovedsykluser vil det foregå kortere sykluser, avhengig av det aktuelle værslaget. Men det er altså i hovedsak de sesongmessige endringene i værslaget som trigger sykluser av krystallisering og dehydrering. Det vil si at klimatisering innebærer å «glatte ut» endringene, slik at forvitringen begrenses.



Figur 78: Fasediagram for de ulike former for natriumsulfat, med plotting av døgnverdier for temperatur og relativ luftfuktighet i Sodahuset i 2020. Vi ser tydelig at det er så fuktig i Sodahuset at saltene enten vil være i en såkalt supermettet løsningsform, dvs. i praksis svinge litt fra oppløst til i krystallin form, eller i form av mirabilitt. Det er et stort potensial for saltskader ved svingninger fra 60-70 til 90-100% luftfuktighet og ca. 0 til 15 graders temperatur. Men når temperaturen ligger på 5-20 grader og fuktigheten på ca. 60% eller under så er forholdene midlertidig relativt stabile, med thenarditt som viktigste salt.

Teoretisk kunne en ha holdt relativ luftfuktighet på et konstant, svært høyt nivå, over 80%, slik at saltene var i løsningsmesteparten av tiden, dvs. krystalliserte og dehydrerte så lite som mulig. Dette kunne en ha gjort ved tilførsel av fukt i tørrere perioder, noe som innebærer at aktuelle bygningsdeler måtte ha blitt bedre tettet enn i dag, for å unngå at tilført fukt blir ventilert ut. Her skal det skytes inn at fabrikken i dag er godt ventilert: Til tross for de nåværende fuktige forholdene, så viser beregninger av absolutt fuktighet (vanndampmengden i lufta) at den bare er i snitt ca.  $1 \text{ g/m}^3$  høyere inne enn ute (se diagrammer under). Fukten som tilføres fra grunnen blir altså raskt ventilert ut (se klimadiagrammer under).

Men klimastabilisering med høy RH er ikke fornuftig på Klevfos, og har blitt tilbakevist også i andre sammenhenger med tilsvarende saltforvitningsproblemer, om ikke så heftige, bl.a. på det massive festningsanlegget Suomenlinna utenfor Helsinki. Konstant høy RH ville på Klevfos ha medført et økt skadepotensial, først og fremst på metallinstallasjonene, fordi det ville ha gitt enda større problemer med kondens og rust, da doggpunktet ville ha vært overskredet mesteparten av tiden. Faren for å få problemer med biologisk vekst (muggsopp, alger osv.) ville trolig også ha blitt høyere, til tross for det relativt «sterile», saltinfiserte miljøet – der en i dag ikke kan registrere biologisk vekst visuelt. Dessuten vil man aldri klare å holde luftfuktigheten veldig konstant rundt 80%; det vil bli noe fluktusjon, fra nær 100 til kanskje 70%, og dette er – notabene – i et område hvor krystallisasjon av f.eks. mirabilitt fortsatt i stort monn kan og vil skje. Det er spesielt på grunnlag av sistnevnte, men med natriumkarbonat som hovedsalt, at en ikke valgte høy luftfuktighet som bevaringsstrategi på Suomenlinna.

Vi må altså heller tenke oss en strategi for å holde fuktigheten lav, rundt 50-60% mesteparten av året. Med grunnfuktproblemene under kontroll, ville en da stort sett ha kunnet holde saltene i dehydrert form året rundt. Men om grunnfuktproblemene ikke skulle være under kontroll, så vil denne metoden være potensielt risikabel – da kan en få en konstant tørr «sommersituasjon» (som i 2018, se over, og klimadiagrammer under, Figur 80-Figur 87), og høy fordampning av stadig tilført fukt som gjør at saltene kan krystallisere heftig. Dette understreker at en ikke bør sette i gang klimastabiliserende tiltak før en har rimelig godt grep på «vannets veier».

Å holde fuktigheten på 50-60% kan en gjøre ved å øke temperaturen i den kalde årstiden, ved å installere et luftavfuktingsanlegg eller ved en kombinasjon (slik som i dag i Hollenderiet). En kombinasjon vil teoretisk være det beste, fordi man da vil få mindre kondens og redusert fare for frostforvitring, i tillegg til redusert fare for saltforvitring. Men å varme opp store fabrikklokaler er svært energikrevende og kostbart. Oppvarming vil dessuten kreve store inngrep for å isolere bygningene og kan komme i betydelig konflikt med bevaringsverdiene.

Derfor er det i praksis et luftavfuktingsanlegg som peker seg ut. Dette vil også innebære nye installasjoner i fabrikken, røropplegg osv., men det vil ikke være behov for isolasjon, kun lufttetting, noe som i seg selv kan innebære betydelige inngrep, men på langt nær så omfattende som isolasjon.

\*

Vi har bedt Hamstad AS om å dimensjonere et luftavfuktingsanlegg som kan fungere ned til -20 grader C og kan holde luftfuktigheten nede på 60% RH. Anlegget er ment for de verst saltskadede bygningsdelene, dvs. Sodahuset, Luthuset med Mikseriet og Fyrhuset. Tabellen under viser foreslått maskineri og dets maksimale teoretiske energiforbruk. Hamstad anslår en driftstid på ca. 25% av den maksimale kapasiteten, men understreker at det avhenger helt av fukttilgang og lufttetting. Den nåværende avfukteren i Hollenderiet er nå i drift 75% av tiden, men er innstilt på 40% RH som er lavere enn det som er hensiktsmessig de kalde delene av fabrikken.



Tabell 1: Foreslått luftavfuktingsanlegg fra Hamstad AS.

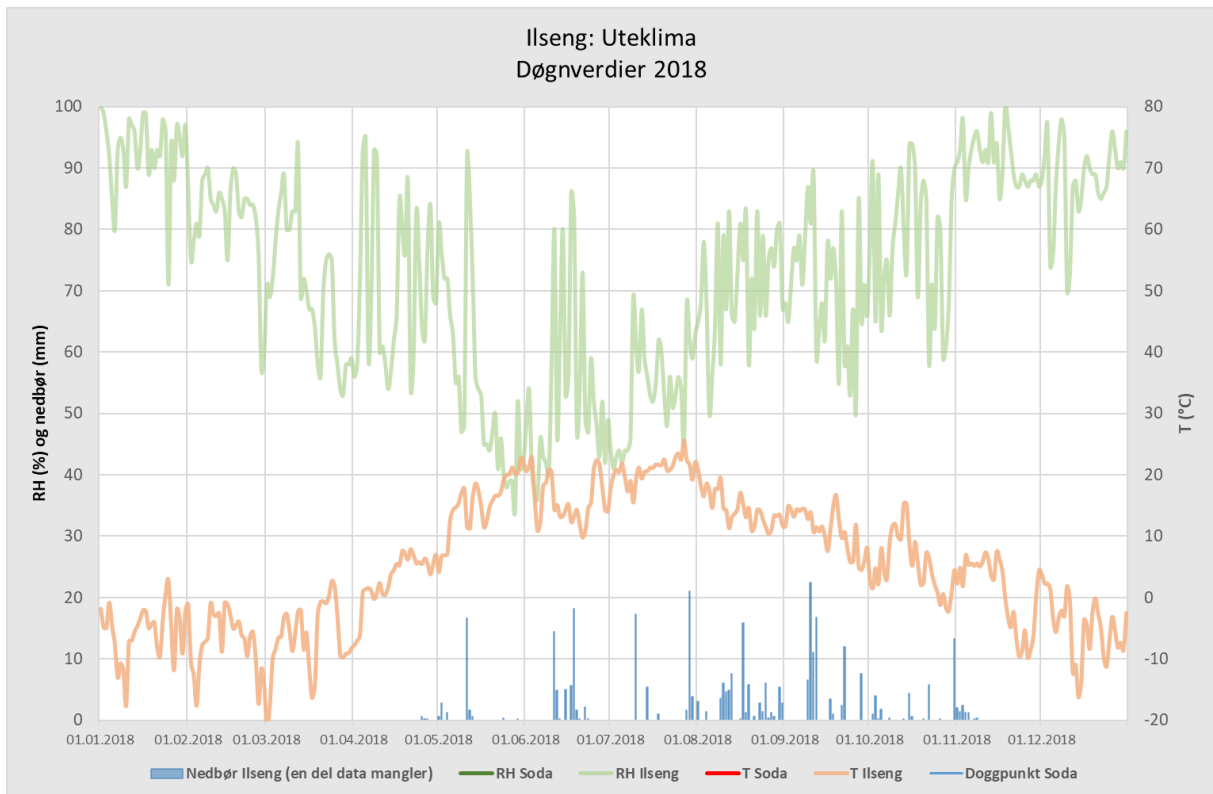
Bygningsdel	Luftvolum	Maskineri	Volum maskineri	Årlig maks. energiforbruk, kWh
<b>Sodahuset</b>	4540	Cotes C65 E 11	165 x 85 x 175	140 000
<b>Luthuset</b>	2140	Cotes C 35 5,6	55 x 80 x 110	70 000
<b>Fyrhuset</b>	1180	Cotes C 35 3,3	55 x 80 x 110	40 000
<b>Totalt</b>				<b>250 000</b>

En driftstid på 25% innebærer et årlig energiforbruk til avfuktning av Sodahuset, Luthuset og Fyrhuset på 65 000 kWh, med 50% er vi oppe i 130 000 kWh og med 75% nær 190 000 kWh. Det er stor risiko for at driftstiden for et nytt anlegg vil være 50% eller over. Dette innebærer et betydelig energiforbruk. Det finnes imidlertid muligheter for å produsere denne energien internt, ved et minikraftverk med vann fra Svartelva – og relatert til fabrikkens eget gamle kraftverk. Slike investeringskostnader er ikke beregnet. På lang sikt kan en gå ut i fra at et internt anlegg er både mindre kostnadskrevenende og bedre med hensyn til utslipp og miljø, i og med at Klevfos industrimuseum kan disponere de lokale fallrettighetene. Produksjonskapasiteten for et minikraftverk er i den størrelsesorden at behovet kan dekkes ved 50 prosent driftstid for et avfuktingsanlegg.

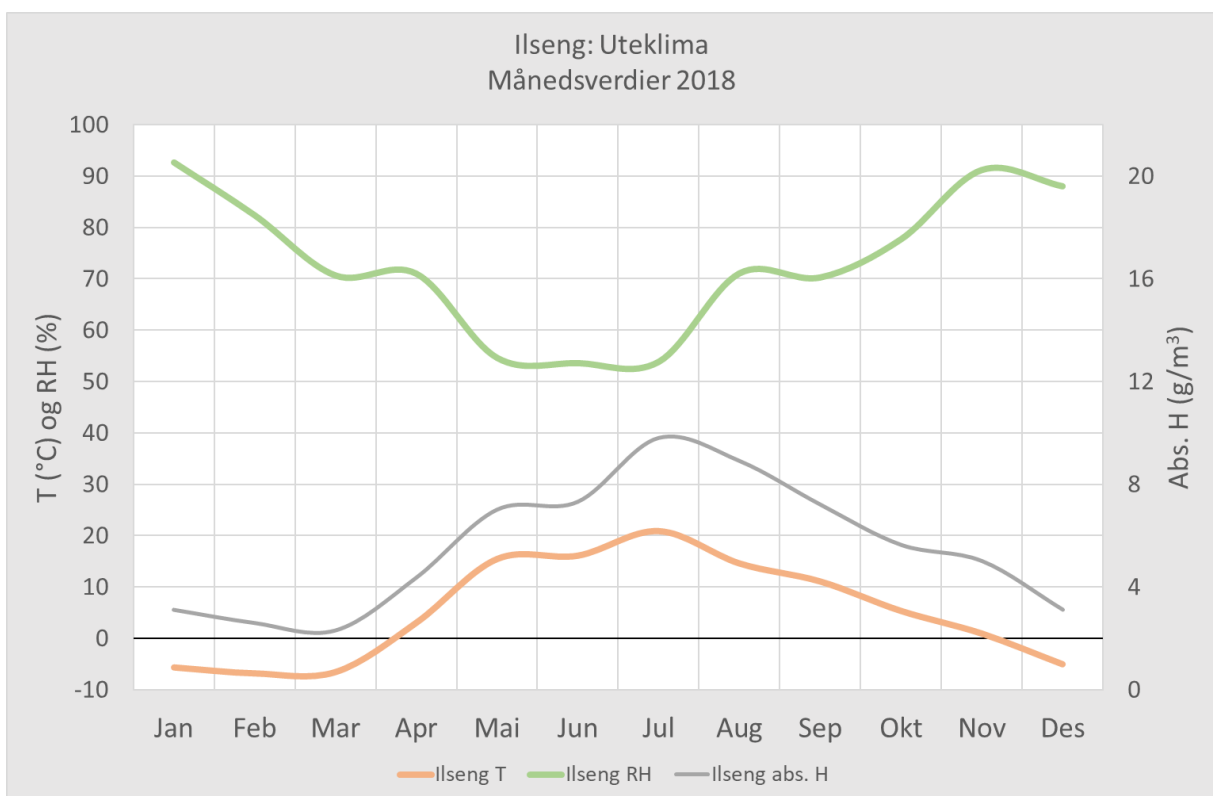
Klimakontroll vil på sikt også være også ønskelig spesielt i Kokeriet, men også i Papirmaskinhallen og Silhuset. Det er ikke regnet på energibehov ved klimatisering av disse sonene.



Figur 79: Dagens klimaanlegg for Hollenderiet er plassert på det såkalte limloftet. Her får man et inntrykk av de nokså begrensede dimensjoner det dreier seg om.

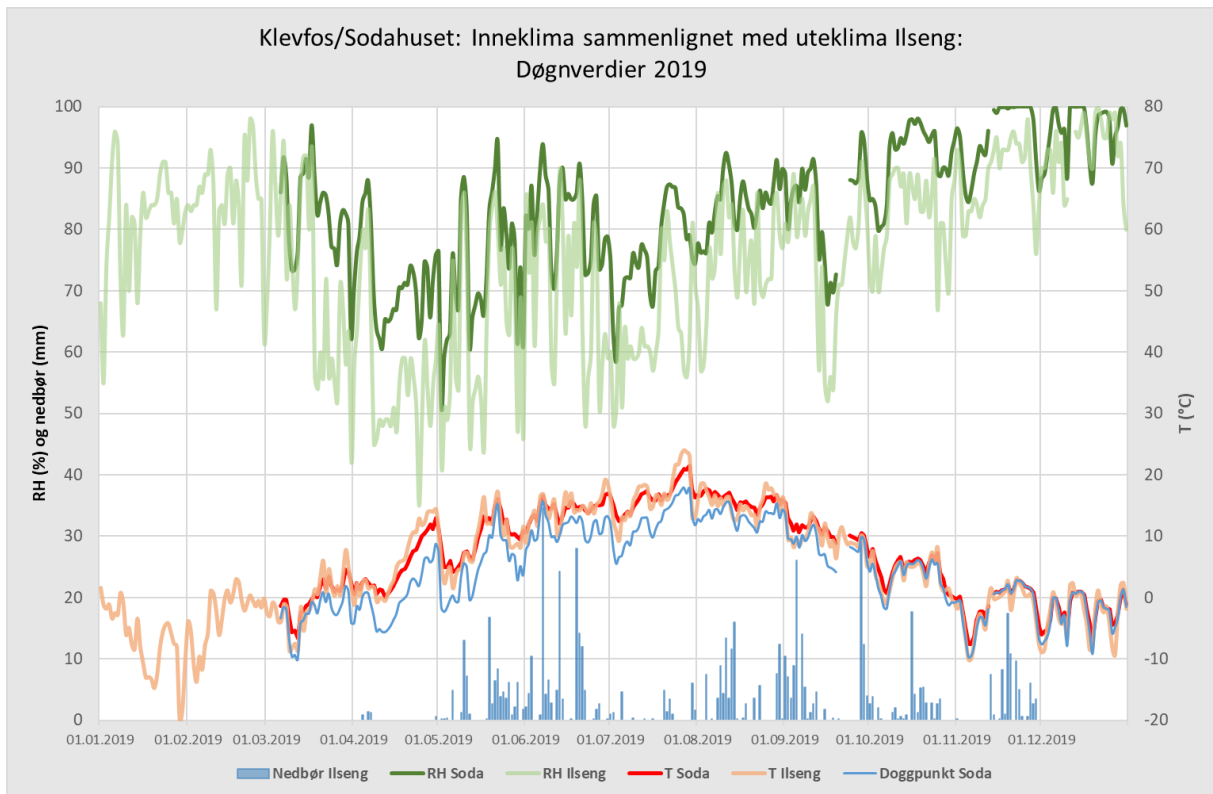


Figur 80: På denne og de følgende sidene er det vist spesialtilpassede klimadiagrammer for Sodahuset fra årene 2018 til 2021, sammenlignet med DNMI's værstasjon på Ilseng nær Klevfos (T, RH og nedbør). I 2018 hadde man ennå ikke klimaovervåkning i fabrikken, men dette året er tatt med fordi sommeren var ekstremt tørr og saltforvitringen i fabrikken tilsvarende voldsom. Det er senere ikke registrert slik intensitet i saltforvitringen i fabrikken. Data er bearbeidet fra <https://seklima.met.no/> og SD-anlegget i fabrikken. Dette diagrammet viser gjennomsnittlige døgnverdier.

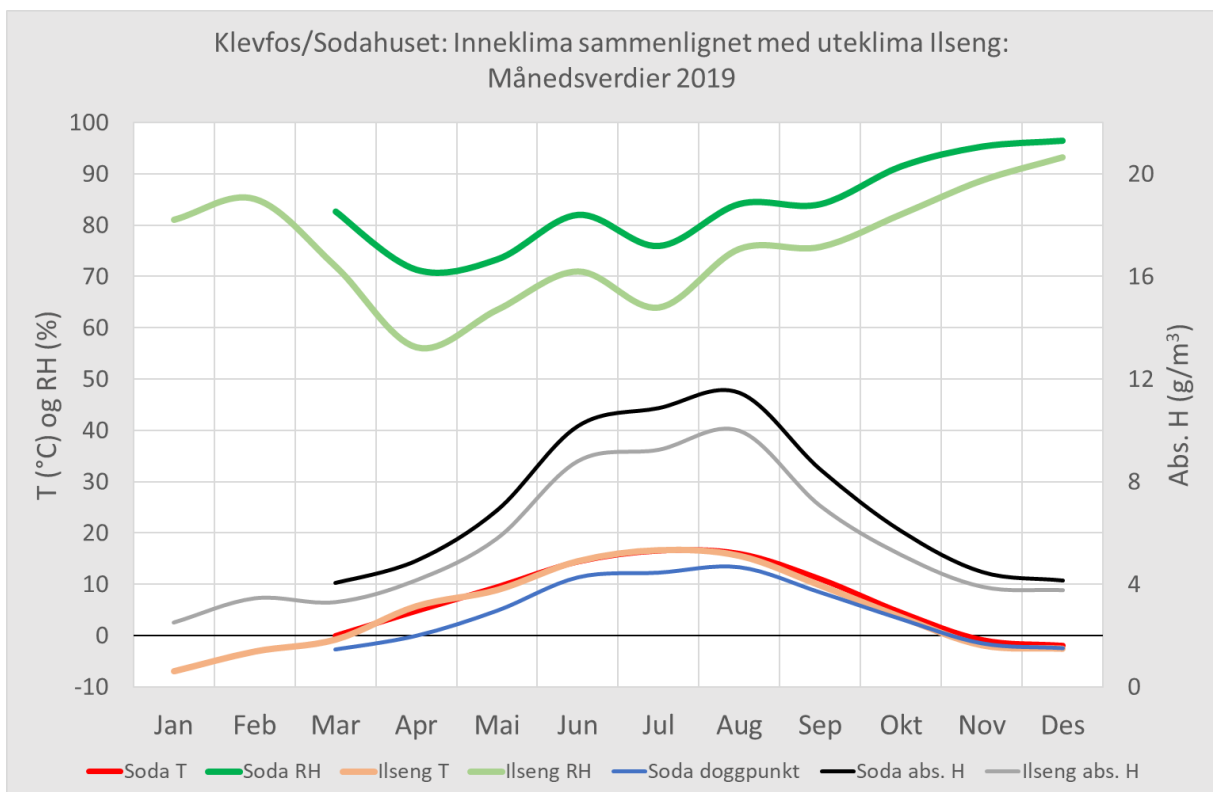


Figur 81: Tilsvarende diagram som over, men med gjennomsnittlige verdier på månedsbasis, også med beregnet absolutt fuktighet i luften. Den ekstremt tørre sommeren førte til at gjennomsnittlig RH lå på bare ca. 50% nesten 3 måneder i strekk.

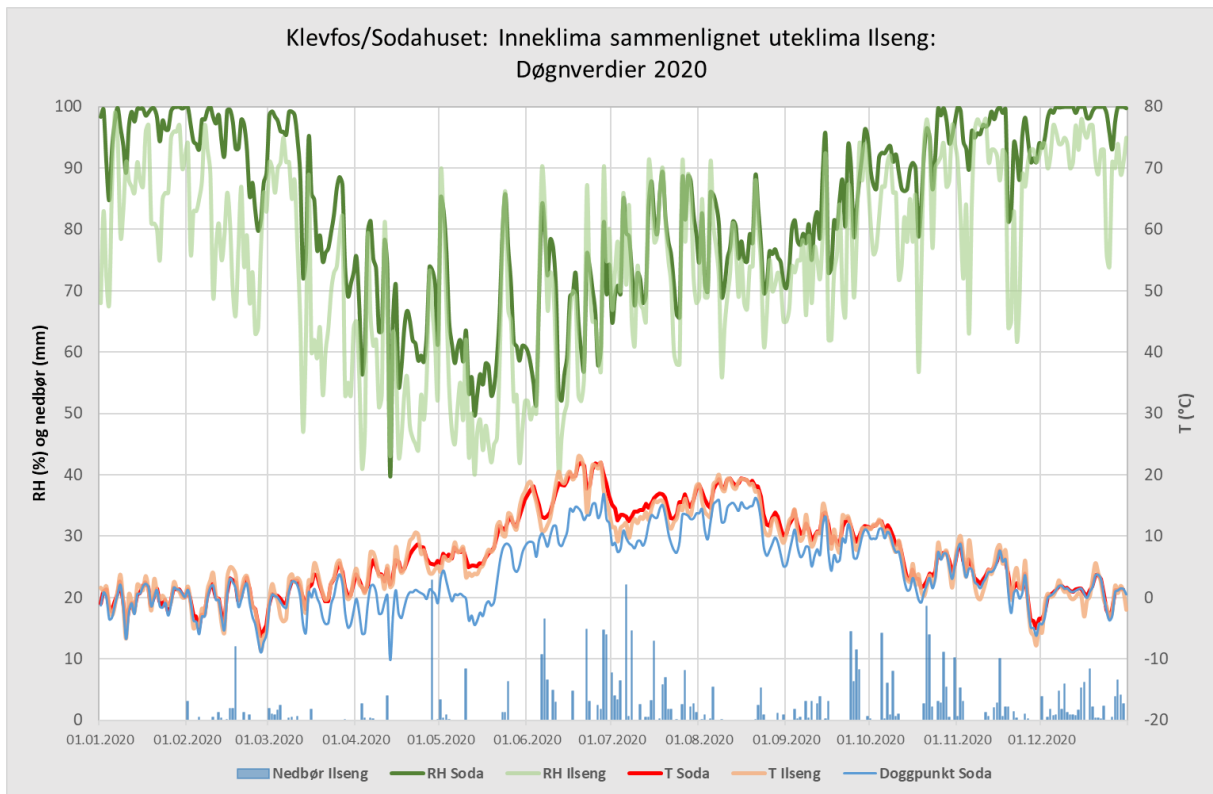




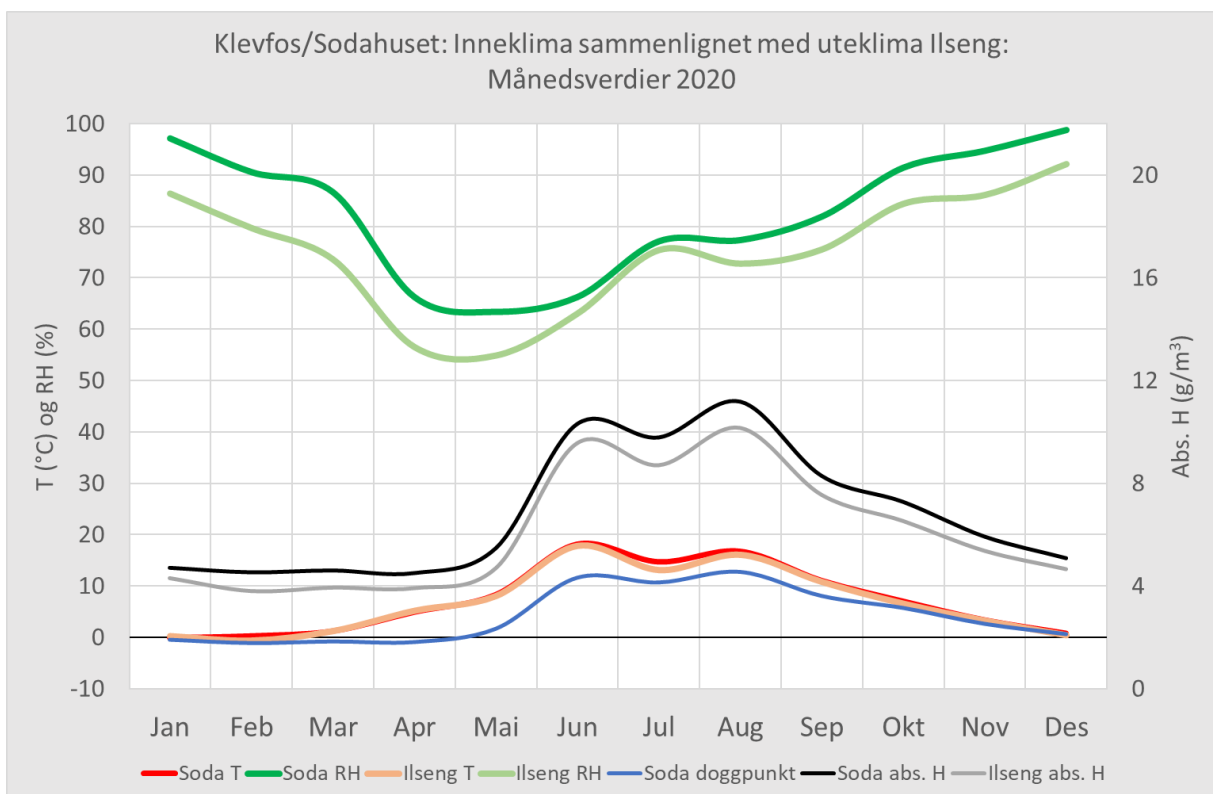
Figur 82: 2019 var et mye fuktigere år enn 2018, med en lang, kald periode på forvinteren. Med SD-anlegget nå i drift i fabrikken, kan vi også se at temperaturen i Sodahuset følger utetemperaturen svært godt, men at den er noe dempet i sommersesongen og litt høyere i den kalde årstid, noe som er normalt. Fuktigheten fluktuierer med utefuktigheten, men er høyere inne pga. fuktkildene. Forsommeren regnet bort og det var voldsomt høy luftfuktighet før jul!



Figur 83: Måneddiagrammet for 2019 gir et godt bilde av den høyere absolutte fuktigheten inne, det dreier seg bare om ca. +0,2-2 g/m<sup>3</sup> i forhold til ute, høyest om sommeren fordi fordampningen fra grunnfukten inne er høyest og ventilasjon pga. vind er lavest i denne årstiden. Gjennomsnittlig RH på månedsbasis kom inne aldri under ca. 70%. Det er høyt.

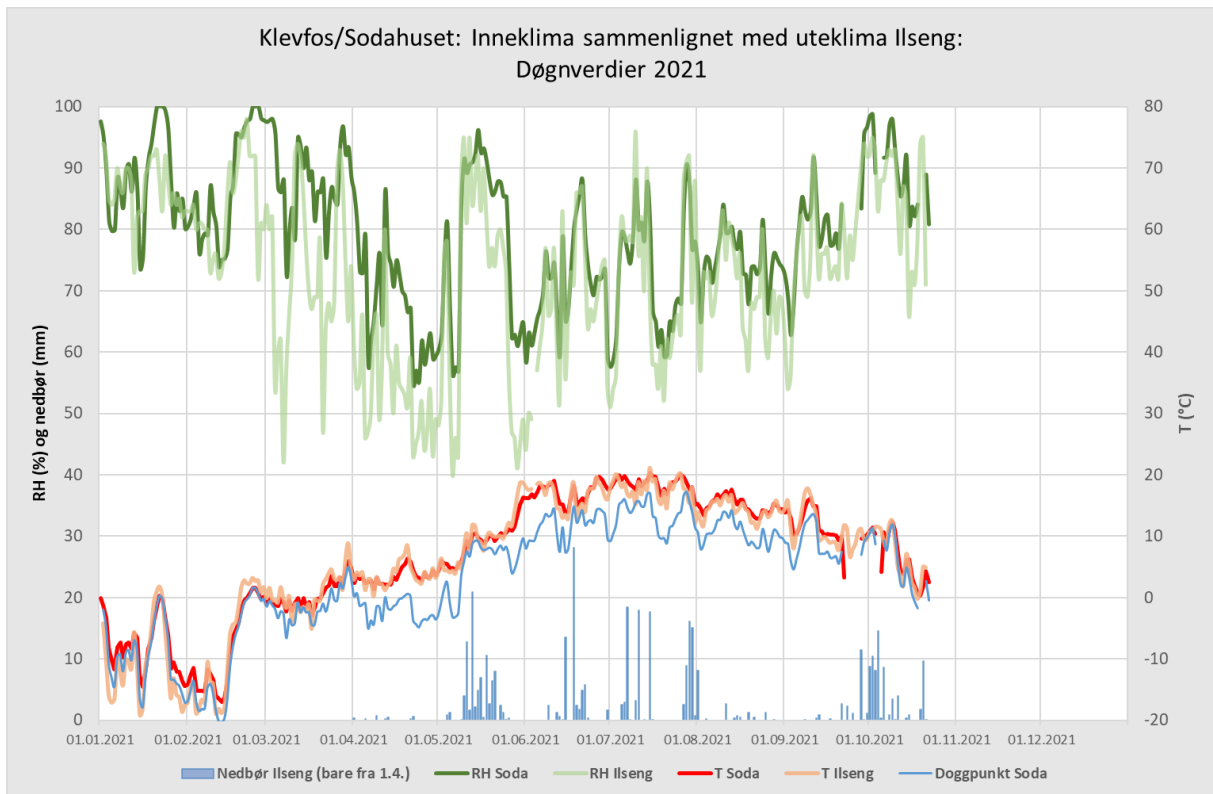


Figur 84: 2020 var et mildt, spesielt vinteren, og relativt tørt år. I døgndiagrammet ser vi spesielt godt hvordan doggpunktet inne er svært høyt i den kalde årstiden, noe som gir et høyt potensial for kondens. Vi ser også hvordan det milde vinter- og høstsværet ga enormt høye luftfuktigheter.

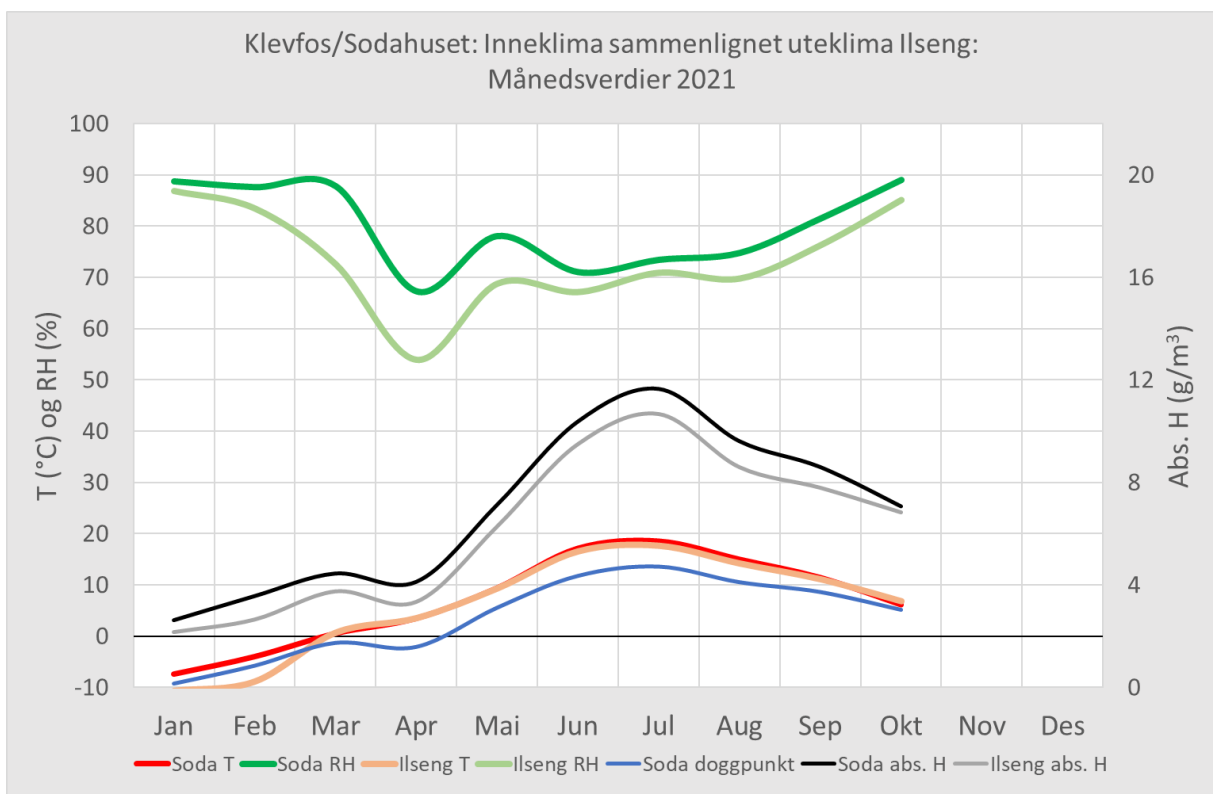


Figur 85: I månedsdiagrammet for 2020 viser med all tydelighet at våren og forsommeren var tørr med hensyn til luftfuktighet, likevel kom ikke månedsverdiene under 60% inne; det kan ha å gjøre med lite vind som vil ha gitt svak ventilasjon.





Figur 86: 2021 utmerket seg med en ekstremt kald vinter, med temperaturer i lange perioder ned mot -20 grader ute som inne. Men så kom en svært tørr vår, etterfulgt av regn i mai og dermed et byks i luftfuktigheten.



Figur 87: Den tørre våren i 2021 medførte ikke en gjennomsnittlig svært lav luftfuktighet inne. Diagrammene fra alle de fire årene mellom 2018 og 2021 viser at det er sjelden døgn- og månedsverdiene for RH går under 60% i Sodahuset. Diagrammene viser også samlet at store deler av sommeren 2018 var ekstremt tørr og at det bare var mindre deler av våren 2020 og 2021 som kom i nærheten av så lave luftfuktigheter. Dette vil skje oftere i fremtiden, og det er slike hendelser en må ta ekstra hensyn til ved videre restaureringsarbeid på Klevfos – samt sterkt regnvær!

## 4.5 Kapillærbrytende sjikt

Selv om en skulle klare å få god kontroll på overvann og drenering, reduksjon av forvtring med offerpusser og skape et gunstig innklima med lav luftfuktighet, så vil det likevel ikke være mulig å begrense saltforvtringen til «null». Til det er både saltmengdene for store og den lokale fuktsituasjonen for kompleks. Bevaring av Klevfos som kulturminne vil kreve betydelige investeringer i tiltak både på kortere sikt, og på lang sikt ved hjelp av løpende vedlikehold med et godt håndverksteam som kan finne kreative løsninger på vanskelige problemer.

Et slikt problem er grunnfukten. Grunnfukten vil vesentlig reduseres ved gode dreneringstiltak gjennom det igangsatte prosjektet «Vannets veier». Men siden grunnforholdene er vanskelige, så må en regne med at det i deler av fabrikken ikke er mulig å hindre all grunnfukt fra å stige opp i murene. Da kan det på enkelte steder være aktuelt med tyngre, irreversible tiltak, som å fysisk hindre grunnfukten fra å stige opp.

Dette kalles å sette inn et kapillærbrytende sjikt og kan utføres på mange forskjellige måter. En kan injisere moderne materialer i overgangen mellom fundamenter og vegg, eller en kan sage spor for å sette inn stålplater som bryter oppsuging av vann. Slike tiltak er ressurkrevende og innebærer en viss risiko for lokal skade, f.eks. ved rystelser (saging) når murverket er svekket. Dette er tiltak som må vurderes der en ikke oppnår tilstrekkelige resultater med øvrige tiltak foreslått i denne rapporten.

God drenering kommer først – og det finnes også tradisjonelle alternativer, eller suppleringer, til kapillærbrytende sjikt. En kan f.eks. teste ut bruk av tett leire for å begrense vanninnsig til fundamenter utsatt for vanntrykk. Noen steder kan det være en bedre egnet variant enn å bruke «knotteplast» som er standard i dag, eller betongpåstøp som har vært benyttet på Klevfos.



## 5 Forsøksfelter for bevaringsmetoder med overvåkning 2020-2021

For å bedre forstå salt- og fuktproblematikken og å teste ut de over nevnte metodene (offerpuss, saltkonvertering og klimastabilisering), ble det i 2020 planlagt et større antall forsøksfelter i fabrikken. Etter opprettelse av feltene i august 2020 har de blitt overvåket med ulike metoder – og alltid med fotografering – på månedsbasis frem til september/oktober 2021. Det dreier seg om følgende **hovedfelter**:

- **Sodahuset nedfall nordvegg ute**, der en tok i aktiv bruk tidligere oppsatte aluminiumsbrett for å overvåke nedfall av forvitret materiale og veie det på månedsbasis
- **Sodahuset forsøksfelt nord inne**, med en ikke-klimatisert og en klimatisert del (ønsket avfukking til 60% RH), der offerpuss, saltkonvertering og ubehandlede, renskede flater ble sammenlignet og nedfalt materiale veid på månedsbasis
- **Sodahuset forsøksfelt vest inne**, med det samme oppsettet som på nordveggen inne

I tillegg er det satt opp flere mindre forsøksfelter for offerpuss, med visuell overvåkning/fotografering på månedsbasis (ingen klimatisering):

- **Sodahuset små offerpussfelt**. Dette er felter der ulike pusskvaliteter ble testet ut helt i starten av arbeidet, for å prøve ut bl.a. håndverksteknikker
- **Fyrhuset offerpuss**, et spesialfelt på det sterkt saltbelastede murverket omkring fyrkjelen

I august 2021 ble det videre satt opp to store offerpussfelt i Sodahuset, med visuell overvåkning:

- **Sodahuset store offerpussfelt**, for å teste ut «egenprodusert» og innkjøpt kalk

Da vi er interesserte i å forstå hvordan klimatisering til svært høye relative luftfuktigheter kunne ha virket på murverket i fabrikken, ble det også satt opp tre mindre prøvelfelt med plexiglass; dvs. at en treramme ble festet til murverket, forsynt med plexiglass og tettet mot murverket med byggsaum, slik at høy luftfuktighet kunne virke bak plexiglassplaten – i alle fall der murverket i utgangspunktet var nokså fuktig. Flatene ble visuelt overvåket på månedsbasis:

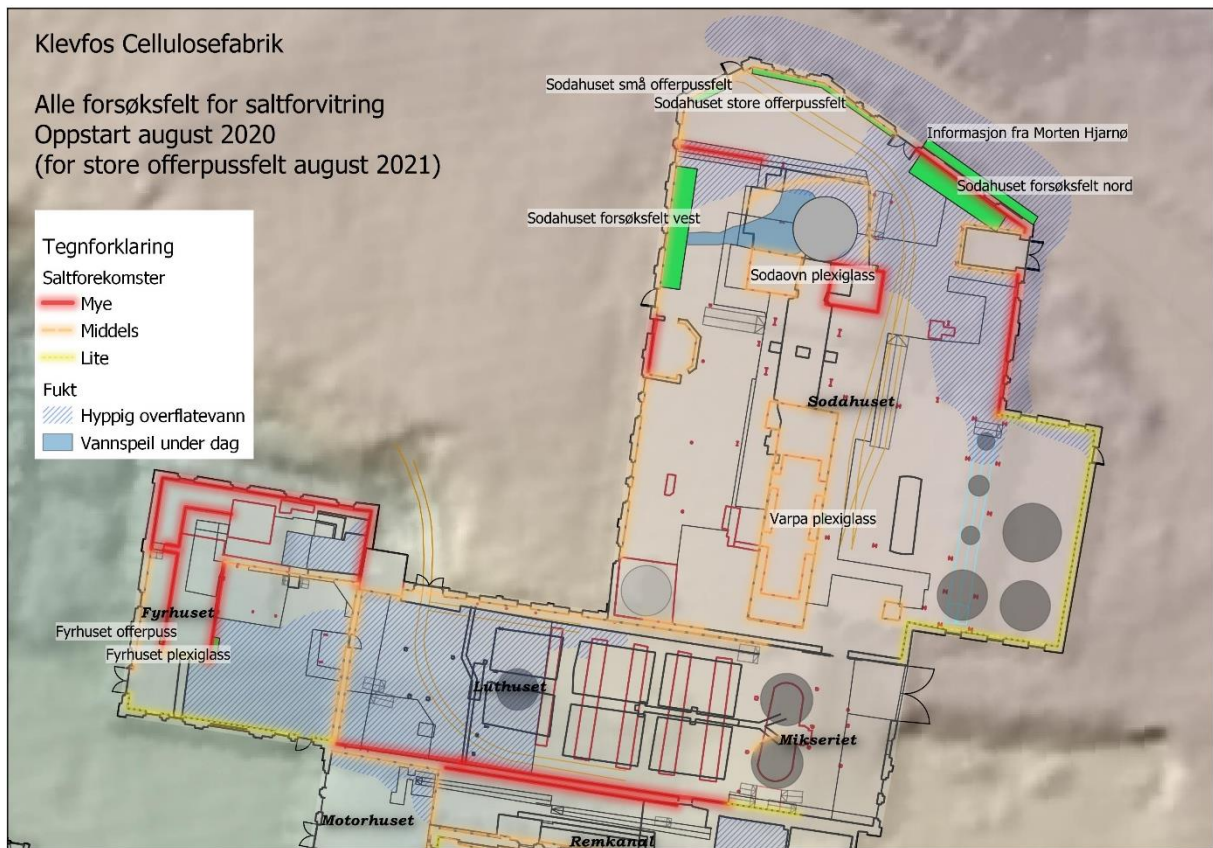
- **Sodaovn plexiglass**, et lite felt på nordsiden av den østre sodaovnen i Sodahuset
- **Varpa plexiglass**, et middels stort området på østsiden av Varpa i Sodahuset
- **Fyrhuset plexiglass**, et større område på østsiden av murverket til fyrkjelen

I tillegg har vi prøvd ut **subbus** for å dempe saltforvitring i golvnivå (f.eks. på søylefundamenter) og foretatt et enkelt «**laboratorieforsøk**» i vel ett år på kontoret i Hyllestad, der vi har observert hvordan saltforvitringen utvikler seg på to teglstein fra fabrikken med mye salt, den ene behandlet med magnesiumklorid, den andre ikke.

Samlet dreier det seg altså om 11 forsøk, hvorav de to hovedfeltene i Sodahuset med 6 delfelter hver, er de mest avanserte og har medført mest arbeid med både opprettelse og overvåkning.

Arbeidet er utført i tett samarbeid med medarbeiderne på Anno Klevfos som har gjort et stort og godt arbeid. Forsøksfeltene ble opprettet av Morten Hjarnø og Maciej Wantola i samarbeid med Fabrica, mens Maciej hadde det betydelige ansvaret for klimatisering og all overvåkning (loggbok, fotos, veiing av nedfall osv.) på månedsbasis fra august 2020 til september 2021. Det foreligger bl.a. ca. 1000 fotos fra alle testfeltene. De store offerpussfeltene i Sodahuset ble opprettet av Anno Klevfos' Anders Nordbakken og murer Tore Granmo.

Forsøksfeltene har gitt verdifull innsikt i bevaringsmuligheter – og også støttet opp om observasjoner og teoretiske vurderinger når det gjelder saltforvitringens natur.



Figur 88: Lokalisering av alle forsøksfelter for saltforvitring.



Figur 89: Morten Hjarnø (t.v.) og Maciej Wantola ved den første påføring av offerpuss i august 2020.



## 5.1 Resultater fra testfelt Sodahuset nedfall nordvegg ute

Forsøksfeltet på den ytre nordveggen av Sodahuset er anlagt på murverk betydelig påvirket av fukt og salt, forsterket ved at ytre murliv er ommurt av moderne hultegl med sementfuger under vinduene (se kap. 2.5 og 3.4). Denne tette løsningen tvinger grunnfukt høyere i murverket – fukt som kommer inn i murene fordi teglveggene går delvis under bakkenivå, som vist tidligere. Forsøkene består av tre delfelt, NBU1-3, som har oppført seg ulikt gjennom testperioden.

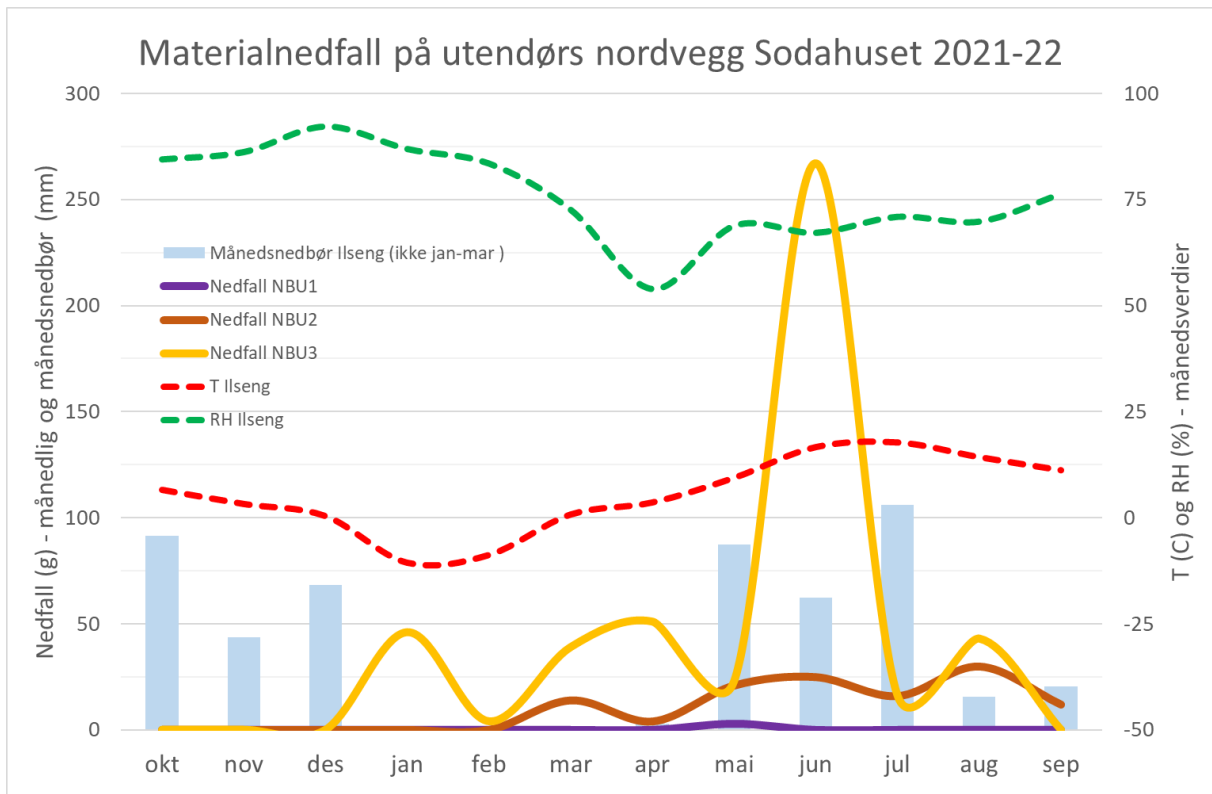
Det er viktig å nevne at disse veggene i 2015-16 ble testbehandlet med et hydrofobt middel (SurfaPore C). Behandlingen hadde ingen effekt, men porene i tegl og mørtel kan ha blitt påvirket.

NBU1 har vist svært lite nedfall, NBU2 drøye 100 g teglfragmenter i løpet av et år, mens det har falt ned snaue halvkiloen i NBU3. Omkring halvparten av nedfallet skjedde i juni 2021, etter økende saltkrystallisering gjennom våren, senere med mye regn på forsommeren, avløst av tørrere perioder. Tolkningen er at kraftig saltforvitring, ved sterk fordampning etter oppbløtning av det mest regnutsatte hjørnet, trigget nedfallet i juni. Viktig er at frostforvitringen her har vært ubetydelig i løpet av forsøksperioden. Videre er det helt åpenbart at senere tiders spekking med sterkt sementholding mørtel i murverket tvinger fukten ut i teglsteinen – derfor er det først og fremst den gamle, løsere brente teglsteinen som lider.



Figur 90: Testfeltene på nordsiden av Sodahuset, med oppsamlingsbrett for nedfalt materiale samlet opp og veid på månedsbasis. En kan se at fukten stiger 2-3 m opp på veggen. Det nederste bildet (foto: M. Wantola) viser nedfallet i NBU3 samlet opp etter juni 2021. Med salt på «baksiden» av teglfragmentene er det åpenbart at saltforvitring er årsaken. Saltene er først og fremst natriumsulfater.





2. november 2020 (lite salt)



12. desember 2020 (rimfrost)



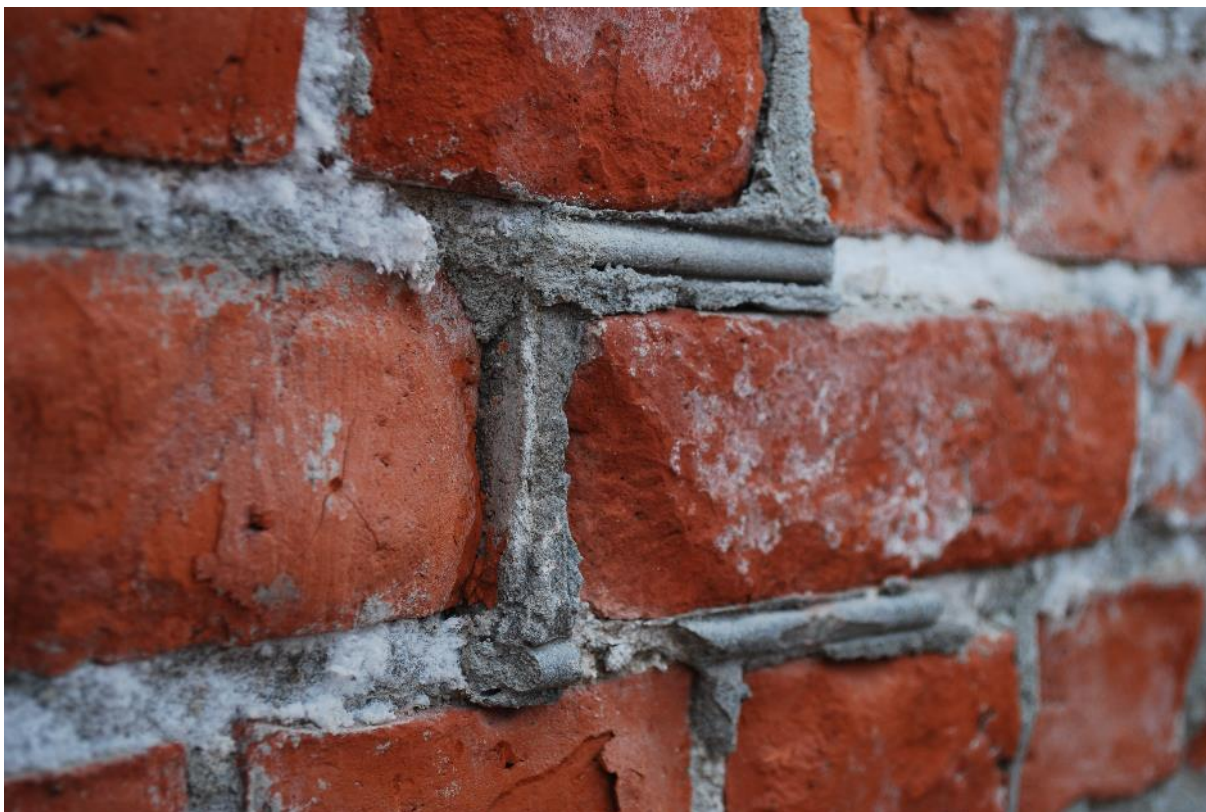
7. april 2021 (mye salt)



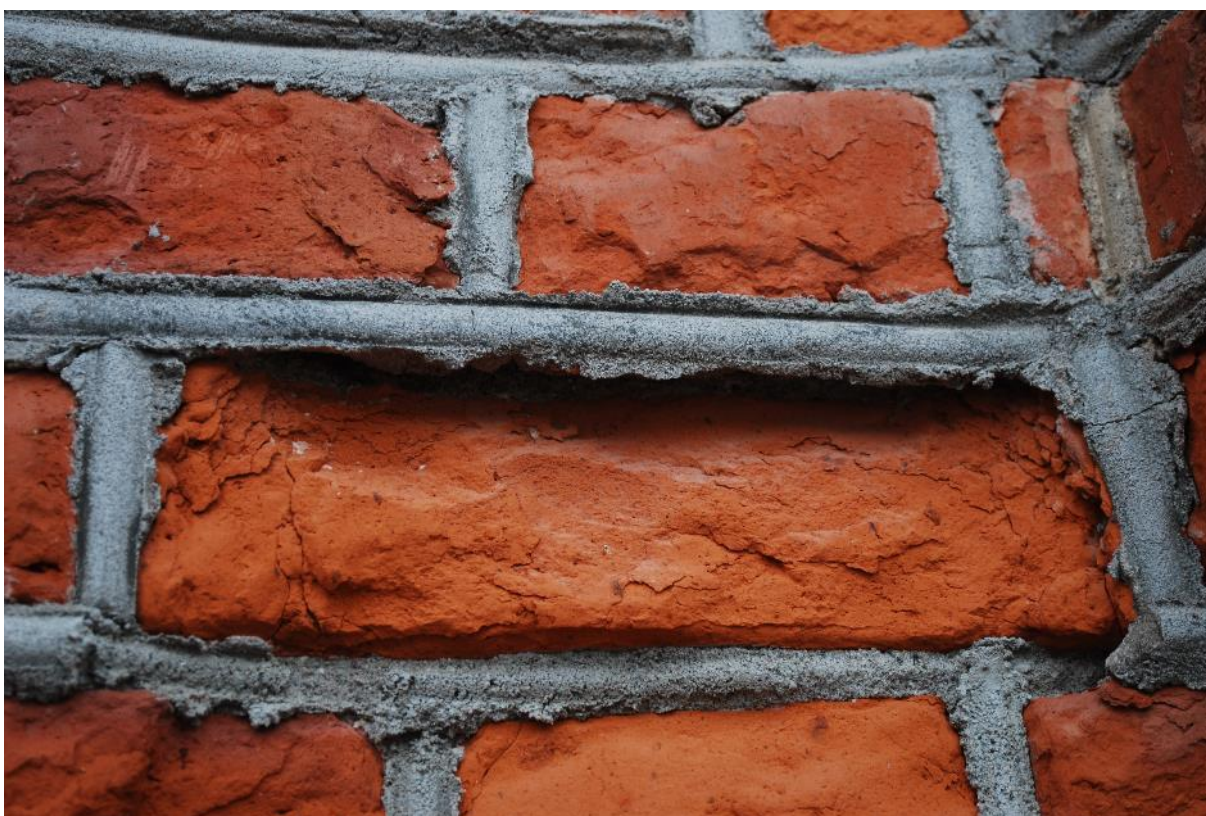
1. september 2021 (middels salt)

Figur 91: Nedfall fra utendørs nordvegg sodahuset, med klimadiagram. Lite nedfall generelt, men et stort hopp i NBU3 tidlig sommer. Det er store variasjoner på mikroskala på veggen, men det er viktig at det store nedfallet skjedde i en sommer som hadde mye regn innimellom tørre perioder. Tolkningen er kraftig saltforvitring ved sterk fordampning etter oppbløtning. Generell tendens er lite salt i fuktige perioder og mye i tørre, som bildene (av M. Wantola) viser. Det har ikke skjedd mye frostforvitring, trolig fordi vinteren var tørr (men svært kald). Rimfrost har knapt hatt betydning for nedfall.





*Figur 92: Saltforvitring i sementrike, relativt nye pølsefuger på nordsiden av Sodahuset (vinteren 2020). Salt er åpenbart en viktig forvitningsagent.*

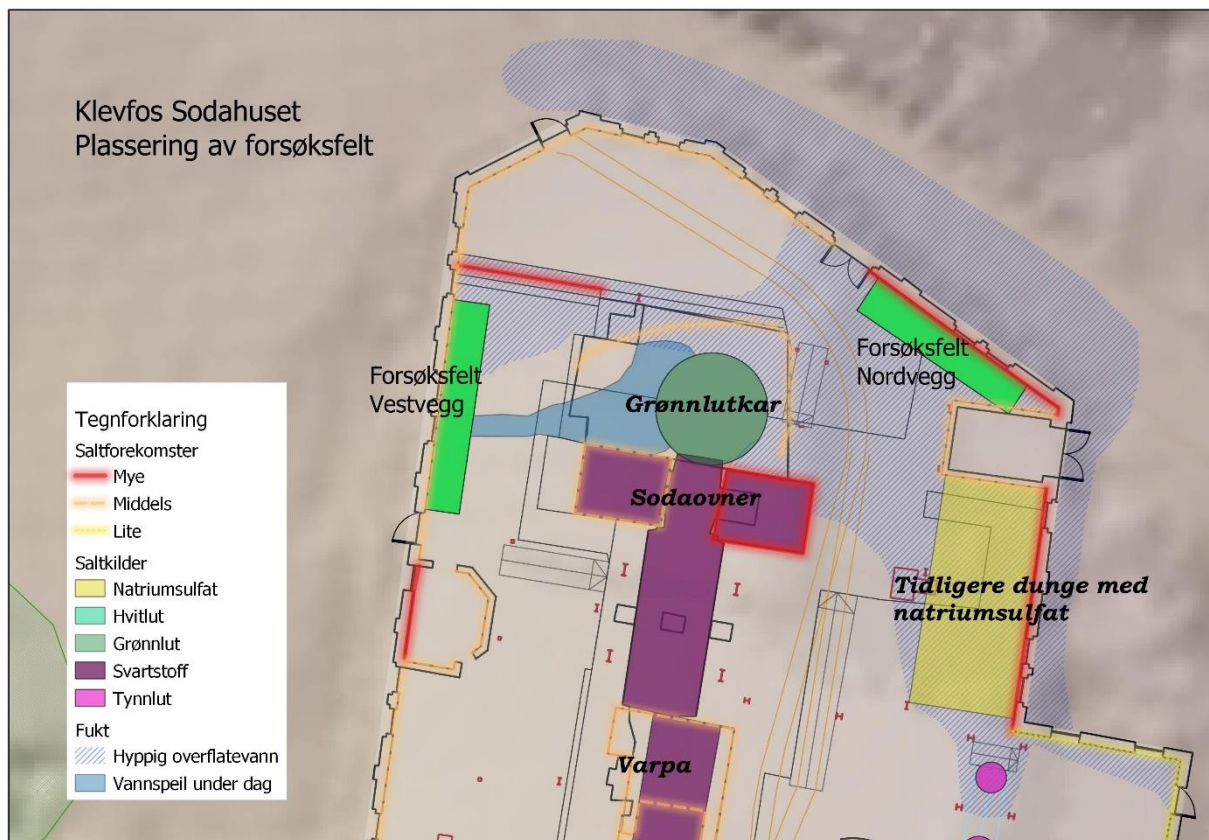


*Figur 93: Nordsiden av Sodahuset: Her er det fuktige forhold vinteren 2020, og en kan ved første øyekast anta at det er frosten som har tatt teglsteinen og latt de hardere og tettere, sementrike pølsefugene bli stående. Men i tørrere perioder er det også mye salt her (jfr. bildet over). En kan altså sjelden utelukke salt som forvitningsagent, selv om en mistenker frost.*



## 5.2 Design og klimatisering av hovedtestfeltene inne i Sodahuset

Valget av hovedtestfeltene langs nordveggen og vestveggen inne i Sodahuset var basert på så vel praktiske vurderinger som ønsket om å sammenligne to til dels ulike vegger. Testfeltene består av 6 delfelt hver. I klimatiserte rom enkelt bygd med trefiberplater og tettet med byggsjum mot veggene, er tre av feltene langs hver vegg plassert, mens tre tilsvarende felt er satt opp rett utenfor på hver vegg. Ute og inne på hver vegg er det testet offerpuss og behandling med magnesiumklorid, og så har en ubehandlede felt for sammenligning. Siden det ikke finnes egnede vegger uten vinduer, ble vinduene tettet med trefiberplater. Dette betyr at hvert delfelt ikke er like stort; areal for hvert delfelt varierer mellom 1,2 og 3 m<sup>2</sup>. Ved sammenligning av nedfalt materiale fra hvert delfelt ble dette kompensert for ved å beregne nedfall pr. m<sup>2</sup>.



Figur 94: Detaljkart over plasseringen av hovedtestfeltene, med oversikt over saltforekomster, saltkilder og fuktforhold. Hvert felt er ca. 7 m. langt.

### 5.2.1 Beskrivelse av testfeltenes tilstand

Mens nordveggen murverk stikker ned i bakken og har fundamenter med delvis sparebetong, delvis betongpåstøp og delvis granitt, ligger vestveggen murverk i hovedsak over bakken på fundamenter av granittblokker. Fuktforholdene er dessuten ulike: Nordveggen er sterkt preget av grunnfukt (se også beskrivelsen av de utendørs testfeltene, kapittel 5.1), mens vestveggen er noe preget av grunnfukt og noe av regn fra vest som kan trenge inn i nedre deler. Deler av vestfeltet ligger rett over kanalen som bringer vann fra grønnlutkaret vestover, men dette har trolig liten betydning for forvitringen av veggene. Begge veggene er utendørs sterkt preget av senere tiders restaureringer med ny tegl og sterkt sementholdig mørtel. Dette er imidlertid ikke tilfelle innendørs, der veggene stort sett oppviser tegl og mørtel fra opprinnelig byggeperiode.

Begge veggfeltene er sterkt preget av saltforvitring, med nordveggen som den verst skadde. Fugene var til dels dypt forvitret, mange teglstein hadde avskallinger og på nordveggen var det også en del



løse teglstein. Ved opprettelsen ble derfor alle testfelter først grundig mekanisk rensed for alt løstsittende materiale, inkl. salt. Det var vanskelig å fullstendig rens flere fuger og også dehydrert, «tettsittende» salt kunne ikke helt fjernes på teglen. Saltene er funnet å være en kombinasjon av natriumsulfater og -karbonater, med mest natriumsulfat på nordveggen.

### 5.2.2 Behandling av testfeltene med magnesiumklorid

Injisering med magnesiumklorid fulgte det samme opplegget som Morten Hjarnø tidligere har benyttet i Motorhuset. Et fat med konsentrert saltløsning ble plassert høyt, fra dette ble løsningen ledet til et nettverk av tynne, borede hull i teglsteinen ved hjelp av plastslanger. Injiseringen fortsatte til murverket ikke lengre klarte å ta opp mer saltløsning, dvs. opptil flere titalls liter. Siden de ulike delfeltene ligger rett ved siden av hverandre, er det uunngåelig at noe magnesiumklorid vil ha spredt seg litt til ubehandlede felter og felter med offerpuss.

### 5.2.3 Behandling av testfeltene med kalkbasert offerpuss

Ved vurdering av offerpuss som til en viss grad kunne matche de eldre pussløsningene, valgte vi ut tradisjonell varm mørtellesking (hotmix) som det mest aktuelle, bestående av lett tilgjengelig nedmalt Agri brent kalk fra Franzefoss, lesket sammen med lett tilgjengelig lokal natursand (0-4 mm) i feit blanding, ca. 1:4 (som gir ferdig mørtel i blanding 1:2).

Vi vet ikke om denne metoden ble benyttet ved tidligere pussing i fabrikken, men det kan ha vært gjort, dog er blandingsforholdet magrere i de gamle pussene (ca. 1:3). Vårt valg var spesielt fundert på enkel og billig materialtilgang (gitt at det potensielt er ca. 2000 kvadratmeter som skal pusses i fabrikken) og på at hotmix i feit blanding kan gi en gunstig porestruktur, med nettverk av fine porer og riss for å kapillært frakte ut salt i løsning til overflaten, hvor det kan krystallisere (og fjernes). Dessuten viser erfaring at hotmix kan gi en noe sterkere puss enn om en benytter hydratkalk (eller våtlesket kalk). Dette er ikke uvesentlig, gitt at vedlikehold av offerpussene vil bli essensielt i fremtiden. Lengre vedlikeholdsintervaller kan være fordelaktig.

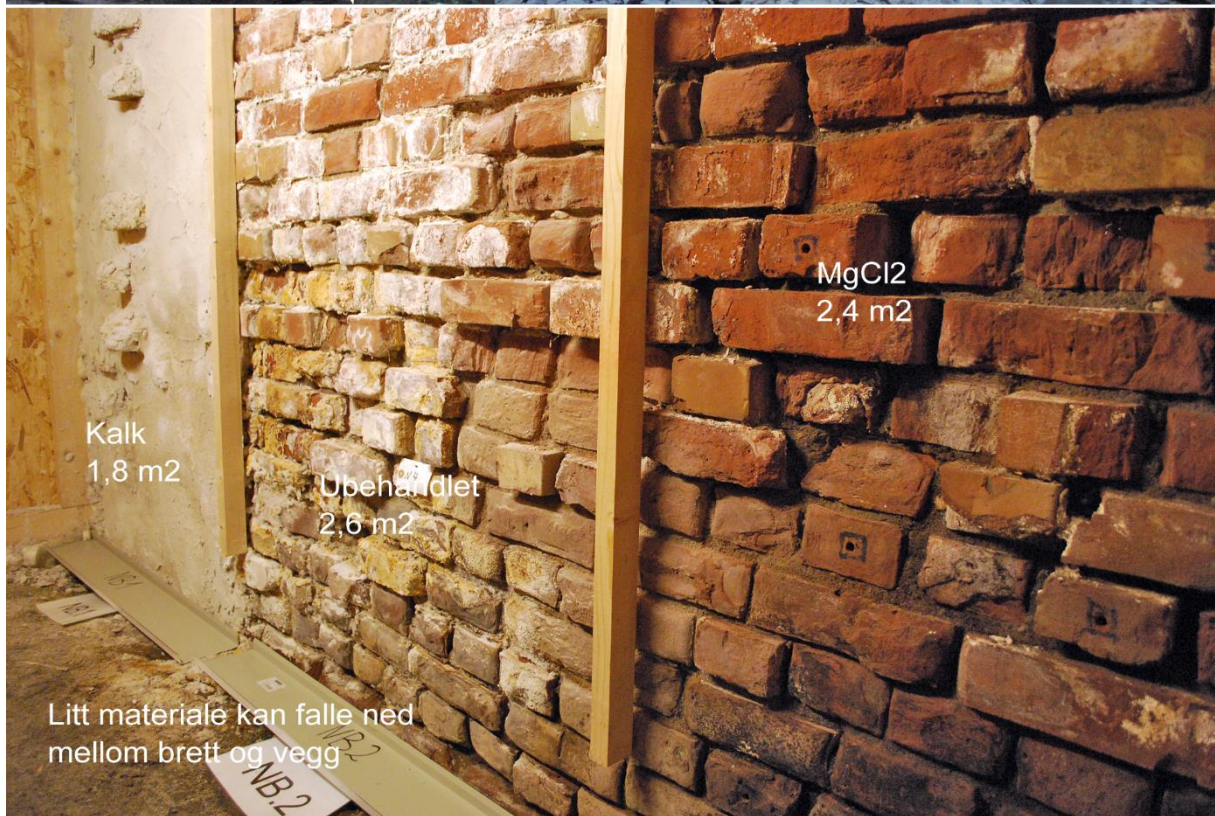
Etter at testfeltenes murer var rensed, ble overflaten vannet, deretter slemmet med kost med en noe feitere blanding enn selve pussmørtelen, for å få heft. Pussingen fulgte kort tid etter slemmingen og ble utført med påkast og utjevning med murerskje. Ferdig pusstykke var ca. 1-2 cm, avhengig av veggens beskaffenhet, mer ved dypere forvitrede fuger. Vi sørget for at de fleste større svinnsprekker ble eliminert ved manuell komprimering. Noe vanning ble også utført de første dagene etter påføringen. Det var ikke mye svinnsprekker, da vi i forkant hadde testet ut feitere blandinger og forkastet disse på grunn av for mange riss (se under).

### 5.2.4 Klimatisering av testfeltene

Vi hadde i starten ikke tatt tilstrekkelig hensyn til de lave temperaturene man får i fabrikkbygningen om vinteren og prøvde først å benytte enkle kondensavfuktere for klimatisering. Dette gikk ikke særlig bra og vi fikk store variasjoner inne i de klimatiserte testfeltene. I desember 2020 installerte derfor Maciej Wantola et mer avansert anlegg med absorpsjonsavfuktere. Det tok en tid før disse fungerte tilfredsstillende, ikke minst på grunn av temperaturer ned til -15 grader inne i Sodahuset i perioden frem til siste halvdel av februar 2021.

Men fra mars 2021 har anlegget vært stabilt og levert luftfuktigheter på rundt drøye 60% i det nordre testfeltet og omkring 50% i det vestre. Det er uklart hvorfor det vestre ligger lavere enn det nordre.

Luftfuktighet og temperatur blir i de klimatiserte feltene målt med robuste Tingtag Plus-målere, mens en får generelt romklima utenfor de klimatiserte sonene ved hjelp av SD-anlegget. God klimamåling er naturligvis helt essensielt – nå og i fremtiden.

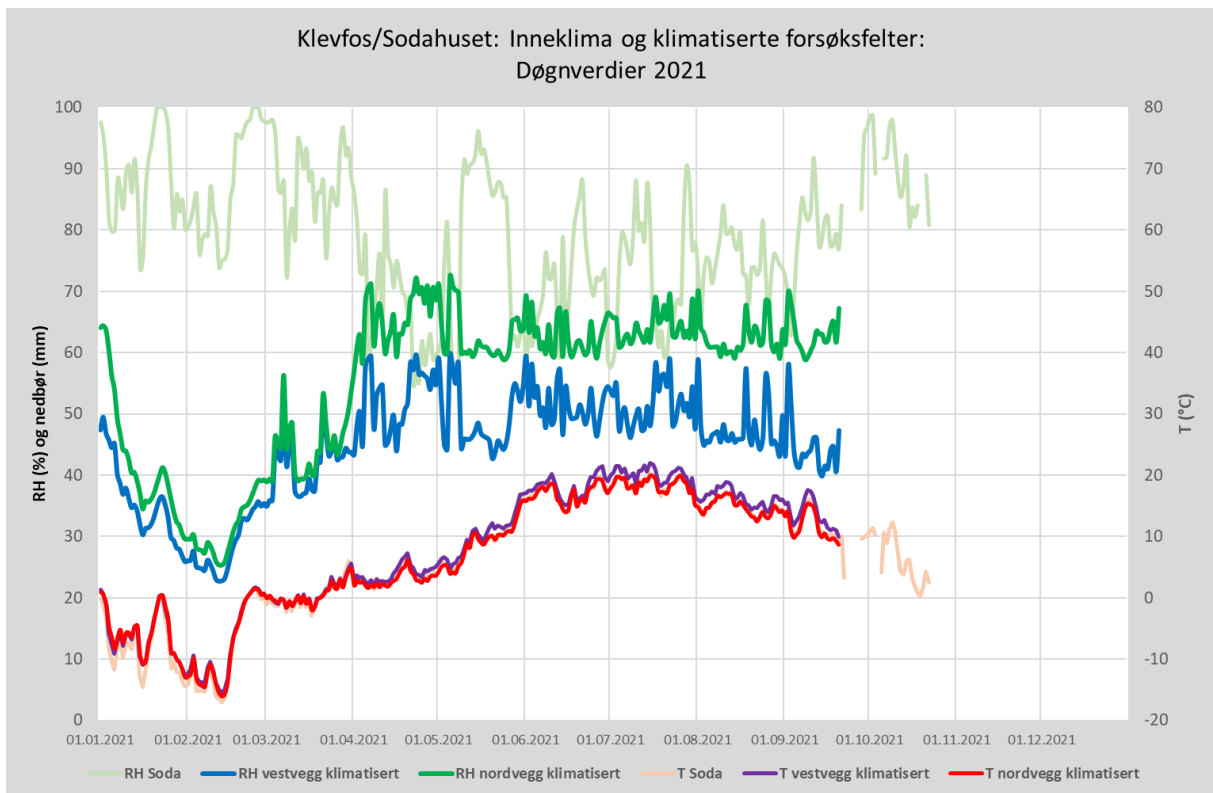
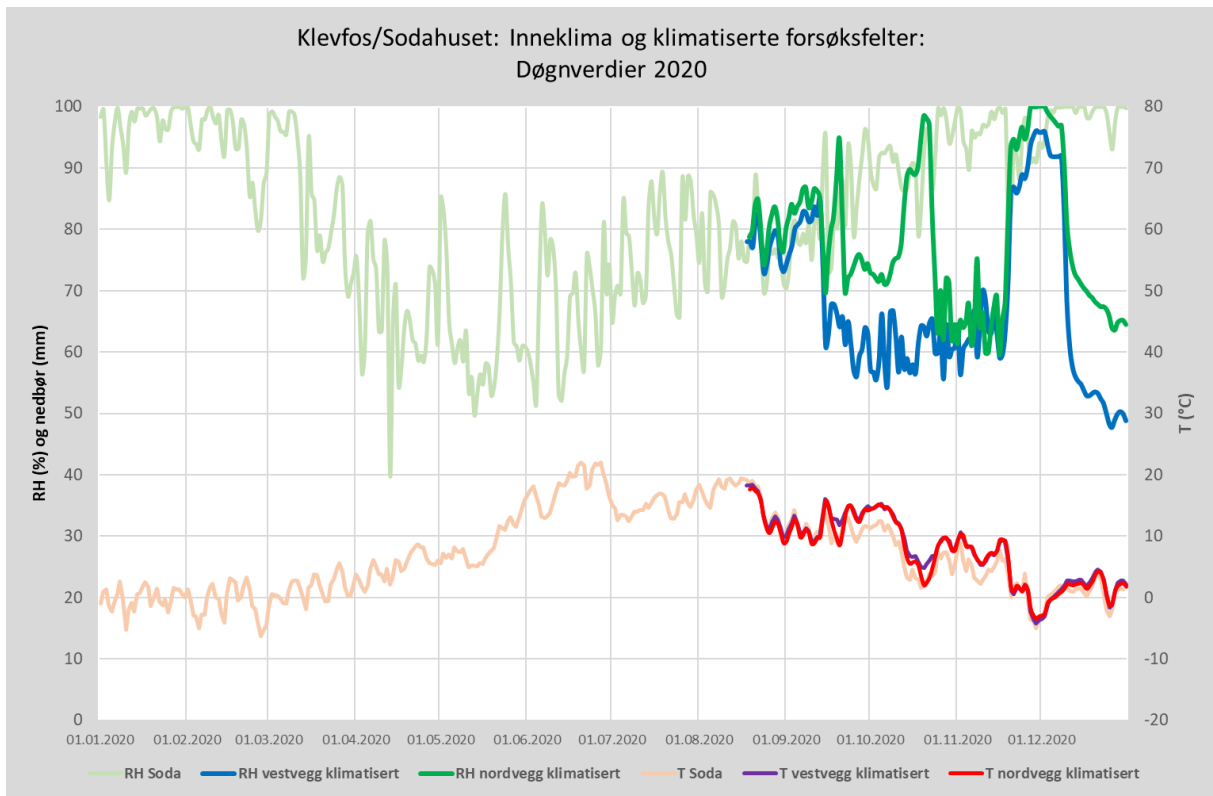


Figur 95: Oversikt over hovedforsøksfeltet langs nordveggen i Sodahuset





Figur 96: Oversikt over hovedforsøksfeltet langs vestveggen i Sodahuset



Figur 97: Klimadiagrammer for hovedforsøksfeltene 2020-2021, sammenlignet med generelt romklima i Sodahuset. Døgnverdier.



### 5.3 Resultater fra hovedtestfeltene inne i Sodahuset

Det var problemer med klimatiseringen i starten og feltene er ikke helt enkelt å sammenligne på grunn av ulik bevaringstilstand og ulik størrelse. Dessuten er ikke nedfallet alltid strengt begrenset til delfeltene alene og det er også mulig at noe nedfall kan ha ramlet ned i det lille mellomrommet mellom oppsamlingsbrettene av aluminium og veggene.

Et veldig viktig aspekt er at forvitringen i delfeltene som ikke har offerpuss, er høyere enn det som faller ned på oppsamlingsbrettene i nedkant av feltene og en kan måle (veie). Dette er fordi forvitringen også foregår i dypt forvitrede fuger og samler seg på kantene av underliggende teglstein som «stikker ut» fra fugene (Figur 98). Dette er en betydelig feilkilde, men oppveies noe ved at utgangssituasjonen var ganske lik ved alle deler av nordveggen, respektive sørveggen (der dette fenomenet var mindre utpreget).

Samlet sett anser vi at er det godt grunnlag for å tolke tendenser ut fra dataene innhentet, med nedfall omregnet til gram pr. kvadratmeter. Vi har dermed fått en noenlunde realistisk test på hva offerpuss og klimatisering i større skala kan innebære, samt hvordan saltkonvertering med magnesiumklorid virker i praksis.

Som ventet er det noe mer total forvitring i det nordre enn det vestre feltet, åpenbart på grunn av forskjeller i grunnfukt og bevaringstilstand. Det er ikke veldig stor forskjell på klimatiserte og ikke-klimatiserte delfelter, men likevel en tendens til at de klimatiserte feltene har noe mindre forvitring enn de ikke-klimatiserte. Det betyr at klimatisering i større skala i fremtiden kan avhjelpe forholdene, etter at grunnfukt og overvann er sterkt begrenset.



Figur 98: Forvitret fugematerial fra det ikke-klimatiserte, ubehandlede feltet på nordveggen. Her ser vi at mye «pulver» ikke kan falle ned på oppsamlingsbrett ved foten av veggen, men blir liggende i de dypt forvitrede fugene (30. september 2021).

Tabell 2: Nedfall av material fra alle delfeltene i hovedtestfeltene 2020-21, omregnet til gram pr. kvadratmeter behandlet flate. Både nedfalt pulver og fragmenter fra mørtel og tegl, og nedfalt salt er del av nedfallet/beregningene. Det kalkbehandlede feltet i den ikke-klimatiserte delen av nordveggen viser for høyt nedfall, da oppsamlingsbrettet mottok nedfall fra ikke-kalkede deler ved siden av. Kalkfeltet selv er knapt forvitret.

Måned	Vestvegg klimatisert			Vestvegg ikke-klimatisert			Nordvegg klimatisert			Nordvegg ikke-klimatisert		
	Kalk	Ubeh.	MgCl2	MgCl2	Ubeh.	Kalk	Kalk	Ubeh.	MgCl2	MgCl2	Ubeh.	Kalk
sep	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	7,1	7,0	4,6	0,0
okt	0,0	3,2	0,0	4,2	0,7	0,0	0,0	1,2	7,6	4,5	3,4	1,3
nov	0,0	1,3	2,6	7,5	0,4	0,0	0,0	0,4	2,5	2,0	1,1	1,7
des	0,0	3,9	2,6	2,5	0,0	0,0	2,7	0,8	2,1	1,0	1,1	1,3
jan	0,0	2,6	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	2,7	1,7	2,5	0,0	1,3
feb	3,2	2,6	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,4	1,7	1,0	0,0	0,0
mar	0,0	1,3	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,8	1,5	2,3	1,0
apr	0,0	0,6	0,7	1,7	0,4	0,0	0,5	1,2	1,3	1,5	3,4	3,3
mai	0,0	0,6	0,7	3,3	0,7	0,0	0,5	1,9	1,3	3,5	5,7	5,7
jun	0,0	0,6	2,0	10,8	2,9	0,0	2,2	7,4	1,7	6,5	6,9	5,3
jul	0,0	0,6	0,7	5,0	0,7	0,0	0,5	2,3	1,3	2,5	2,3	4,0
aug	0,0	0,6	2,0	4,2	0,7	0,0	1,1	1,9	0,8	2,5	2,3	1,0
sep	0,0	0,0	1,3	3,3	0,7	0,0	1,1	0,8	0,0	2,0	3,4	3,3
<b>Totalt</b>	<b>3,2</b>	<b>25,8</b>	<b>12,6</b>	<b>49,2</b>	<b>7,2</b>	<b>0,0</b>	<b>8,7</b>	<b>24,4</b>	<b>29,8</b>	<b>38,0</b>	<b>36,8</b>	<b>29,3</b>

En viktig tendens er at det er svært lite, nær null, forvitring fra feltene med offerpuss (se teksten til Tabell 1 for forklaring av ett unntak). Det har delvis å gjøre med at ett år er for kort tid til at saltene kan klare å virke sterkt på offerpussen. Det er kun observert lett pulverisering på deler av pussen. Etter flere år kan det forventes sterkere pulverisering og at deler av pussen faller av i flak (og må repareres). En viktig observasjon er videre at pussen, spesielt på nordveggen tar opp salter og lar dem krystallisere på overflaten. Det betyr at pussen er virksom som offerpuss, slik den skal være. Ellers er alle pussfeltene godt herdet/karbonatiserte etter drøyt ett år; det er kun minimale deler som ikke er karbonatiserte (testet med fenolftalein), og dessuten få svinriss og få eller ingen bompartier å spore. Resultatene er altså generelt gunstige i favør av offerpuss.

Et annet vesentlig resultat, er at feltene behandlet med magnesiumklorid samlet sett oppviser størst nedfall av forvitret materiale, til tross for at det er mye mindre synlige salter i disse feltene enn i ubehandlede. Resultatet er overraskende, men kan trolig knyttes til kompleksiteten i saltsystemet av opprinnelige og tilførte salter som er skapt. At det ikke kan observeres mye salter har trolig å gjøre med klorid tilført – som opprettholder sterkt hygroskopiske overflater. Det er mulig at vanskelig observerbar halitt (natriumklorid) er hovedansvarlige for forvitringen, men det er også sannsynlig at en del salt ikke har blitt konvertert og dermed krystalliserer som natriumsulfat/natriumkarbonat.

Som ventet er en viktig tilleggsobservasjon at metall/jern påvirket av kloridbehandlingen ruster; det gjør det ikke i øvrige felter, som observert på jern i merkelapper festet til feltene. Samlet sett, med i praksis observert høy forvitring og rust, må det advares mot å benytte saltkonvertering i større skala i fabrikk. Men vi skal senere se at forholdene er litt annerledes når en benytter metoden under laboratorieforhold. Da er det nemlig mindre forvitring ved bruk av denne type saltkonvertering. Dette viser at en ikke bør ukritisk bruke resultater fra laboratoriet; for god bevaring er det praksis som gjelder.



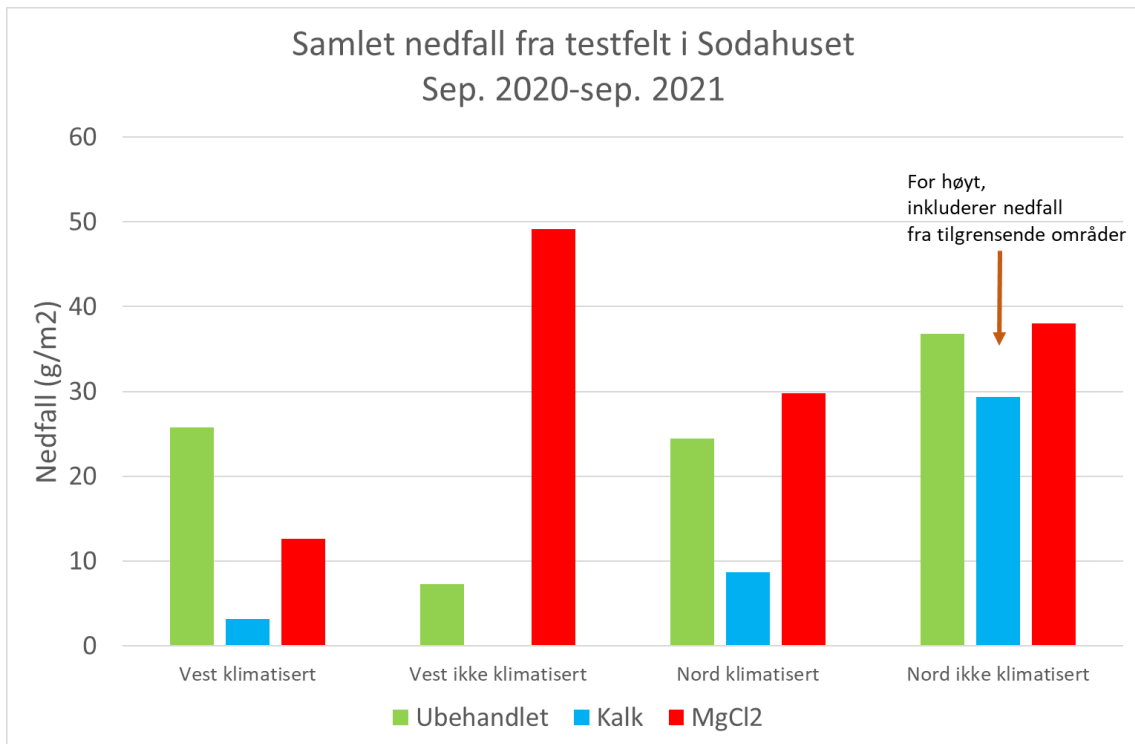
Et siste, særdeles viktig resultat av overvåkningen, er at nær alle delfelter, i ikke-klimatiserte soner vesentlig mer enn i klimatiserte, viser betydelig økt forvitring i sommermånedene enn ellers i året. Det er en topp i nedfall av forvitret materiale fra mai til juli, akkurat som ute på nordveggen av Sodahuset (se over). Dette er som forventet i de ikke-klimatiserte testfeltene, og i tråd med den betydelige forvitringen en opplevde under den svært tørre sommeren i 2018. I de klimatiserte feltene vil det ikke være stort annerledes, i og med at det jo også er relativt tørt generelt inne i Sodahuset om sommeren. Generelt tørker det ut om sommeren og saltene har et høyere potensial for å krystallisere i grunnfuktsonen. Ved tilført vann ved regnvær, som f.eks. i mai 2021, er det også høyere potensial for etterfølgende forvitring når det tørker ut. Og her er det verd å merke seg at nær alle felter har heftigere saltkrystallisering i grunnfuktsonen – som ventet mer på nordsiden enn i vest.

Flere delfelter viser høy forvitring helt i starten av forsøkene, fra september til november 2020. Årsaken er uklar, det kan skyldes tilfeldigheter rett etter oppstart og vanskeligheter med klimatiseringen, men også at salt har en tendens til å gå i løsning utover høsten og dermed kan «slippe» allerede løsnede fragmenter i murverket.

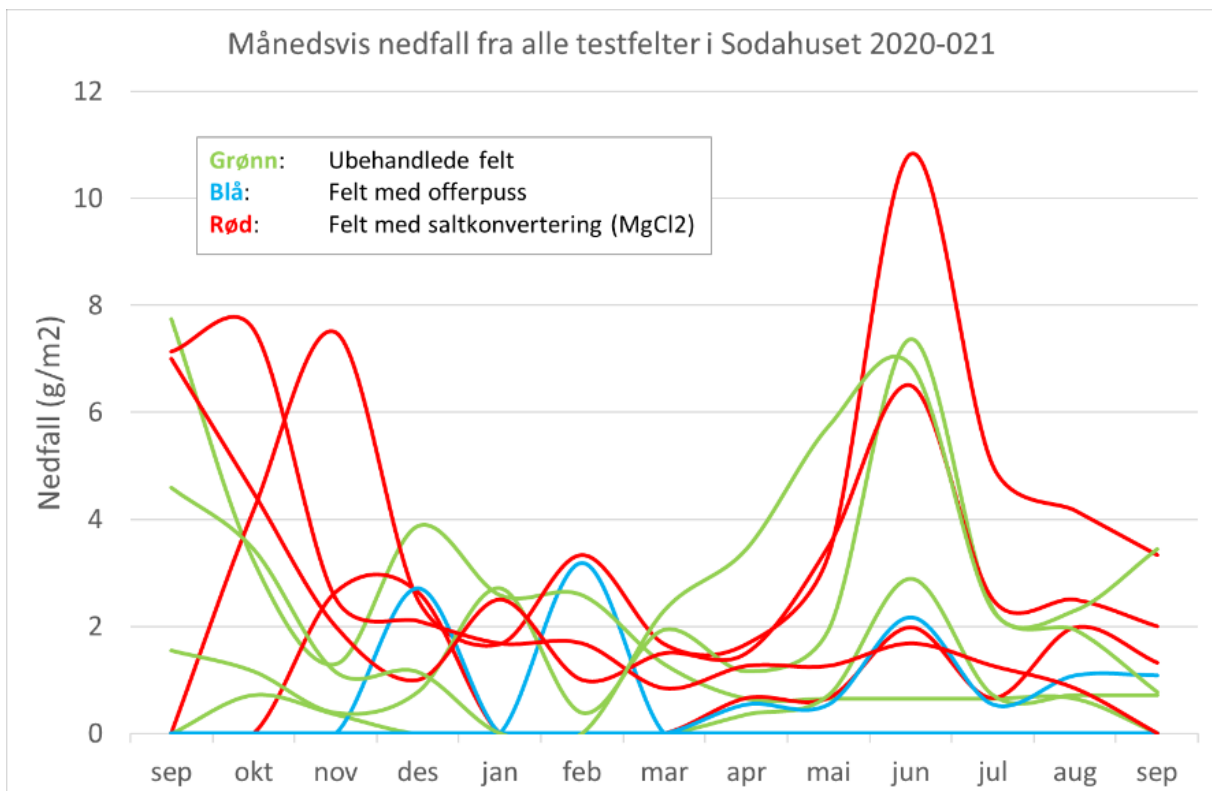
Selv om testfeltene har gitt et godt, første innblikk i forvitringens karakter etter ca. ett år, så kan en ikke forvente full nytte før etter flere årssykluser. Det er derfor viktig at overvåkningen fortsetter i flere år, slik at en kan bruke resultatene for enda bedre forståelse, ikke minst knyttet til hva klimatisering kan innebære på lang sikt, spesielt om en i nær fremtid klarer å begrense grunnfukten gjennom prosjektet «Vannets veier». Da vil testfeltene kunne gi enda mer solide resultater. En kan imidlertid benytte kvartalsvis overvåkning og veiing av nedfalt materiale i fremtiden; det burde holde å fange opp de sesongmessige variasjonene. Dette vil si at en samler opp nedfalt materiale og fører loggbok/fotograferer etter sommeren (1.9.), deretter etter høsten (1.12). Så observerer en hva som skjer etter vinteren (1.3) og etter den vanligvis tørre våren (1.6).



*Figur 99: Heftig saltkrystallisering i form av tykke whiskers i den nedre delen av det klimatiserte, ubehandlede testfeltet på nordveggen i Sodahuset. Dette har med tilført grunnfukt å gjøre. Videre oppover veggens er saltene i delvis dehydrert form som følge av klimatiseringen. Foto fra 30. september 2021.*

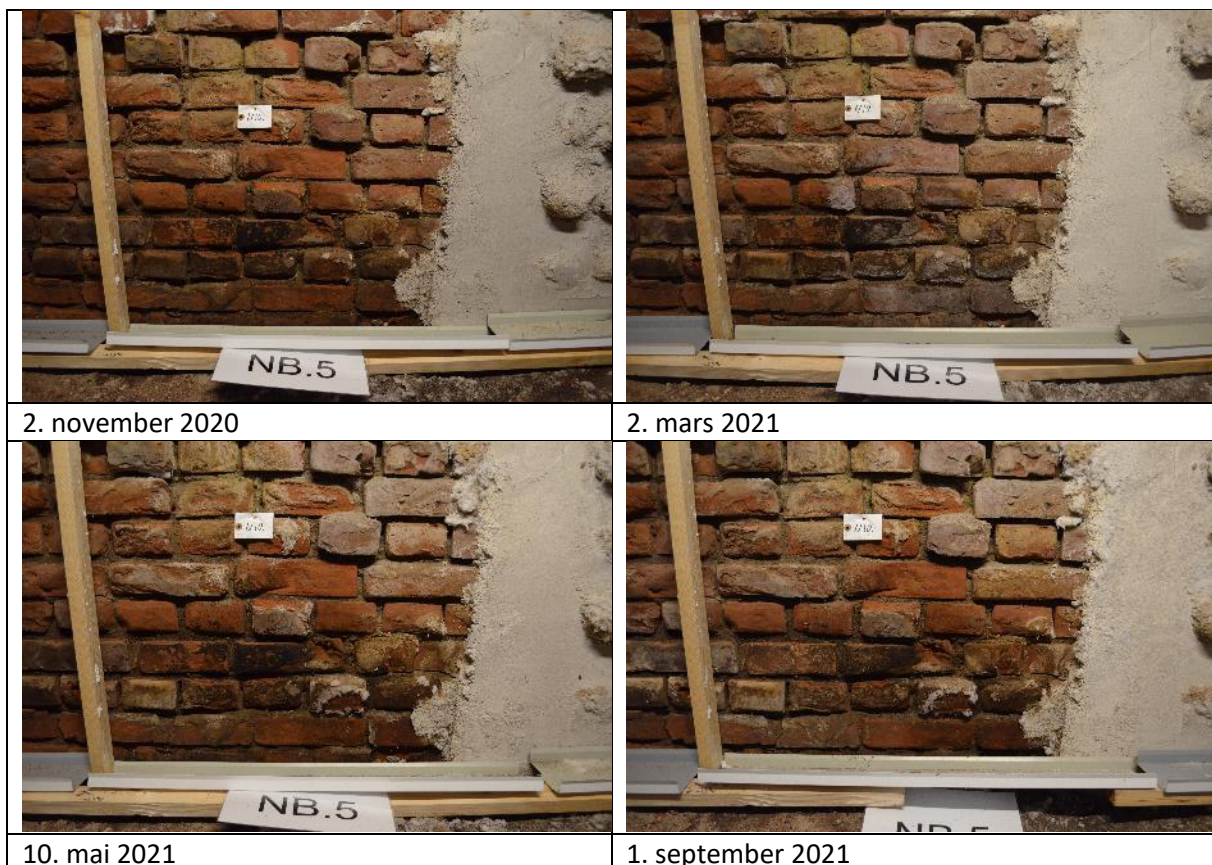
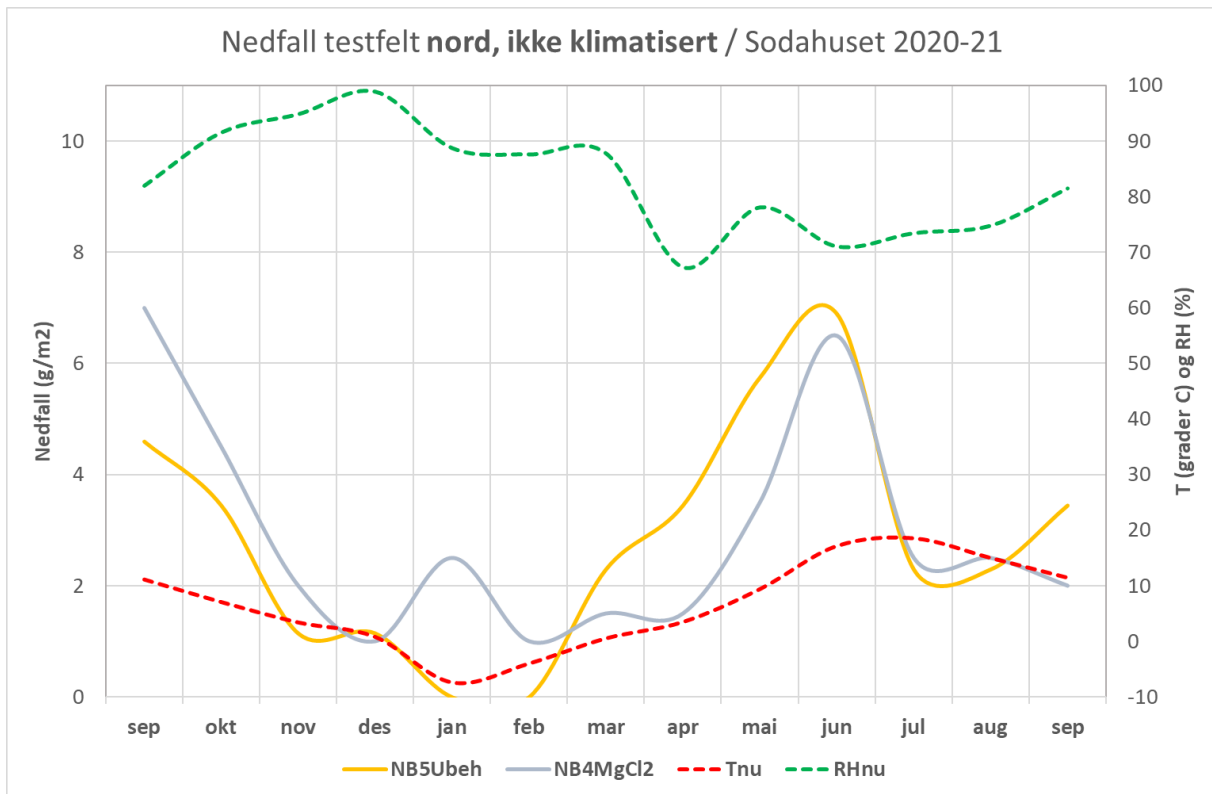


Figur 100: Nedfall av forvitret materiale fra hovedtestfeltene i Sodahuset. Merk at salt er inkludert i vekten og at nedfall fra offerpuss i det ikke-klimatiserte feltet på nordveggen er for høyt pga. feltets plassering.

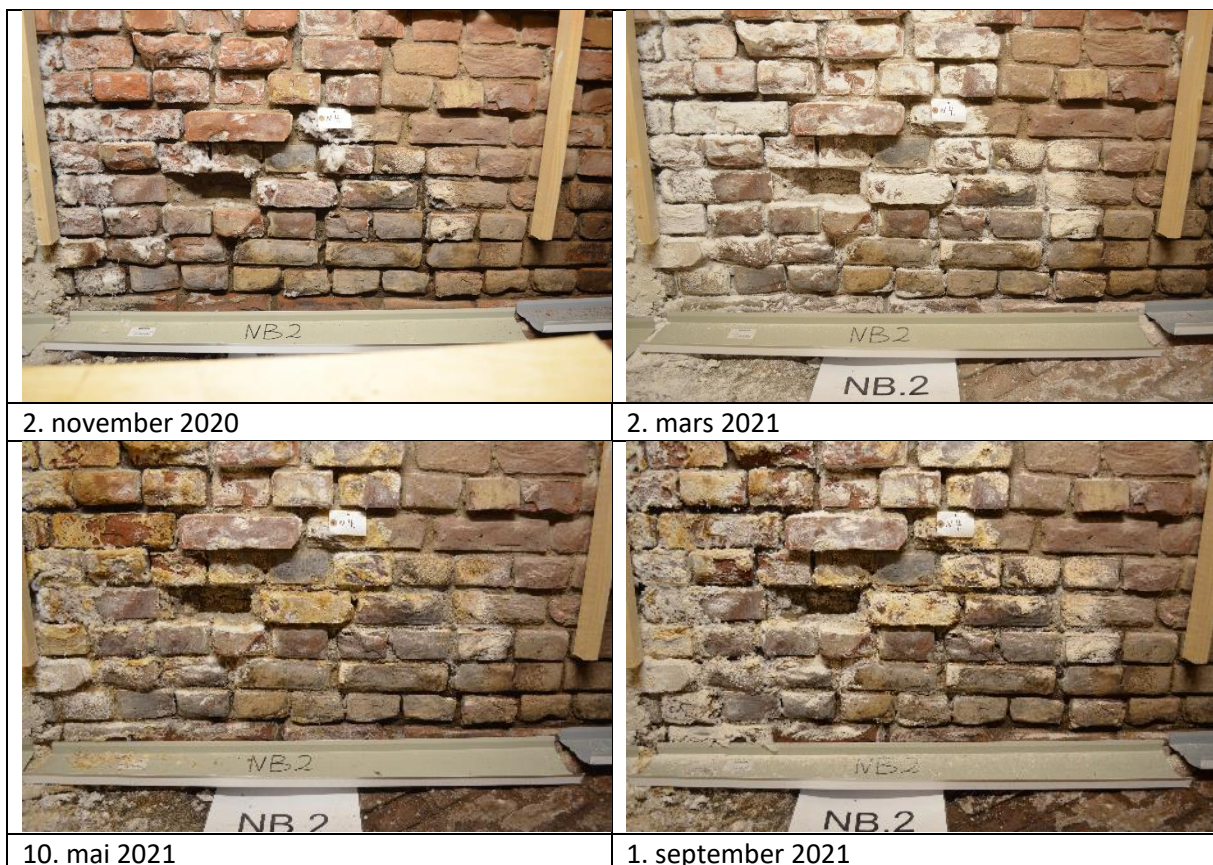
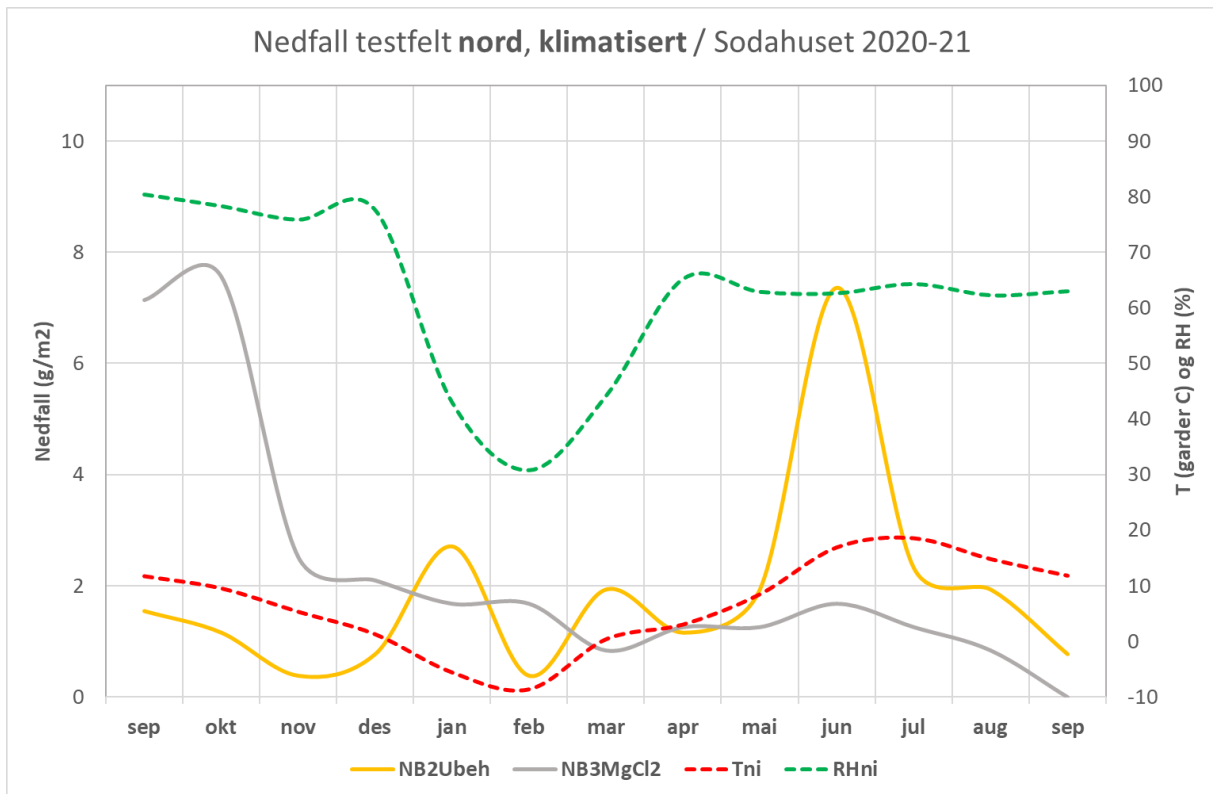


Figur 101: Nedfall fra alle testfeltene inne i Sodahuset, unntatt feltet påført kalkpuss i den ikke-klimatiserte delen på nordveggen. Det er sannsynlig at det forvirrende bildet i nedfall fram til november skyldes forstyrrelser som følge av det håndverksmessige arbeidet med å klargjøre testfeltene og problemer med klimatiseringen. Gjennom vinteren og tidlig vår er det lite nedfall, men så skyter det fart i tidlig sommer. Dette sammenfaller med hva en har observert på nordveggen ute og kan tolkes på en tilsvarende måte: Etter regnværsperioder er det ved hurtig opptørking i påfølgende tørre perioder på sen vår og sommer høy fordampning og stort potensiale for saltkrystallisering og saltforvitring.



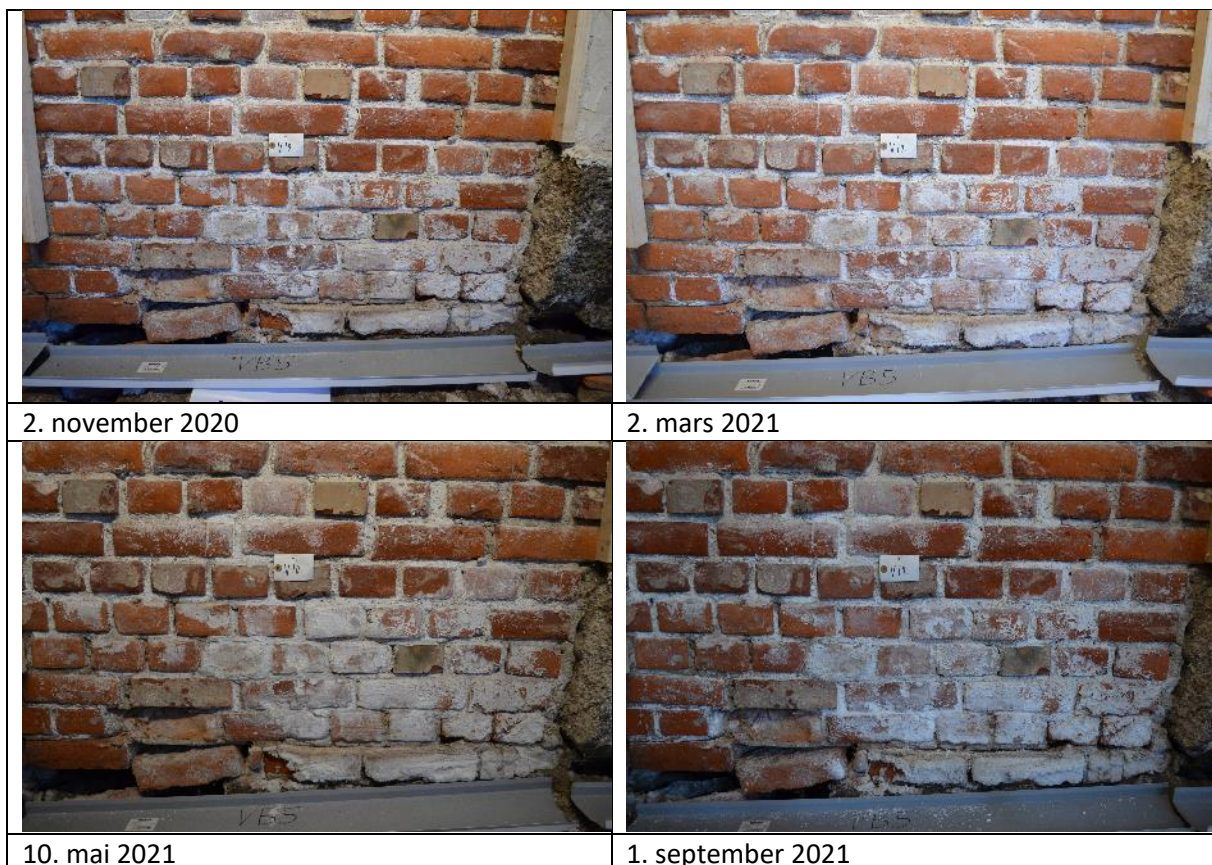
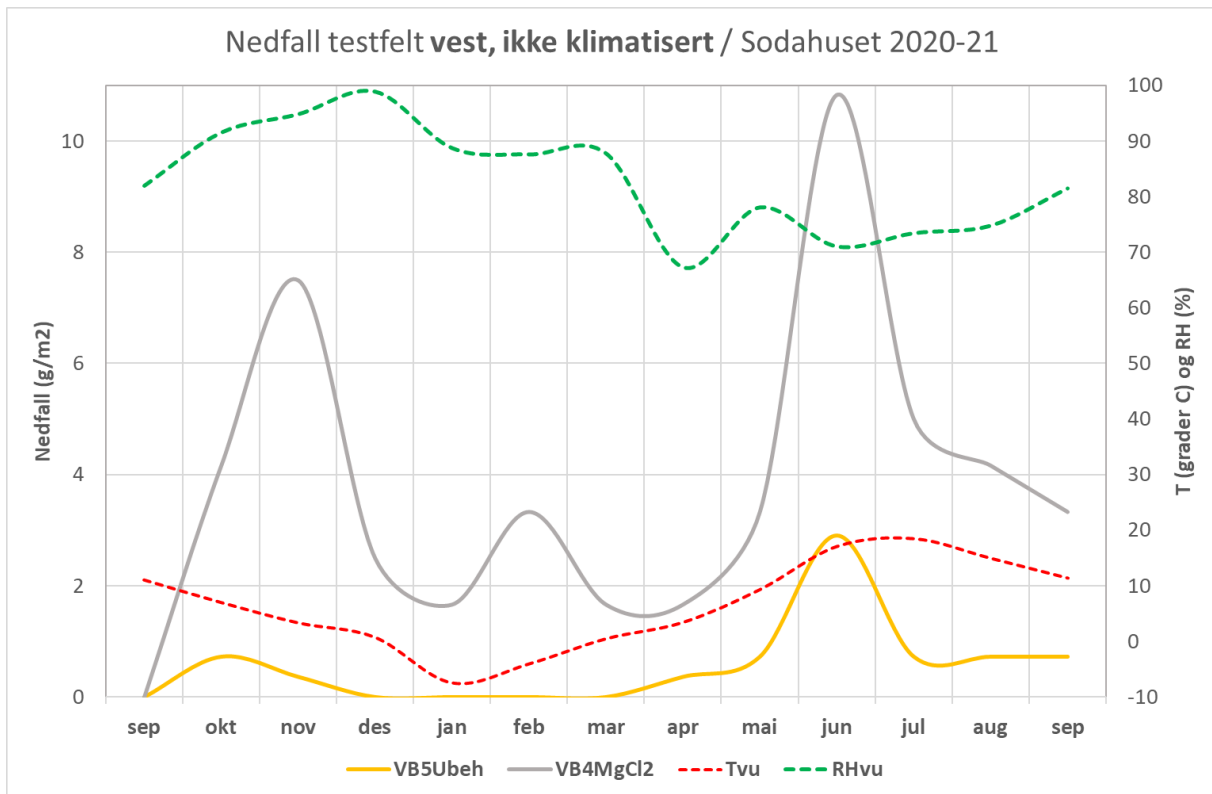


Figur 102: Forsøksfelt nord Sodahuset, ikke-klimatisert, klimadiagram (månedsverdier) og nedfall (månedsvise). Det er lite nedfall gjennom en kald og fuktig vinter. Nedfallet tar seg opp utover våren og når en topp på forsommeren. **Bildene viser kun det ubehandlede feltet.** Det er vanskelig å skjelle, men det er lite salt på høsten, de vokser litt utover våren og saltene er på svak retur i september. Det er sjelden en kan observere dehydrerte salt. Dette er et svært fuktig område i Fabrikken, noe som viser seg ved at mye salt er i løsnings og sjelden kan ses ved de høye RH-verdiene. Foto: M. Wantola.

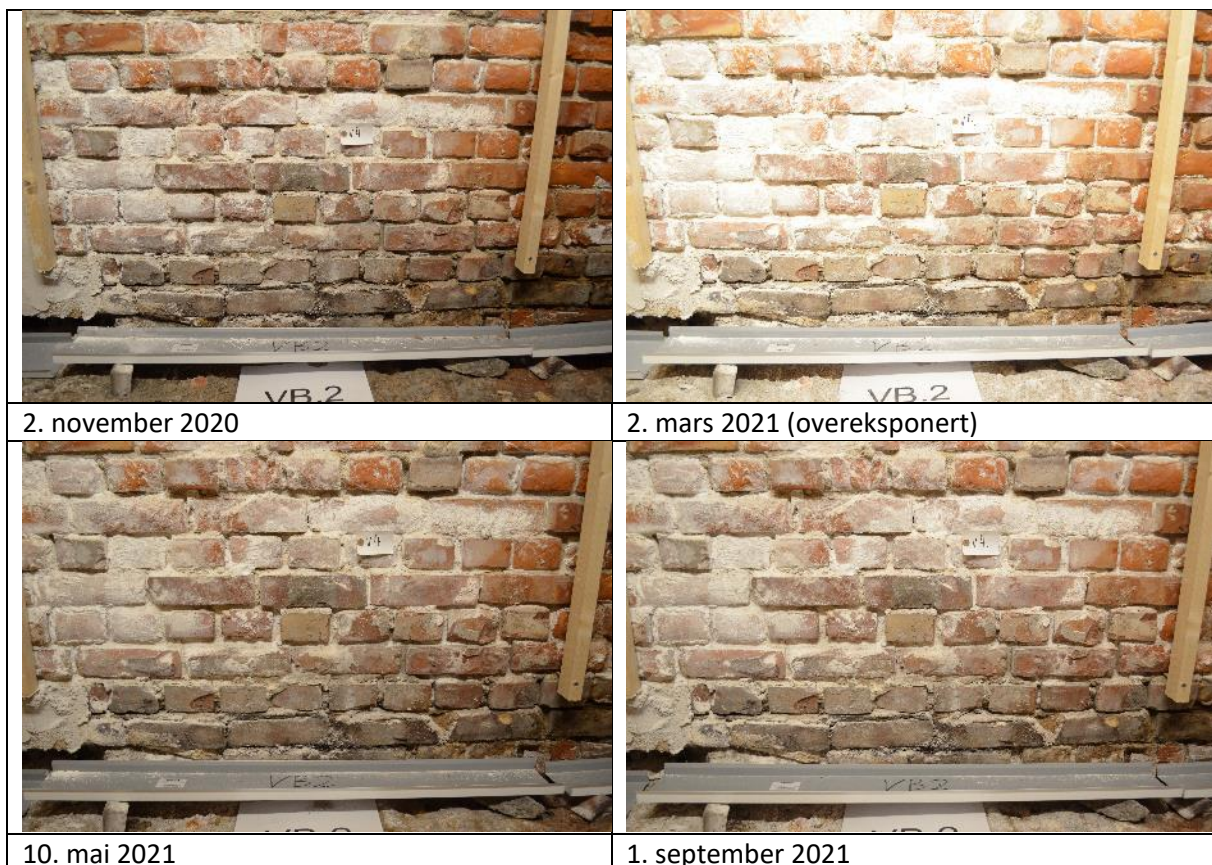
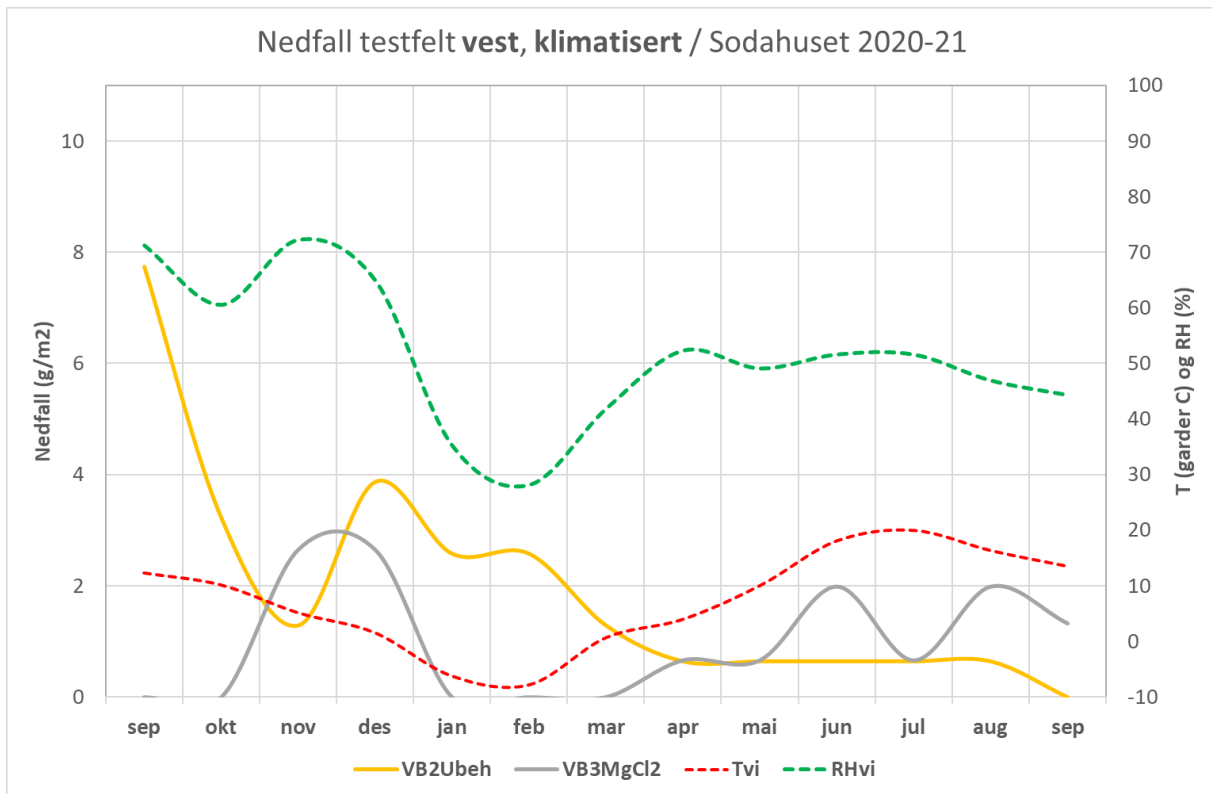


Figur 103: Forsøksfelt nord Sodahuset, klimatisert, klimadiagram (månedsverdier) og nedfall (månedvis). Etter en uforklarlig topp i starten, er det lite nedfall gjennom en kald og tørr vinter. Nedfallet holder seg lavt utover våren og sommeren, men feltet behandlet med magnesiumklorid får en topp i juni. Bildene viser kun det ubehandlede feltet. I november er det litt krystallisasjon, men utover den tørre vinteren er saltene stort sett i dehydrert form. Fra våren og gjennom sommeren har det dannet seg mye salt på grunn av den betydelige grunnfukten, men det dreier seg mest om ganske stabile, delvis dehydrerte skorpe-lignende forekomster. Foto: M. Wantola.





Figur 104: Forsøksfelt vest Sodahuset, ikke-klimatisert, klimadiagram (månedsverdier) og nedfall (månedsvist). Det er svært lite nedfall i det ubehandlede feltet, men feltet behandlet med  $MgCl_2$  utmerker seg med mer nedfall. Bildene viser kun det ubehandlede feltet og en ser at det er nesten ingen ting som har forandret seg. Saltene er stort sett i dehydrert form, unntatt helt nede ved golvet, der det er fuktigst. Dette er en viktig observasjon og indikerer 1) at det er lite fukt fra bakken og 2) at det trolig er et tørrere inneklimate her ved den solfylte vestveggen enn hva klimamålingene viser. Foto: M. Wantola.



Figur 105: Forsøksfelt vest Sodahuset, klimatisert, klimadiagram (månedsverdier) og nedfall (månedsvist). Det er lite nedfall i alle felt og svært lav luftfuktighet gjennom hele 2021. **Bildene viser kun det ubehandlede feltet** og en ser at det praktisk talt er ingen ting som har forandret seg. Saltene er alltid i dehydrert form, unntatt helt nede ved golvet, på grunn av litt grunnfukt. Foto: M. Wantola.





*Figur 106: Hovedtestfelt på nordveggen i Sodahuset, ikke-klimatisert: Her ser vi at offerpussen tar opp salt og gir krystallisasjon på overflaten. Bilde fra september 2021.*



*Figur 107: Hovedtestfelt på nordveggen i Sodahuset, ikke-klimatisert. Her får vi et inntrykk av hvordan teglveggen behandlet med saltkonvertering/magnesiumklorid virker fuktig, men at det fortsatt er noen «restsalter». Bilde fra september 2021.*



## 5.4 Resultater fra øvrige felter med offerpuss

I flere andre felter er det som over beskrevet blitt testet ut offerpuss i mindre og større skala:

- Sodahuset små offerpussfelt
- Fyrhuset offerpuss
- Sodahuset store offerpussfelt

Her følger resultatene fra disse feltene, som ble satt opp i august 2020.

### 5.4.1 Sodahuset små offerpussfelt

Dette dreier seg om tre små felt brukt for i august 2020 å håndverksmessig lære seg bruk av hotmixet mørtel (se over) og en kommersielt tilgjengelig offerpuss basert på kalk, sement, svært fint tilslag og høy porøsitet (Keim saneringspuss, såkalt Porosan HF, se

[https://www.keim.com/fileadmin/user\\_upload/download-center/dk/TekniskeDatablade\\_DK/KEIM\\_POROSAN-HF-SANERINGSPUDS\\_0620.pdf](https://www.keim.com/fileadmin/user_upload/download-center/dk/TekniskeDatablade_DK/KEIM_POROSAN-HF-SANERINGSPUDS_0620.pdf))



Figur 108: De små offerpussfeltene på nordvestveggen inne i Sodahuset – felt opprettet for å lære seg å håndtere offerpuss. Foto: M. Wantola.

Det dreier seg om tre små delfelt:

#### Det lille feltet (1)

1. Fjerning av salt og løse biter, deretter vanning, ingen grunning
2. Påkast hotmix med Agri brentkalk pulver, 1:2 (ferdig), natursand 0-4 mm, tynt lag, ca. 1 cm.
3. Manuell komprimering, og skuring med tykk slemming dagen etter
4. Lite svinnsprekker, trolig pga. relativt tørr og mager blanding

Dette feltet har stått seg bra til høsten 2021, med veldig få forandringer. Nær totalt karbonatisert. Krystallisasjon av salt foregår på deler av overflaten, spesielt til høyre.



### **Det midtre feltet (2)**

1. Fjerning av salt og løse biter, deretter vanning
2. Grunning med Porosan HF
3. Pussing med samme Porosan, relativt tynt, ca. 1 cm

Det var vanskelig å benytte Porosan, etter blanding av den tørre massen ble mørtelen «limet» og måtte mer «smøres» enn kastes på. Det ble en god del svinnsprekker i en grov, dårlig bearbeidet overflate og i ettertid viser feltet avskallinger med mye salt under. Siden dette var en aller første test med puss, har dette trolig mye med håndverksutførelsen å gjøre. I en senere test (fyrhuset, se under) gikk det mye bedre.

### **Det store feltet (3)**

1. Fjerning av salt og løse biter, deretter vanning
2. Grunning med tykk slemming, 1:2 (ferdig), blandet som hotmix med Agri brentkalk
3. Hotmix med Agri brentkalk, ca. 1:1,5 (ferdig), natursand 0-4 mm, relativt tynn puss, 1-2 cm
4. Pussen ble for feit og våt, sprakk mye opp
5. Feltet tatt ned og murt opp igjen med en tilsvarende puss, men magrere (ferdig 1:2). Noe svinnsprekker, men en mye bedre puss. Ingen spesiell overflatebehandling, overflaten fremstår som grov.

Høsten 2021 er puss, nær totalt karbonatisert og har tatt opp mye salt helt nede i grunnfuktsonen. Det er noe svinnsprekker, men alt i alt virker puss å oppfylle kriteriene til en offerpuss.

#### **5.4.2 Fyrhuset offerpuss**

Litt tilfeldig ble det besluttet å bruke restene av innkjøpt Porosan-puss til et prøvefelt på det sterkt saltbelastede murverket omkring fyrkjelen i Fyrhuset (på den vestre siden). Med erfaringen fra de første forsøkene lyktes det Maciej Wanola å sette opp et felt med først rensing av murflatene, så grunning og deretter en relativt tynn hovedpuss mot slutten av august 2021.

Denne puss har holdt seg svært bra og viste tidlig tegn til å ta opp store mengder salt som krystalliserte på overflaten. Det har blitt litt skader i overflaten ved pulverisering på grunn av alt saltet, men viktigere er at det nå er svært enkelt å fjerne saltet mekanisk ved å børste eller støvsuge, slik at en langsomt kan starte med reduksjon av saltmengdene på murverket.

Porosan er et dyrt produkt og med høyt sementinnhold og også ikke-deklarete tilsetninger. Vi vil derfor ikke anbefale det for generell bruk i fabrikken. Men resultatene så langt viser at dette kan være et godt produkt til å ta opp salt i ekstreme situasjoner, dvs. at man kan ha dette produktet som en del av paletten for bevaring.

En må være oppmerksom på at også andre offerpusser kunne ha gitt tilsvarende resultater i den aktuelle situasjonen. Situasjonen kan bl.a. godt ligge til rette for at nesten hvilken som helst kalkbasert offerpuss kunne ha gjort samme nytten.

Derfor er det å anbefale at man setter opp prøvefelt rett ved siden av med hotmix-mørtel eller andre typer kalkbaserte mørtler.



*Figur 109: Fyrhuset – murverket omkring fyrkjelen, vestre side. Offerpuss med Keim Porosan HF som har fungert utmerket og tatt opp store mengder salt mellom august 2020 og høsten 2021. Her er det lett å børste eller støvsuge vekk saltet for å redusere mengdene salt i murverket på sikt. En skal være oppmerksom på at fukt- og saltforholdene nå er dramatiske i denne delen av bygningen og at en ikke uten videre kan sammenligne de store saltmengdene på pussmørtelen med andre offerpusser vist på bilder i denne rapporten.*



### 5.4.3 Sodahuset store offerpussfelt

For å få et inntrykk av hvordan offerpuss i større skala tar seg ut – også estetisk – besluttet Anno Klevfos ved Anders Nordbakken i samarbeid med murer Tore Granmo å sette opp to større felt på nordveggen i Sodahuset i august 2021.

Det ble benyttet to blandinger:

- Hotmix (som over) med brentkalk fra Franzefoss og lokal sand i blanding 1:1,5 (ferdig) på det østre feltet. Her ble det entydig benyttet for feit blanding og det medførte større svinnsprekker og mye etterarbeid med komprimering og bearbeiding av sprekker.
- Ferdig blandet, innkjøpt hydratkalk fra Målarkalk i Sverige i blanding 1:3 (CL90 fra Målarkalk, se <https://www.malarkalk.se/produkter/kalkbruk/lufth%C3%A4rdande-kalkbruk/luftkalkbruk-cl90-13>). Denne kalken fungerte godt, den krakelerte ikke og det var ikke behov for etterarbeid.

Selv om hotmisen fikk mye svinnsprekker, så har begge kalkene i ettertid stått seg godt og tatt opp visuelt betraktet like mye salt (og fukt) i grunnfuktsonen. Men en må ta med i betraktningen at dette er svært unge pusser. De er ennå ikke karbonatiserte (september 2021, testing med fenolftalein) og mye kan endre seg i løpet av det neste året.

Men det er helt klart at en så feit blanding som 1:1,5 (ferdig) med hotmix ikke kan brukes for videre, større arbeider. I øvrige, mindre felter (se over) har vi hatt rimelig god erfaring med magrere blandingsforhold (1:2), noe som ofte har gått rimelig bra. Det er ikke umulig at en kan benytte enda magrere blanding for hotmix og få tilsvarende resultat, men med en mørtel som er lettere håndterbar ved påføring, f.eks. 1:2,5 (ferdig).



Figur 110: Store felter med kalkbasert offerpuss satt opp i Sodahuset i august 2021 med tydelige tegn til oppadstigende fukt og saltutslag. Når saltutslagene kommer i og på pussen er den virksom som offerpuss. Til venstre: Ferdigblandet Målarkalk (1:3). Til høyre: Egenprodusert hotmix (med Franzefoss brent kalk i pulver).



Figur 111: Nærbilde av de to pussmørtlene påført på nordveggen i Sodahuset i august 2021. Til venstre Målarkalk, til høyre hotmix med brent Franzefosskalk. Franzefoss er grålig i fargen siden den ennå ikke er særlig karbonatisert – og den oppviser store svinnsprekker fordi den var blandet for feit. Målarkalken er lett rødlig i fargen og viser ikke svinnsprekker. Begge kalkene tar opp salt og fukt.

#### 5.4.4 Samlet vurdering av offerpussene

Etter prøving og feiling og observasjoner gjennom opp til mer enn ett år, kan vi si at varianter av alle pussmørtlene som vi har testet ut trolig kan brukes som offerpuss, listet her fra billigst til dyrest:

- **Egenprodusert hotmix** basert på Franzefoss Agri brentkalk i pulverform med lokal natursand (0-4 mm). Blandinger fetere enn 1:2 (ferdig lesket) er ikke å foretrekke; da blir det for mye svinnsprekker. En kan godt teste ut blandinger på 1:2,5 eller 1:3. Flere felter i blanding 1:2 (i bl.a. hovedtestfeltene) har stått seg godt i mer enn ett år nå.
- **Ferdigblandet Målarkalk** (hydratkalk) i blanding 1:3 med sand 0-4 mm. Denne fungerer godt på kort sikt (ca. to måneder etter påføring), og det antas at den også vil klarer seg på lengre sikt. Dette legger til rette for at det også er mulig å lage egenprodusert pussmørtel basert på innkjøpt hydratkalk.
- **Ferdigblandet Keim Porosan HF**, spesialmørtel for å ta opp salt, med innhold av kalk, sement, svært finkornet tilslag (0-0,4 mm?), samt ikke-deklarererte kjemikalier. Spesielt i ett felt har denne pussmørtelen fungert godt, uten at vi ennå har testet hvordan andre pussmørtler vil fungere i den tilsvarende situasjonen.

Siden alle disse produktene har vist sin evne til å fungere som offerpusser, har en nå et «arsenal» for utvalg og videre eksperimentering for å finne en enkel, kalkbasert «standardpuss» som kan matche de opprinnelige pussmørtlene i fabrikken best mulig. Som nevnt tidligere vet vi ikke om det er benyttet hotmix eller hydratkalk for blanding av de gamle pussmørtlene. Dette kan en kanskje finne ut av ved mer dyptpløyende naturvitenskapelige undersøkelser.



## 5.5 Resultater fra tester med plexiglass

Vi har argumentert for at det ikke er å anbefale å klimatisere fabrikken til høy relativ luftfuktighet for å la saltene være i løsning mesteparten av tiden slik at skadepotensialet kunne ha blitt redusert. Om en skulle ha gjort dette, så ville det utvilsomt ha gitt 1) mer kondens, 2) mer rust, 3) mulige problemer med organisk vekst og 4) problemer knyttet til at mange salter uansett til en viss grad ville ha krystallisert – samt mulig med problemer med frost.

Men det er viktig å få en forståelse for hva som kunne ha skjedd ved svært høy luftfuktighet. Derfor har vi altså benyttet plexiglassmetoden som beskrevet i starten av kapittel 5. Her er resultatene fra disse fornøyelige eksperimentene, som faktisk har gitt ny innsikt.

### 5.5.1 Sodaovn plexiglass

Den østre av de to sodaovnene er ekstremt preget av saltforvitring, som tidligere anført på grunn av store saltkilder i omgivelsene og fordi en her mistenker problemer med grunnfukt og har observert tidvis overvann. Plexiglasset ble montert nede på ovnens nordre side, etter at kilovis med salt og forvitret material var skyflet vekk. Deretter observerte vi hva som skjedde fra august/september 2020 til september 2021.

Det skjedde i praksis ingen verdens ting. Saltene ble alltid holdt i løsning bak den helt tette plexiglassløsningen og det var minimal forvitring; saltene kunne ikke krystallisere på grunn av den ekstremt høye luftfuktigheten – så høy at det regelmessig dogget på plexiglasset, dvs. 100% mesteparten av tiden. Dette kan bare bety at det er netto fukttilgang fra grunnen til fundamentene til sodaovnen. Ovnens kan ikke tørke ut, og det vil si at med de ekstreme saltkildene som finnes både i nærheten og i sodaovnen selv (svartstoff), så er ovnen dømt til å forvitte i stykker – om en da ikke installerer et tett hylster omkring hele ovnen, noe som ikke er mulig eller ønskelig. Om en skal kunne bevare ovnen så må altså grunnfukten og overvannet kraftig reduseres og saltkildene saneres. Dette gjelder ikke minst de store mengdene salt som nå ligger langs ovnen selv. De må spas vekk!



Figur 112: Plexiglass montert på nordsiden av den østre sodaovnen for å holde mikroklimaet på 100% luftfuktighet.

### 5.5.2 Varpa plexiglass

På nordveggen av det kraftige fundamentet til varpa har vi et tilsvarende plexiglassfelt. Dette ble opprettet bl.a. fordi det er sterk forvitring her, men lite observerbart salt. Det er altså uklårheter om hva forvitringen faktisk skyldes. Er det salt i spesifikke perioder – eller kan det være frost? Med observasjon av prøvefeltet har vi etter mer enn ett år ikke kommet til en entydig konklusjon, men feltet har gitt verdifulle indikasjoner:

- Innenfor plexiglasset er det alltid en viss, liten saltkrystallisering og plexiglasset selv har sjelden eller aldri dogg. Det er heller aldri synlig fukt på teglsteinen. Det betyr at det ikke er 100% luftfuktighet her, selv om glasset er tett.
- Rett utenfor plexiglasset kan en imidlertid ofte observere teglstein med mye fukt på overflaten, sjelden salt. Det viser at fukten er høyere her enn innenfor plexiglasset.

Dette betyr at det generelt er tørrere innenfor enn utenfor plexiglasset. Det betyr videre at det ikke er noen grunnfuktkilde som oppkonsentrerer fukt innenfor glasset. Dette er ikke så rart. Våre undersøkelser har vist at varpefundamentet stort sett står på fjell. Da blir det lite grunnfukt.

Men hvor kommer fukten på teglsteinene utenfor plexiglasset fra? Det dreier seg nok om kondens. Varpefundamentet er en massiv murkonstruksjon som holder seg kald store deler av året, men naturligvis ikke sensommer og tidlig høst. Det skal lite til av milde vinder før det blir dannet dogg.

Siden plexiglasset gjør at det ikke blir fullt så kaldt på murverket innenfor som utenfor og siden det er tørrere bak, så blir det sjelden eller aldri kondens – og derfor kan saltene krystallisere, om enn i liten skala. I et større perspektiv betyr dette at kondens er en svært viktig fuktkilde på massive konstruksjoner i fabrikken, og dermed en trigger til saltkrystallisering. Det er vanskelig å observere ødeleggende forvitring trigget av kondens og tørke, fordi det ikke skjer så ofte. Men det skjer. Akkurat som frostforvitring, som heller ikke lett lar seg observere.



Figur 113: Prøvefeltet med plexiglass på nordsiden av varpefundamentet. Innenfor plexiglasset er det tørrere enn utenfor. Det øvre bildet til høyre viser litt saltkrystallisering innenfor glasset, det nedre bildet viser kondens på teglstein utenfor glasset.





Figur 114: Plexiglassfeltet på østsiden av murverket som omslutter fyrkjelen i Fyrhuset. Bildet er tatt sommeren 2021, under relativt tørre klimaforhold. Vi ser at det er en nær sirkulær «kjerne» av høy fuktighet på murverket, som hindrer salt i å krystallisere. Men vi ser også at i de øvre og venstre deler av murverket, så er det tørt nok til mye krystallisasjon. Men alt i alt så har plexiglasset hindret krystallisasjon av salt, på lik måte som på sodaovnen (se over).

### 5.5.3 Fyrhuset plexiglass

I Fyrhuset er det på østsiden av murverket til fyrkjelen satt opp et stort felt med plexiglass. Vi vet at Fyrhuset er sterkt påvirket av grunnfukt – som går høyt opp i murverket her på grunn av de fuktige forholdene. Murverket omkring fyrkjelen er litt som på sodaovnen; det er hult innvendig, litt mer massivt, men på langt nær så massivt som på varpa i Sodahuset. Derfor får vi bak plexiglasset en litt tilsvarende situasjon som på sodaovnen. Fukten stiger opp og det er nesten alltid 100% fukt bak plexiglasset, ofte dogg på glasset, noe som gjør at saltene ikke kan krystallisere.

Men i enkelte perioder på året – sommeren – blir det såpass tørt i grunnen at det også tørker ut i de øvre sonene bak plexiglasset. Da får vi saltforvitring også her. Så gjør den komplekse fordelingen av fukt og salt sitt til at plexiglasset hindrer salt i å krystallisere i visse områder også rett utenfor glasset.

Situasjonen viser at selv om en klimatiserer fabrikken innvendig til svært høy luftfuktighet, så vil det i spesielle soner likevel forekomme saltforvitring. Dette har å gjøre med store variasjoner i mikroklima, men også med de spesielle saltypene vi har å gjøre med på Klevfos – natriumsulfater og natriumkarbonater. Slike salter har dessverre den evne å krystallisere også i områder med høy luftfuktighet.

### 5.6 Bruk av subbus for demping av saltforvitring

Subbus har vært brukt i fabrikken i mer enn 20 år, først og fremst for å legge til rette for besøkende, slik at de har hatt et noenlunde jevnt underlag å gå på i bl.a. Sodahuset. Men subbus har vist seg å ha kvaliteter som begrenser saltforvitringen. Det har man tidligere observert ikke minst i Sodahuset: Med subbus over sterkt saltinfisert grunn/golv blir det mindre synlig salt, uten subbus blir det mer.

Årsaken er trolig omtrent den samme som ved forsøksfeltene med offerpuss. Subbusen lar fukten slippe ut, med holder fuktigheten relativt høy under. Skulle saltene krystallisere, så kan de gjøre det primært i subbusen.

Man tenker ikke på subbus som en langsiktig bevaringsmetode og slett ikke langs murvegger – da man kunne tenke seg at den vil tvinge salt opp i muren. Eller at subbus ikke er «tett» nok, tørker ut til en svært porøs masse og likevel lar salt krystallisere i strukturene man vil beskytte. Subbus blir altså forstått først og fremst som en kjærkommen, kortsiktig utsettelse av sterk forvitring i en hverdag som ofte preges av hard prioritering – i påvente av større tiltak. Men med jevnlig vedlikehold, dvs. fjerning når subbusen har tatt opp salt, og deretter erstatning, så kan – som en hypotese – subbus tjene som et mer permanent bevaringstiltak. Men det forutsetter vedlikehold, kanskje på lik linje med reparasjon av offerpuss når den er skadet.

Vi har testet subbus for å begrense forvitring omkring flere søylefundamenter i stein, tegl, betong, mørtel, ofte sterkt angrepet av fukt og salt i grunnen. Et forsøk foregår i kokerikjelleren. Her ble forvitrende fundamenter dekket med subbus sommer/høst 2020 i påvente av større tiltak for å begrense grunnfukt og utbedre fundamentene. Så langt har det fungert bra, og det er mindre forvitring enn før. Men det kreves mer overvåkning for å kunne konkludere om hvor tilfredsstillende resultatene er.



*Figur 115: Testfelt med subbus over søylefundamenter i kokerikjelleren, etablert sommer/høst 2020. Disse har hindret større saltutblomstringer og skader på fundamentene, men er foreløpig å anse som et midlertidig tiltak i påvente av reduksjon av grunnfukt og reparasjon av fundamentene.*

## 5.7 Laboratorieforsøk med saltkonvertering ved bruk av magnesiumklorid

De praktiske forsøkene gjengitt i denne rapporten har vist at saltkonvertering ikke er en metode man bør gå videre med. Men det er en kjensgjerning at denne formen for saltkonvertering fungerer i laboratoriet, noe Morten Hjarnø også har vist oss ved flere tidligere forsøk på Klevfos. Derfor har vi gjennom mer enn ett år drevet et eget, enkelt forsøk på kontoret i Hyllestad for å forstå hvorfor slik konvertering fungerer i en mindre, kontrollerbar skala.





Figur 116: Saltkrystallisasjonsforsøket. Tegl med magnesiumklorid til venstre. På det øvre bildet har saltene krystallisert og skapt mer skade på den ikke-behandlede steinen. På bildet under er deler av steinene i ferd med å tørke opp etter at vann har blitt tilført karene. Vi ser at det tørker raskere opp i karet med den ubehandlede steinen. En viktig observasjon etter ett år er også at saltene på den ubehandlede steinen ikke helt forsvinner etter at vann er tilført, også i svært fuktig høstklima.

Forsøket er svært enkelt. En løs teglstein fra Klevfos (Luthuskjelleren) infisert med salt, både natriumsulfat og natriumkarbonat, ble splittet og satt i to vannbad. Ca. 20 g salt samlet i luthuskjelleren ble ytterligere tilført vannbadene. I det ene vannbadet med teglstein ble det i tilført ca. 30 g magnesiumklorid, for å sikre et lite overskudd for reaksjon med natriumsulfat og natriumkarbonat.

Så ble begge vannbad med teglstein satt ut i friluft, men under tak, utsatt for uteklimaet uten regn, for kapillær oppsuging av saltløsningen, fordampning og saltkrystallisasjon, omtrent som det skjer i virkeligheten etter en regnværsperiode inne i fabrikkbygningene. I løpet av et par uker var alt vann fordampet, en mengde salt krystalliserte på teglsteinen uten magnesiumklorid og det oppsto mange saltskader. For steinen med magnesiumklorid tok det nok et par uker. Det ble etter hvert helt åpenbart at krystallisasjon og forvitring foregikk langt heftigere på teglsteinen som ikke var behandlet med magnesiumklorid. I løpet av ett år er en tilsvarende syklus gjentatt 3-4 ganger, alltid med det samme resultatet: Teglsteinen behandlet med magnesiumklorid forvitrer langt mindre.

Et slikt forsøk, der man kan observere forvitningsfenomener fra time til time, fra dag til dag, fra sesong til sesong, gir mange interessante, vitenskapelige resultater. Vi har samlet nok data til en liten publikasjon. Her skal vi nøye oss med følgende:

Om saltkonverteringen skal være virkelig effektiv, kreves det store mengder injisert og kapillært, effektivt opptatt magnesiumklorid. Det kan man sjelden oppnå i praktiske situasjoner, med store

veggflater bygd med teglstein og mørtel. Selv etter ett år med konvertering under laboratorieforhold på bare en halv teglstein, og med et lite overskudd magnesiumklorid, viser analyser at saltene som krystalliserer og gjør litt skade, faktisk fortsatt er natriumsulfat (mirabilitt). Det kan altså se ut til at det tar lang tid før natriumklorid vil krystallisere.

At den behandlede teglsteinen totalt sett viser mye mindre saltforvitring, har ikke bare å gjøre med at mye, men ikke alt, opprinnelig salt konverteres etter et år, men også at tilførsel av magnesiumklorid skaper et ekstremt hygroskopisk miljø. Saltforvitringen går saktere i et slikt miljø – der kloridsaltene (løst magnesiumklorid og natriumklorid) tar opp fuktighet fra omgivelsene. Dette kan man enkelt bevitne ved at fordampning fra vannbadet med magnesiumklorid går mye saktere enn fordampning fra vannbadet uten klorid. Kloridene holder på vannet. Det er også en viktig grunn til at natriumklorid ikke ofte krystalliserer – det er sjelden RH går under 65-75% på overflaten av den kloridinfiserte steinen.

Forsøket viser at det definitivt er mulig å begrense saltforvitring på Klevfos ved injisering av magnesiumklorid. Men det har en høy pris: Det ville i praksis bety å måtte injisere tusenvis av liter magnesiumklorid-løsning i murene – og ta følgeskadene: Et ekstremt hygroskopisk, kloridinfisert miljø med etter hvert enda mer rustende jern- og metallinstallasjoner.

Salt og saltforvitring har en kompleks dynamikk en ikke umiddelbart kan forstå ved teori og enkle, kortvarige laboratorieforsøk alene. Det er praksis som gjelder. Eller for å si det på en annen måte: Klevfos kjenner vi i dag som det kulturminnet i landet som er sterkest påvirket av saltforvitring. Det er en forvitring vi fortsatt strever med å forstå fullt ut for å kunne kontrollere den. Om vi tilfører nok et salt til dette kompliserte systemet, så kan vi være nokså sikre på at forståelse og mulighet for kontroll ikke blir særlig bedre.



## 6 Oppsummering og anbefalinger

Klevfos cellulosefabrikk og industrimuseum er trolig det kulturminne i Norge som er mest påvirket av saltforvitring. Vi kjenner ikke tilsvarende eldre fabrikker med tilsvarende saltskader. Det dreier seg om massiv og rask forvitring som påvirker stabilitet til murverk, installasjoner og fundamenter. Til tross for at forvitringen er enestående, så har den paralleller i Norden (f.eks. festningen Suomenlinna i Finland). Betydelig saltforvitring finnes også på Nidarosdomen og i en rekke andre kulturminner i Norge. Det betyr at det finnes erfaringer fra andre kontekster som viser at forvitringen kan håndteres og på sikt sterkt begrenses. Stikkordet er ikke overraskende håndtering av fukt, på Klevfos spesielt grunnfukten. Begrenser en fukten, begrenser en samtidig forvitringen.

Undersøkelsene på Klevfos er utført i perioden januar 2020 til november 2021. De har inkludert litteraturstudier, gjentatt feltarbeid, innklimastudier, materialanalyser (salt), omfattende feltforsøk og overvåkning av prøvefelter for mulige bevaringsløsninger. Samlet kan resultatene, tolkningene og anbefalingene gjengitt i denne rapporten fra Kunnskapsprosjektets delprosjekt 1 oppsummeres slik:

### 6.1 Forvittringsårsaker

#### Kilder til salt

- Kildene til den massive saltforvitringen kan i all hovedsak tilskrives prosesskjemikaliene fra driften. Dette gjelder nær alle deler av fabrikkens, ikke bare i delene for gjenvinning av kokelut, dog i mindre grad for «papirlinja».
- Saltene er natriumsulfater og natriumkarbonater, som har reagert fra kokelut (natriumhydroksid og natriumsulfid, som ikke er stabile i luft), men også store mengder tilført natriumsulfat til gjenvinningsprosessen. Saltene har blitt tilført grunn og murverk ved spill, søl og lekkasjer fra den eldre, relativt åpne produksjonsprosessen, men også i damp- og gassform på grunn av de høye temperaturene i lutgjenvinningsanlegget. Det finnes også noe gips (sorte skorper) i fabrikkens, dels tilført gjennom svovelholdige gasser (luftforurensning).
- Kildene er også store mengder tilsynelatende tørre spill- og avfallsmasser fra driften (svartstoff, mesakalk o.a.) som fortsatt preger lutgjenvinningsanlegget. Disse massene er ikke tørre mot fuktig grunn og bidrar til at salt spres i anlegget.
- En kilde er også «regenererte salter». Når salt krystalliserer på murverk, så vil de falle ned på golvet som del av forvitringen. Etter oppløsning i fukt bidrar de til spredning og forvitring.

#### Transport og utbredelse av salt

- Det er fukt i grunnen og dårlig drenering som gjør at saltene kan løses opp og transporteres med vannsig i og omkring fabrikkens, samt ved kapillært oppsug i murverket. Lekkasjer og sterke kondenshendelser er også en betydelig kilde til mer lokal, kapillær transport av salt.
- Sodahuset, Luthuset, Fyrhuset og tilliggende bygningsdeler er mest påvirket av saltforvitring. Dette er bygningsdeler med svært mye grunnfukt. Der det er mye salt, men lite grunnfukt, er det færre problemer, som i Kokeriet.

#### Saltforvittringsmekanismer i murverk

- Saltene – natriumsulfater og natriumkarbonater – er noen av de mest skadelige saltene en kjenner til. Det er fordi de opptrer i ulike former, de er såkalte «hydratsalter». De kan sprengte murverk ved direkte krystallisering når murfukt fordampes, men de kan også gjøre skade ved omvandling fra en form til en annen når luftfuktigheten synker. Dette er salter som på komplekst vis reagerer med omgivende relativ luftfuktighet.

- Den mest kritiske perioden for saltforvitring er på sommeren, spesielt når det blir svært tørt. Da fordampes fukten i grunn og mur og en får dels betydelig forvitring.
- Det skjer mye forvitring også ellers i løpet av året. Slik forvitring er på ulikt vis koblet til regnværperioder, tørre eller kalde perioder – og ikke minst til innklimaet i fabrikken; dvs. til større eller mindre variasjoner i temperatur og relativ luftfuktighet. Dette er igjen koblet til hvordan saltene reagerer på både fukt i grunnen og fukt i luften.
- Forvitringen er preget av at fabrikken stort sett ikke er klimatisert. Innklimaet følger uteklimaet og siden grunnfukten er så høy, betyr dette at en får en «dobbel virkning» av saltene inne: Det er både innklimaets sterke sesongmessige variasjoner og grunnfukten som bidrar, men også oppkonsentreringen av salt: Ute, der salt regelmessig vaskes vekk av regnvær, blir det mye mindre forvitring. Inne kan ikke salt vaskes vekk av regn. En får derfor en tiltagende oppkonsentrering av salt i murverket.
- Murverket er ikke ensartet, det finnes bl.a. flere ulike typer teglstein med ulike egenskaper, fra svakt brente eldre, tegl til moderne hardbrente varianter. Saltene virker ulikt på de ulike variantene; dette har bl.a. å gjøre med styrke og porestruktur. Fuge- og pussmørtel er dessuten stort sett mer sensitive overfor saltforvitring.
- Det er benyttet mye sement i fabrikken, både i reparasjonsmørtler og i betongkonstruksjoner, ofte for sikring. I fuktige områder er sementmørtler skadelige, de gir økt salt- og frostforvitring på teglstein. Betongpåstøp kan virke tilsvarende, ved at fukt og salt presses oppover i murverket. Dessuten er det mistanke om at nyere betong brukt til bl.a. sikring av søylefundamenter ikke har god kvalitet.

### **Salt, frost og rust**

- Siden fabrikken i liten grad er klimatisert, er frost i kalde perioder en potensiell skadefaktor, inne som ute. Både frost og salt er avhengig av fukt, og siden det er salt nær over alt i fabrikken, er det derfor vanskelig å avgjøre den relative betydningen av frostforvitring og saltforvitring. Generelt er det imidlertid klart at salt er av større betydning enn frost i de nedre deler av murverket.
- Rust på bl.a. installasjoner og rør er et betydelig problem. Dette skyldes bl.a. sterke kondenshendelser i ikke-klimatiserte deler av fabrikken. Men det skyldes også de store mengdene sulfat som finnes i grunn og murverk i fabrikken. Der jern kommer i kontakt med saltinfisert grunn eller murverk er rustdannelsen høyere enn ellers.

### **Salt, frost og klimaendringer**

- Det er for fremtiden varslet høyere temperaturer og mer intens nedbør. Positivt for Klevfos kan være mindre frostforvitring, uten at vi i dag kan vurdere dette i detalj. Mulige hyppigere sykluser omkring frysepunktet kan virke negativt i forhold til det vanlige innlandsklimaet en har hatt på Klevfos.
- Høyere temperaturer og mer intenst regn er av åpenbar betydning for saltforvitring. Det vil føre til mer oppbløtning og heftigere fordampning, begge negativt når det gjelder saltforvitring – om det ikke utføres tiltak som kan dempe virkningene.

## **6.2 Anbefalinger**

### **Generelle betraktninger**

- Å ta hensyn til de pågående klimaendringene er viktig. Men det er viktigere å forstå at heftig regnvær, heftig fukt, heftig kulde, heftig tørke og heftig varme også har skjedd gjennom hele historien til Klevfos som fabrikk og industrimuseum. En kan lære av historien for å finne gode



bevaringsløsninger – og en kan lære av forholdene andre steder på kloden. I de fleste tilfeller dreier det seg om å håndtere overvann og fukt.

- I tillegg til å løse akutte problemer med fuktforholdene i bakken, så er det en rekke andre problemer som må løses, bl.a. med normalt, intensivt bygningsvedlikehold. På Klevfos dreier det seg om alt fra sikring av stabilitet, til å utbedre taklekkasjer og å bytte ut sterkt skadd teglstein i forvitrende murverk.
- Gjennom eksempler i rapporten er det vist at materialkvalitet er viktig ved restaureringer som må utføres med tegl, fugemørtel og betong. Teglkvalitetene for restaurering bør være så nær opp til opprinnelige stein som mulig, selv om også de har betydelig variasjonsbredde og påvirkes ulikt av forvitring. En må vurdere hvert enkelt tilfelle. Fugemørtler bør som hovedregel være på kalkbasis. Om det skal benyttes betong for sikringsarbeider, så må den være sulfatresistent og en må være påpasselig med armeringsdybden.

### **Indirekte bevaringsmetoder – drenering og klimatisering**

- Grunnfukt og overvann har tradisjonelt vært et sentralt problem, spesielt i lutgjenvinningsanlegget. Dette problemet må begrenses til et absolutt minimum for å redusere saltforvitring. Dette innebærer et betydelig arbeid med drenering. Påfølgende opptørking vil kunne ta flere år. Prosjektet «Vannets veier», startet av medarbeiderne på Anno Klevfos, er i denne konteksten det viktigste prosjektet som nå står for døren på Klevfos.
- Når grunnfukten og overvannet er under kontroll, og deler av fabrikkens påvirkes av dette har tørket rimelig ut, ved hjelp av de gode naturlige ventilasjonsforholdene i fabrikkens, kan en i større detalj diskutere klimatisering på grunnlag av forholdene som observeres.
- Fabrikkens vil generelt ha godt av klimatisering. Siden en har å gjøre med salter fra natriumsulfat og natriumkarbonat, vil det ikke være mulig å klimatisere til høye relative luftfuktigheter for å holde saltene i vandig løsning. Dette kan ikke fungere fordi saltene også er aktive i området fra ca. 70/80-100% relativ luftfuktighet. Dessuten vil så høye luftfuktigheter bidra til mer kondens, mer rust og et potensial for biologisk vekst. Derfor må en klimatisere til lav luftfuktighet, under ca. 60%, kanskje ned mot 50%, for å «passivere» saltene og begrense øvrig skaderisiko. I klartekst: En bør så langt som mulig holde saltene i deres såkalte «dehydrerte former», som thenarditt og thermonatritt.
- Det ville ha vært en fordel om luftavfukting ble fulgt av en viss oppvarming, slik at en holdt temperaturen over 0 grader i den kalde årstiden. Dette ville ha hindret frost innvendig, ytterligere begrenset saltforvitring og redusert faren for kondens. Men oppvarming er dyrt og krever omfattende isolasjon. Derfor er det i praksis vanskelig å gjennomføre.
- Å utføre klimatisering ved avfukting uten først å ha sterkt begrenset grunnfukten kan på flere steder vise seg å være lite virkningsfullt, i verste fall kontraproduktivt. I de fuktigste sonene vil et inn klima med konstant lav luftfuktighet bidra til regelmessig høy fordampning om det kommer mye grunnfukt inn – og dermed sterk saltkrystallisering av «primære» salter, mirabilitt og natron. Dette kan bli som i en tørr sommer, som i 2018, da forvitringen var kraftig.
- Parallelt med arbeidet for å eliminere grunnfukt må andre indirekte, forebyggende arbeider utføres; det viktigste er å fjerne så mye som mulig av de fuktpåvirkede, saltinfiltrerte massene i fabrikkens (avfallsmasser, bl.a. gjenværende svartstoff og mesakalk).
- Fjerning av saltinfiltrerte masser må også inkludere regelmessig fjerning av synlig salt på og langs vegger og installasjoner. Mekanisk fjerning av synlig salt, f.eks. ved støvsuging, vil alltid bidra til begrenset av forvitring på sikt.

### Direkte bevaringsmetoder - offerpuss

- Det er entydig vist at bruk av flere ulike offerpusser basert på enkle, kalkbaserte kalkmørtler, samt en kommersielt tilgjengelig offerpuss, vil ha stor betydning for bevaring av murverket. Offerpuss vil ta opp salt, som kan fjernes når det krystalliserer, men offerpussene må også repareres/fornyes med jevne mellomrom, når de blir skadet og ikke lengre oppfyller hovedfunksjonen: Å ta opp salt for å hindre at det overleverte murverket blir ytterligere skadet. Denne essensielle funksjonen medfører at innvendige murvegger som hovedregel bør pusses i fremtiden, slik de var i driftstiden, spesielt i soner som er mest påvirket av salt, ofte i grunnfuktsonen.
- Det gjenstår å besvare viktige spørsmål omkring hvilke typer kalkbasert offerpuss en bør ta i bruk, omfang av slik pussing og hva som vinnes – og hva som går tapt – ved å benytte en slik metode i større omfang i fabrikken.

### Direkte bevaringsmetoder – kapillærbrytende sjikt

- Å hindre oppadstigende fukt ved å kutte tilgangen til fukt i nedkant av murverk med ulike typer fuktsperre kan bli aktuelt i begrensede deler av murverket. Dette gjelder spesielt der det i dag ikke er steinfeldamenter eller de nedre deler av teglveggene er dekket med masser som fører fukt inn. Slike tiltak er inngripende og må naturlig nok ses i sammenheng med det viktige dreneringsarbeidet som må utføres.

### Direkte bevaringsmetoder – saltkonvertering

- Det frarådes å benytte irreversibel saltkonvertering basert på magnesiumklorid eller kalsiumklorid. Det er vist at slik behandling krever store mengder klorid og til og med kan føre til økt forvitring. Man vil ved tilføring av klorid skape svært hygroskopisk murverk og der jern/metall blir påvirket av klorid vil det føre til økt rustdannelse.

### Overvåkning og oppfølging

- Hovedtestfeltene bør følges i flere år for å få flere resultater/bekreftede foreløpige resultatene. Metodene for oppfølging bør være de samme som nå, men det er ikke behov for nåværende hyppighet (ved hvert månedsskifte). I stedet kan en regelmessig følge opp etter hver sesong (vår, sommer, høst, vinter), dvs. i månedsskiftene april/mai, juli/august, oktober/november og januar/februar. Ved oppfølgingen av hovedtestfeltene er det naturlig at observasjoner fra de øvrige testfeltene inkluderes.
- Etter hvert som en starter med utførelse av tiltak foreslått i denne rapporten, er det nødvendig å etablere gode overvåkningsrutiner (f.eks. jevnlig fotografering) for å sjekke virkningen til tiltakene. At saltenes aktivitet reduseres er den viktigste indikatoren, men det kan også være fornuftig å etablere et system for direkte fuktovervåkning i viktige murverkspartier. Vi har ikke i denne rapporten omtalt vanskelighetene med å måle fukt direkte med elektroniske metoder i svært saltbelastet murverk. Kanskje en bør benytte den tradisjonelle treklossmetoden? Altså i egnede, forseglede borhull plassere en trekloss, opphengt unna saltpåvirkning, som tas ut og veies med jevne mellomrom.

Alle tiltak foreslått, enten de er indirekte eller direkte, reversible eller irreversible vil på ulike måter påvirke kulturminneverdiene i fabrikken, spesielt gjelder dette nye installasjoner for klimatisering, men også bl.a. bruk av offerpuss og fjerning av saltinfiserte masser som er med å fortelle historien til fabrikken. Dette er temaer som tas opp i full bredde i Fabricas hovedrapport (sluttrapport) fra Kunnskapsprosjektet.



## 7 Kommentert bibliografi

De viktigste kildene benyttet under arbeidet er sammenfattet og kommentert under, noen av dem er også gjengitt i teksten.

### 7.1 Celluloseproduksjon og gjenvinning av kokelut

Det finnes en rekke verk om eldre celluloseproduksjon. Mange av dem finnes i det rikholdige biblioteket til Anno Klevfos. Men det sentrale enkeltverket vi har benyttet for å forstå produksjonen i en gammeldags fabrikk som Klevfos, ikke minst hvordan gjenvinningsanlegget fungerte, er:

- Mathiesens, E. 1954. *Sulfatcellulose og Kraftpapir*, Fredrikstad  
<https://www.nb.no/nbsok/nb/b3a58df2101e76c029553de2095fdab6?index=1#0>

For å forstå hvordan de generelle produksjonsskrittene er tilpasset på Klevfos, har

- Skjoldhammer, U. 1987. Utskrift av intervju med Sigurd Tomter, Anno Klevfos

vært til uvurderlig hjelp. Tomter arbeidet i fabrikk fra 1924 og kjente den i stor detalj. Han har fått sin egen biografi:

- Møller, A., 1983. *Sigurd fra Klevfos*, Tiden norsk forlag.  
<https://www.nb.no/nbsok/nb/fb0e48b3c07a2a37409c931a7bf22bdf?index=1#0>

I tillegg har temaheftet

- Klevfos industrimuseum, 1986. *Klevfos Cell- & Papirfabrikk 1888-1976*, Ådalsbruk

gitt en god innføring i hvordan produksjonen foregikk på Klevfos. Flere nettbaserte oppslagsverk har vært viktige for å forstå bl.a. kjemiske detaljer i gjenvinning av kokelut og hvordan kjemikaliene reagerer i lufta. Vi har benytte bl.a. Wikipedia, SNL og PubChem.

Klevfos sett i kontekst med alle landets masse- og papirfabrikker de siste 150 år kan en få i

- Fageraas, K. B, Bækkekund, Nilsson, C. og Bagle E., 2006. *Masse Papir. Norske papir- og massefabrikker gjennom 150 år*, Særpublikasjon nr. 16, Norsk Skogmuseum

### 7.2 Fabrikkens bygnings- og restaureringshistorie

En enkel oversikt over fabrikkens bygningshistorie finnes i temaheftet fra 1986 (over) og på nettsiden til museet:

- <https://klevfos.no>

Historier om fabrikk og ikke minst oversikt over årlig istandsettingsarbeid finnes i:

- *Klev. Årsskrift* utgitt av Stiftelsen Klevfos (1978-1998)

Dette er en uvurderlig kilde til arbeidet med å restaurere fabrikk i perioden etter at driften opphørte i 1976. En del av disse finnes også i Riksantikvarens arkiv.

En mengde fotos (p.t. 4776) både fra fabrikktiden og museumstiden finnes i:

- Digitalt Museum: <https://digitaltmuseum.no/search/?q=klevfos>

### 7.3 Tilstandsvurderinger og istandsettingsarbeid

I de siste 20 årene har det foregått mange utrednings- og praktiske istandsettingsarbeider. Saltforvitring gjennom den tørre sommeren 2018 ble rapportert av:

- Hjarnø, M., 2018. Forvitring av bygningsmassen på Klevfos. Observasjoner august 2018. Notat, Anno Klevfos Industrimuseum

Senere kom en større oppfølger-rapport:

- Hjarnø, M. W., Teien, I. K. og Gunnestad, J., 2019. Notat om fabrikkbygningens tilstand. Rapport, Anno Klevfos Industrimuseum

Rapporten er den første som seriøst tar opp saltforvitring som det sentrale problemet i fabrikk, som bestemmer de viktigste saltene (natriumsulfater og natriumkarbonater) og viser til mulige løsninger, bl.a. saltkonvertering. Analyser og konverteringsforsøk ble utført i samarbeid med bl.a. Mycoteam, NIKU og SINTEF:

- Austigard, M. S., 2019. Klevfos industrimuseum - kjemisk forvitring av teglstein. Rapport, Mycoteam as
- Engelsen, C. J. og Justnes, H., 2019. Vurdering av metode for «saltkonvertering» i murverk ved Klevfos industrimuseum. Rapport 2019:01385 – Fortrolig, SINTEF Community Anlegg og Samferdsel
- Haugen, A., 2019. Klevfos industrimuseum: Vurdering av metode for «saltkonvertering» i murverk på Klevfos industrimuseum. NIKU Oppdragsrapport 132/2019

Flere andre ledende rådgivningsmiljøer har også vært involvert i tilstandsundersøkelser de siste årene, bl.a.

- Multiconsult, 1998. Vedlikeholdsplan for Klevfos papir & cellulosefabrikk
- Sivilingeniør Finn Madsø AS, 2010. Klevfos industrimuseum – Tilstandsvurdering av teglbygg
- Asplan Viak AS (Trondheim), 2014. Klevfos Industrimuseum – tilstandsanalyse.

Analyser av murmørtel, spekkemørtel og eldre pussmørtler på Klevfos er nylig utført av:

- Seir Materialanalyse, 2021. Klevfos Industrimuseum, Puds- og mørtelprøver med farvelag. Tyndslipsanalyse. Rapport nr. R210907

### 7.4 Saltforvitring

En av de viktigste viktigste og mest innflytelsesrike enkeltpublikasjonen om saltforvitring generelt er:

- Arnold, A. og Zehnder, K., 1991. Monitoring Wall Paintings Affected by soluble Salts. In: Cather, S. (ed.): *The Conservation of Wall Paintings: Proceedings of a symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute*, London, July 13-16, *The Getty Conservation Institute*, 103-136.  
[https://www.researchgate.net/publication/285316037\\_Monitoring\\_wall\\_paintings\\_affected\\_by\\_soluble\\_salts](https://www.researchgate.net/publication/285316037_Monitoring_wall_paintings_affected_by_soluble_salts)

Publikasjonen er ikke bare relevant for veggmalier (*wall paintings*), men for saltforvitring i sin alminnelighet.

Den viktigste nettressursen som behandler alle deler av saltforvitring og bevaring av historiske bygninger og objekter påvirket av salt er:



- <https://www.saltwiki.net>

Her finnes beskrivelser og referanser til en lang rekke temaer, alt fra fundamentale kjemisk-fysiske-biologiske aspekter til praktiske hensyn ved bevaring.

Moderne forståelse av forvitring av stein (og tegl o.a.), bl.a. saltforvitring, med detaljforståelse av natriumsulfat-salter, er oversiktlig behandlet i:

- Doehne, E. og Price, C., 2010. *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. 2nd ed. Getty Conservation Institute, Los Angeles.  
[http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/pdf\\_publications/pdf/stoneconservation.pdf](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/stoneconservation.pdf)

Her finnes også de fleste mulige bevaringsmetoder behandlet. En svært viktig publikasjon om natriumsulfat-salter, også for Klevfos er:

- Charola, A. E. og Weber, J., 1992. The hydration-dehydration mechanism of sodium sulphate. *7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Lisbon Portugal, 15-18 June 1992, Proceedings, 2, 581-590.

Praktisk bruk av fasediagrammer for natriumsulfater er behandlet i:

- Bionda, D., 2004. Methodology for the preventive conservation of sensitive monuments: microclimate and salt activity in a church. In: Kwiatkowski, D. & Löfvendahl, R. (eds.): *Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, ICOMOS Sweden, Stockholm, June 27 - July 2, 627-634*.  
[https://www.researchgate.net/publication/265718013\\_Methodology\\_for\\_the\\_preventive\\_conservation\\_of\\_sensitive\\_monuments\\_microclimate\\_and\\_salt\\_activity\\_in\\_a\\_church](https://www.researchgate.net/publication/265718013_Methodology_for_the_preventive_conservation_of_sensitive_monuments_microclimate_and_salt_activity_in_a_church)

Et stort forskningsprosjekt utført for mer enn 20 år siden omhandlet de enorme saltproblemene på festningsanlegget Suomenlinna utenfor Helsinki. Deler av arbeidet, av høy relevans til Klevfos, er rapportert her:

- von Konow, T. (red.) 2002. *The Study of Salt Deterioration Mechanisms. Decay of Brick Walls Influenced by Interior Climate Changes. European Heritage Laboratories – Raphaël 1999*. Helsingfors: The Governing Body of Suomenlinna

De større perspektivene omkring saltforvitring, risikovurderinger osv. er behandlet i

- Goudie, A. og Viles, H. A., 1997. *Salt weathering hazards*. Wiley

Saltforvitring har sjelden vært dypere vitenskapelig behandlet i Norge. Tre langvarige arbeider som følger internasjonal litteratur og analysemetoder er:

- Storemyr, P., 1997. *The Stones of Nidaros: An Applied Weathering Study of Europe's Northernmost Medieval Cathedral*. Doktoravhandling, NTNU, Trondheim.  
[https://perstoremyr.files.wordpress.com/2010/07/1997\\_storemyr\\_the\\_stones\\_of\\_nidaros.pdf](https://perstoremyr.files.wordpress.com/2010/07/1997_storemyr_the_stones_of_nidaros.pdf)
- Storemyr, P. 2002. The Regalia Room Mural Paintings Conservation Preoject, Trondheim, Norway: Conservation Measures and Monitoring of Salt Weathering 2001-2002. *Report No. 2002.051*, Expert-Center for Conservation of Monuments and Sites, Zürich.  
[https://perstoremyr.files.wordpress.com/2010/07/2002\\_051\\_regaliaroom\\_150dpi.pdf](https://perstoremyr.files.wordpress.com/2010/07/2002_051_regaliaroom_150dpi.pdf)

- Storemyr, P., 2020. En studie i saltforvitring når klimaet forandrer seg: Albanustårnet på Selja kloster 2016-2020. Rapport, for Stad kommune/Riksantikvaren, Fabrica kulturminnetjenester as, Oslo, 93 s.  
[https://perstoremyr.files.wordpress.com/2020/05/2020\\_no\\_selja\\_forvitring-overvc3a5kning-2016-2020.pdf](https://perstoremyr.files.wordpress.com/2020/05/2020_no_selja_forvitring-overvc3a5kning-2016-2020.pdf)

I disse arbeidene er det også utført langvarig overvåkning, av stor relevans til feltforsøkene som er utført i Kunnskapsprosjektet.



## Vedlegg 1: Rapport fra Christine Bläuer om saltforvitring

# Bläuer

Conservation Science Sàrl

## R.0653.01

### NO – Adalsbruk, Klevfos, paper pulp factory Thoughts on possibilities to mitigate salt damage

#### Client

FABRICA kulturminnetjenester as  
Vøienvolden gård  
Maridalsveien 120  
0461 Oslo



Image: North wall fire house, 24<sup>th</sup> August 2021

#### Abstract

The Klevfos paper pulp factory is mainly contaminated by sodium sulphates and carbonates forming a rather non-hygroscopic salt system.

For the sodium sulphate salts it can be shown by theory, laboratory experiments and observations that they will crystallise from solution in their hydrated form mirabilite at very high relative humidities and that their water-free form thenardite exclusively develops by a dehydration process of mirabilite. Seen in detail this dehydration process is a complicated succession of dissolution-crystallisation. Degradation of materials occur during crystallization of mirabilite from a solution but very likely also during the process of dissolution-crystallisation that leads to the formation of thenardite. Therefore, the formation of mirabilite should be prevented by avoiding high relative humidities and any kind of water ingress, be it by condensation or inflow of water from the ground. And climatic conditions should be kept rather dry and relatively constant at around 60% relative humidity. Investigations by FABRICA have shown that such climate control and drying are feasible.

These reflections base on the supposition that the sodium carbonate system will behave somewhat similar to the sodium sulphate system, which seems to be backed up by on-site-observations.

In addition, sacrificial plastering is planned that actually is tested at places in the factory. By this the salt crystallisations will be relocated from the original materials into the plasters which will deteriorated and have to be replaced with time.

**Date:** Fribourg, 9.11.2021

**Distribution of the report:** see list at the end

**Person in charge**

Dr. Christine Bläuer

Bläuer Conservation Science Sàrl  
Route Henri-Dunant 18  
CH-1700 Fribourg

Tél. : +41 26 422 12 44  
e-mail: [blaueuer@conservation-science.ch](mailto:blaueuer@conservation-science.ch)  
[www.conservation-science.ch](http://www.conservation-science.ch)

## 1 Introduction

Between 24<sup>th</sup> and 26<sup>th</sup> of August 2021 I had the opportunity to visit the Klevfos paper pulp factory and discuss the weathering problems at the factory with the people in charge and especially with Per Storemyr. During intense discussion I learned a lot about the original functioning of the factory which is the main source of the salt problems nowadays. I further learned that this functioning is now rather well understood, which seems to me an important basis to comprehend how the today weathering processes have come about.

The amounts of salts efflorescing on the building materials of the site and the porous materials of several installations are quite overwhelming! Most of the efflorescence consist in sodium sulphates or carbonates. The origin of these salts in bulk is quite clear as for the wet chemical process to extract cellulose from the wood caustic soda and sodium sulphide were needed which were produced on site.

Today the parts of the factory which are contaminated by salts are not actively heated. The climate inside these rooms varies between very cold (0°C or below) and very humid (up to 100% relative humidity) in winter to warm (around 20°C) and moderately dry (40-60% relative humidity) in summer.

On the basis of what I have seen on site, my discussions with Per Storemyr and on my experience with other sites having salt problems I will try here to put together some thoughts on how the weathering processes evolve at the paper pulp factory and some, hopefully helpful, theoretical reflections on possibilities to mitigate the salt problems.

## 2 Thoughts about ways to mitigate salt weathering in general

Salt weathering occurs when salts and variable amounts of water or water vapour are present in porous materials. In many cases it is possible to simply reduce the amount of salt present, which e.g. can be done by simply brushing off the visible salt efflorescence<sup>1</sup> or by applying poultices<sup>2</sup>. Such procedures cannot eliminate all salts but will only reduce the amounts.

The most frequently practised way of minimising the impact of salts on porous materials in the interior of buildings is climate control by regulating the room climate to conditions under which the salts do not or only rarely crystallise, which usually means control of the relative humidity of the air in the room so that it remains above the equilibrium relative humidity of the salt system present.<sup>3</sup>

This type of intervention works well for salts or salt systems having a deliquescence relative humidity<sup>4</sup> lying at ~60% or well below and which are not or only very little dependent on temperature. If the salts present are e.g. very hygroscopic (deliquescence relative humidity <

<sup>1</sup> This is the most straight forward way of salt reduction

<sup>2</sup> Desalination is a very frequently used method to mitigate salt damage. See e.g. Heritage, A. E., et al. (2013). "Desalination of Historic Buildings, Stone and Wall Paintings." Archetype Publications, London.

<sup>3</sup> The theory behind this concept and many examples are given by Arnold, A. & Zehnder, K. (1991). "Monitoring wall paintings affected by soluble salts." The Conservation of Wall Paintings. Proceedings of a symposium organized by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conservation Institute, London, July 13-16, 1987, 103-135.

[http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/pdf\\_publications/pdf/wall\\_paintings.pdf](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/wall_paintings.pdf)

<sup>4</sup> Deliquescence point: "The relative humidity at which crystalline materials begin adsorbing large quantities of water from the atmosphere." from [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Deliquescence\\_point](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Deliquescence_point); 28.10.2021 The term "equilibrium relative humidity" is used as a synonym, although this is scientifically not completely correct, but the difference between the two terms is in the scope of this discussion neglectable. At know temperature and pressure, the deliquescence point of a single salt is actually a single value, hence a point, for salt mixtures (nearly all salt systems in the context of monument preservation) deliquescence occurs however throughout a range of values.



40%) higher relative humidity in the room will prevent their crystallisation and hence the physical damage that goes along with it. As a consequence, under such conditions the salt contaminated materials will look humid or wet.

For salt systems having deliquesce relative humidities above 80% or even higher climate control by keeping the relative humidity above their deliquesce relative humidity is usually not feasible in practice as the relative humidity in the room would need to be kept at even higher levels with the risks to entail condensation, corrosion and biological growth etc.

To reduce the damage potential of non-hygroscopic salts it is crucial to hinder any active humidity ingress, that might lead to (partial or complete) dissolution and later crystallisation of the salts, be it by liquid water inflow or by condensation.

If the non-hygroscopic salts are exclusively formed by anhydrous salts and if their solubility is varying with temperature, heating can be used to control or hinder salt crystallisation.<sup>5</sup>

If such a non-hygroscopic salt system however is formed by salts having several hydration states, the necessary conditions to reduce salt activity are not trivial to be defined. The salts at Klevfos are of such a "non-trivial" type (see next chapter).

A further way to mitigate salt weathering of non-hygroscopic salts is to transform the salt system into one that is more hygroscopic by adding appropriate salt ions. Trials of such a treatment have been done at Klevfos using  $\text{CaCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  and later  $\text{MgCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . A problem observed with these treatments was, that iron is corroding faster under the influence of the now present chlorides (pers. communication Per Storemyr). Apart from this, such treatment also bears the risks arising generally when changing an existing salt system containing a limited number of different ions (which has a relatively limited number of possible salts crystallising) into a salt system composed of more different ions which potentially allows more different salt minerals to crystallize. As each individual salt mineral has its own deliquescence relative humidity this usually means that salt crystallisation "events" become more frequent which can enhance weathering even if the total amount of efflorescing salt might be smaller. To illustrate this, in the appendix the calculated theoretical thermodynamic values for crystallisation conditions of the system sodium, magnesium, sulphate and chloride are given for a mixture of 20 moles of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  mixed with 1 Mole  $\text{MgCl}_2$ . Last but not least such a transformation of a salt system would need to take place in a porous system which would be not at all trivial to achieve.

### 3 The salts at the factory

In the case of the factory we have to deal with nearly unlimited amounts of sodium carbonate and sodium sulphate. The ions forming this system, sodium, sulphate, carbonate and hydrogen carbonate, can form many salt mineral species, of which at least six are regularly found on monuments.<sup>6</sup>

Only for the sodium sulphate minerals the theoretical deliquescence relative humidities are accessible to non-specialists of thermodynamics. Sodium sulphates are rather non-hygroscopic salts i.e. they have high deliquescence relative humidities. For the sodium carbonates it is possible to assume on the basis of observations of their behaviour on sites that they as well are only little hygroscopic.

Sodium sulphate and sodium carbonate both can exist at different states of hydration, that is they can include various amounts of water molecules in their crystalline lattice. For the sodium sulphate system, the changes from one state of hydration to the other have been observed on various sites and in laboratory. It seems that within the range of common room temperatures mirabilite is the salt mineral crystallizing from a sodium sulphate solution and thenardite is exclusively formed by dehydration of mirabilite. To form mirabilite from

<sup>5</sup> E.g. salt systems dominated by  $\text{KNO}_3$ , for which the equilibrium relative humidity is higher than 90% and solubility is much bigger at high temperatures than at low ones

<sup>6</sup> These salts are: mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ), thenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), natron ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), thermonatrite ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), Trona ( $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) and Nahcolite ( $\text{NaHCO}_3$ )

40%) higher relative humidity in the room will prevent their crystallisation and hence the physical damage that goes along with it. As a consequence, under such conditions the salt contaminated materials will look humid or wet.

For salt systems having deliquesce relative humidities above 80% or even higher climate control by keeping the relative humidity above their deliquesce relative humidity is usually not feasible in practice as the relative humidity in the room would need to be kept at even higher levels with the risks to entail condensation, corrosion and biological growth etc.

To reduce the damage potential of non-hygroscopic salts it is crucial to hinder any active humidity ingress, that might lead to (partial or complete) dissolution and later crystallisation of the salts, be it by liquid water inflow or by condensation.

If the non-hygroscopic salts are exclusively formed by anhydrous salts and if their solubility is varying with temperature, heating can be used to control or hinder salt crystallisation.<sup>5</sup>

If such a non-hygroscopic salt system however is formed by salts having several hydration states, the necessary conditions to reduce salt activity are not trivial to be defined. The salts at Klevfos are of such a "non-trivial" type (see next chapter).

A further way to mitigate salt weathering of non-hygroscopic salts is to transform the salt system into one that is more hygroscopic by adding appropriate salt ions. Trials of such a treatment have been done at Klevfos using  $\text{CaCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  and later  $\text{MgCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . A problem observed with these treatments was, that iron is corroding faster under the influence of the now present chlorides (pers. communication Per Storemyr). Apart from this, such treatment also bears the risks arising generally when changing an existing salt system containing a limited number of different ions (which has a relatively limited number of possible salts crystallising) into a salt system composed of more different ions which potentially allows more different salt minerals to crystallize. As each individual salt mineral has its own deliquescence relative humidity this usually means that salt crystallisation "events" become more frequent which can enhance weathering even if the total amount of efflorescing salt might be smaller. To illustrate this, in the appendix the calculated theoretical thermodynamic values for crystallisation conditions of the system sodium, magnesium, sulphate and chloride are given for a mixture of 20 moles of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  mixed with 1 Mole  $\text{MgCl}_2$ . Last but not least such a transformation of a salt system would need to take place in a porous system which would be not at all trivial to achieve.

### 3 The salts at the factory

In the case of the factory we have to deal with nearly unlimited amounts of sodium carbonate and sodium sulphate. The ions forming this system, sodium, sulphate, carbonate and hydrogen carbonate, can form many salt mineral species, of which at least six are regularly found on monuments.<sup>6</sup>

Only for the sodium sulphate minerals the theoretical deliquescence relative humidities are accessible to non-specialists of thermodynamics. Sodium sulphates are rather non-hygroscopic salts i.e. they have high deliquescence relative humidities. For the sodium carbonates it is possible to assume on the basis of observations of their behaviour on sites that they as well are only little hygroscopic.

Sodium sulphate and sodium carbonate both can exist at different states of hydration, that is they can include various amounts of water molecules in their crystalline lattice. For the sodium sulphate system, the changes from one state of hydration to the other have been observed on various sites and in laboratory. It seems that within the range of common room temperatures mirabilite is the salt mineral crystallizing from a sodium sulphate solution and thenardite is exclusively formed by dehydration of mirabilite. To form mirabilite from

<sup>5</sup> E.g. salt systems dominated by  $\text{KNO}_3$ , for which the equilibrium relative humidity is higher than 90% and solubility is much bigger at high temperatures than at low ones

<sup>6</sup> These salts are: mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ), thenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), natron ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), thermonatrite ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), Trona ( $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) and Nahcolite ( $\text{NaHCO}_3$ )



40%) higher relative humidity in the room will prevent their crystallisation and hence the physical damage that goes along with it. As a consequence, under such conditions the salt contaminated materials will look humid or wet.

For salt systems having deliquesce relative humidities above 80% or even higher climate control by keeping the relative humidity above their deliquesce relative humidity is usually not feasible in practice as the relative humidity in the room would need to be kept at even higher levels with the risks to entail condensation, corrosion and biological growth etc.

To reduce the damage potential of non-hygroscopic salts it is crucial to hinder any active humidity ingress, that might lead to (partial or complete) dissolution and later crystallisation of the salts, be it by liquid water inflow or by condensation.

If the non-hygroscopic salts are exclusively formed by anhydrous salts and if their solubility is varying with temperature, heating can be used to control or hinder salt crystallisation.<sup>5</sup>

If such a non-hygroscopic salt system however is formed by salts having several hydration states, the necessary conditions to reduce salt activity are not trivial to be defined. The salts at Klevfos are of such a "non-trivial" type (see next chapter).

A further way to mitigate salt weathering of non-hygroscopic salts is to transform the salt system into one that is more hygroscopic by adding appropriate salt ions. Trials of such a treatment have been done at Klevfos using  $\text{CaCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  and later  $\text{MgCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . A problem observed with these treatments was, that iron is corroding faster under the influence of the now present chlorides (pers. communication Per Storemyr). Apart from this, such treatment also bears the risks arising generally when changing an existing salt system containing a limited number of different ions (which has a relatively limited number of possible salts crystallising) into a salt system composed of more different ions which potentially allows more different salt minerals to crystallize. As each individual salt mineral has its own deliquescence relative humidity this usually means that salt crystallisation "events" become more frequent which can enhance weathering even if the total amount of efflorescing salt might be smaller. To illustrate this, in the appendix the calculated theoretical thermodynamic values for crystallisation conditions of the system sodium, magnesium, sulphate and chloride are given for a mixture of 20 moles of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  mixed with 1 Mole  $\text{MgCl}_2$ . Last but not least such a transformation of a salt system would need to take place in a porous system which would be not at all trivial to achieve.

### 3 The salts at the factory

In the case of the factory we have to deal with nearly unlimited amounts of sodium carbonate and sodium sulphate. The ions forming this system, sodium, sulphate, carbonate and hydrogen carbonate, can form many salt mineral species, of which at least six are regularly found on monuments.<sup>6</sup>

Only for the sodium sulphate minerals the theoretical deliquescence relative humidities are accessible to non-specialists of thermodynamics. Sodium sulphates are rather non-hygroscopic salts i.e. they have high deliquescence relative humidities. For the sodium carbonates it is possible to assume on the basis of observations of their behaviour on sites that they as well are only little hygroscopic.

Sodium sulphate and sodium carbonate both can exist at different states of hydration, that is they can include various amounts of water molecules in their crystalline lattice. For the sodium sulphate system, the changes from one state of hydration to the other have been observed on various sites and in laboratory. It seems that within the range of common room temperatures mirabilite is the salt mineral crystallizing from a sodium sulphate solution and thenardite is exclusively formed by dehydration of mirabilite. To form mirabilite from

<sup>5</sup> E.g. salt systems dominated by  $\text{KNO}_3$ , for which the equilibrium relative humidity is higher than 90% and solubility is much bigger at high temperatures than at low ones

<sup>6</sup> These salts are: mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), thenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), natron ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), thermonatrite ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), Trona ( $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) and Nahcolite ( $\text{NaHCO}_3$ )

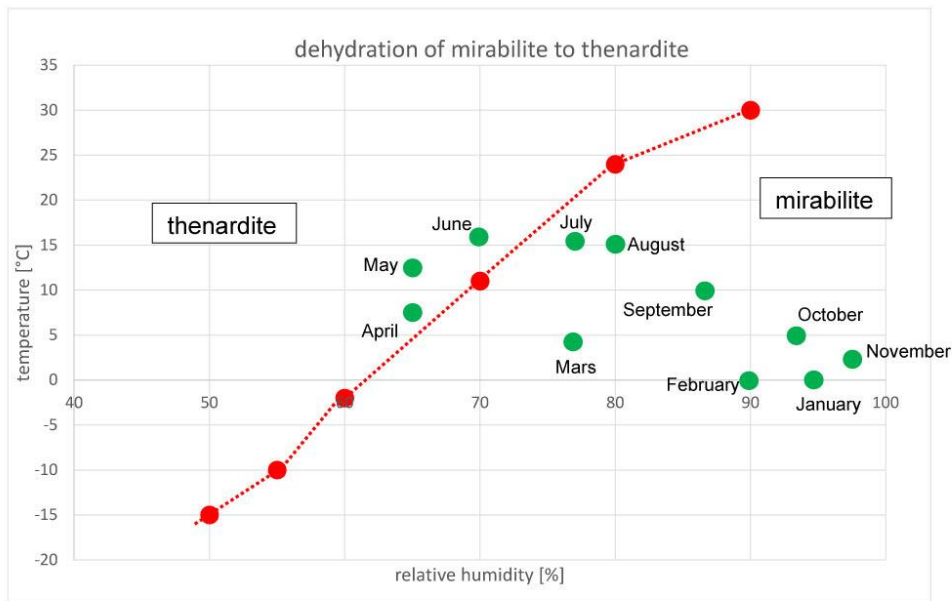


Figure 3: Graphic representation of the sodium sulphate system in red and of the room climate in the soda house in 2020 in green. Calculations. The red points are values calculated using the programme Runsalt<sup>7</sup>, the connecting lines are drawn for better visualisation. The green dots represent the mean room climate at the end of the mentioned month in 2020 as in figure 2.

In the context of the graph of figure 3 the following observation of Per Storemyr seems very interesting: he recorded the highest downfall rates of weathered material in early summer, april-june, sometimes into july-august.

From many observations of the salt system and from theoretical reflections Per Storemyr suggests to try to keep climatic conditions such that thenardite is always remaining the stable salt. This is in line with laboratory tests on sodium sulphate reported on by Charola & Weber 1992 who put forward the hypothesis that the main damaging process of sodium sulphate is the dehydration of mirabilite to thenardite as...the dehydration of mirabilite proceeds through multiple steps of partial dissolution of the salt in its crystallization water with simultaneous reprecipitation of thenardite and mirabilite".<sup>10</sup>

A room climate controlled so that thenardite remains the only stable phase throughout the year could be achieved by keeping the relative humidity constantly at about 60% with only little variation. According to the investigations of FABRICA such a climatization would be feasible and the additionally necessary measures to stop the ingress of water from the ground could also be assessed to be practicable (pers. comm. Per Storemyr).

From figure 3 it can be seen that at 60% relative humidity mirabilite can theoretically start to grow from a solution at temperatures beginning at a few degrees below zero or lower. Whether growth of mirabilite will actually take place depends on the presence of a salt solution, which itself depends, if all water infiltrations can be excluded, on capillary

<sup>10</sup> As footnote 7



condensation not only in the porous material but also within the most likely finely crystalline thenardite.

To know, how long certain adverse conditions, which often are impossible to avoid completely, may prevail without causing deleterious effects, is a general concern when trying to stabilise room climates. The answer is dependent on the reaction speed of the unwanted reactions of the salt system. The available thermodynamic models on salt systems are exclusively equilibrium models and never give reaction kinetics. Therefore, such questions can in practice only be answered after detailed observations of sites contaminated with the salts in consideration.

#### **4 Conclusion on possibilities to mitigate the salt problems at the paper pulp factory**

The Klevfos paper pulp factory is mainly contaminated by sodium sulphates and carbonates forming a rather non-hygroscopic salt system.

For the sodium sulphate salts it can be shown by theory, laboratory experiments and observations that they will crystallise from solution in their hydrated form mirabilite at very high relative humidities and that their water-free form thenardite exclusively develops by a dehydration process. Seen in detail this dehydration process is a complicated succession of dissolution-crystallisation. Degradation of materials occur during crystallization of mirabilite form a solution but very likely also during the process of dissolution-crystallisation<sup>11</sup> that leads to the formation of thenardite. Therefore, the formation of mirabilite should be prevented by avoiding high relative humidities and any kind of water ingress, be it by condensation or inflow of water from the ground. And climatic conditions should be kept rather dry and relatively constant at around 60% relative humidity, to remain throughout the year in the stability field of thenardite. Investigations by FABRICA have shown that such climate control and drying are feasible.

These reflections base on the supposition that the sodium carbonate system will behave somewhat similar to the sodium sulphate system, which seems to be backed up by on-site-observations by Per Storemyr at Klevfos and on other sites with the same salt system<sup>12</sup>.

In addition, sacrificial plastering is planned that is tested at places in the factory at the moment. These plasters will be deteriorated themselves with time by the salts but they help to reduce the damage induced to the original materials. Once full of salts the plaster will have to be replaced and when removing it a certain desalination will happen and if salt efflorescence is occurring on the plasters before they deteriorate this can be removed from the plasters also.

Fribourg, 9.11.2021



Dr. Christine Bläuer  
Mineralogist, conservation scientist

#### **Distribution of the report:**

As a PDF-file to: Per Storemyr [per.storemyr@hotmail.com](mailto:per.storemyr@hotmail.com)

---

<sup>11</sup> As footnote 7

<sup>12</sup> See e.g. in footnote 3 the example for Lavin

## Annexe

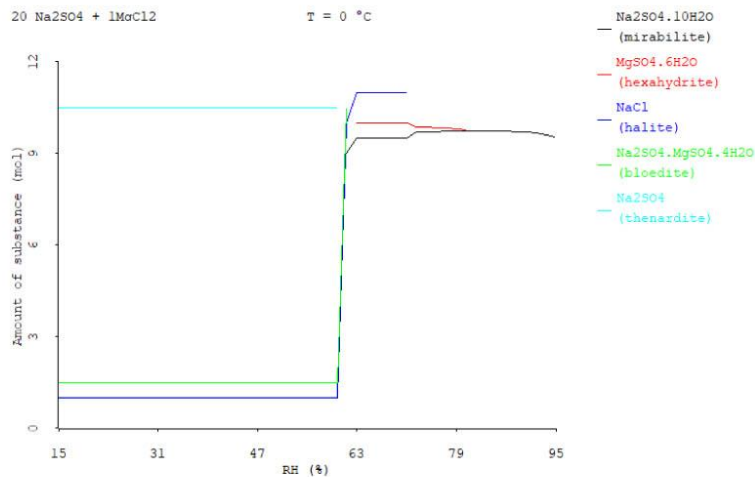
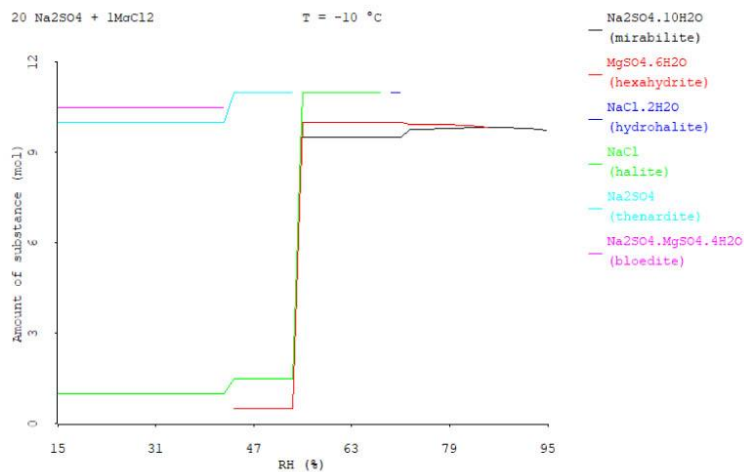
### Calculations with the programme Runsalt© on the sodium sulphate system with $MgCl_2 \cdot xH_2O$ added

Chemical reactions produced by adding  $MgCl_2 \cdot xH_2O$  to the sodium sulphate system:

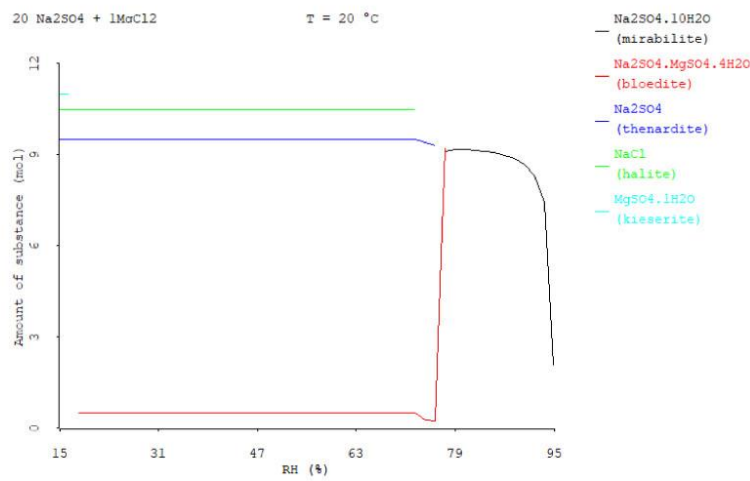
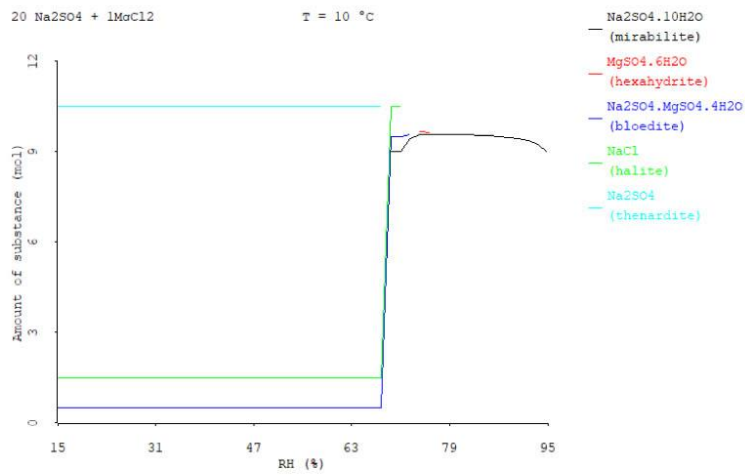
It can be estimated that  $MgCl_2 \cdot xH_2O$  is always present as a minor constituent compared to  $Na_2SO_4 \cdot xH_2O$  and therefore that all  $MgCl_2 \cdot xH_2O$  is consumed/transformed by the reaction  $xNa_2SO_4 + MgCl_2 \rightarrow MgSO_4 + 2NaCl + (x-2)Na_2SO_4$  (crystalline water is ignored here)

The behaviour of the system is calculated in the following subsequently for  $-10^\circ C$ ,  $0^\circ C$ ,  $10^\circ C$  and  $20^\circ C$  for a mixture of 20 Moles of  $Na_2SO_4$  + 1 Mole  $MgCl_2$ .

From the graphs it can be seen, that more different salt species can (theoretically) crystallise and that the system is very temperature dependent. Especially the transformation from thenardite to mirabilite is moved to lower relative humidities than it would be for the pure sodium sulphate system (compare with figure 3).







## Vedlegg 2: Saltanalyser utført av Per Storemyr, Fabrica

### Analysemetoder

Analysemetodene følger i prinsippet en lang mineralogisk-kjemisk tradisjon, der en starter med visuelle betraktninger og følger på med mikroskopi og spesifikke kjemiske analyser for å på enklest mulig vis entydig bestemme hvilket salt/hvilke salter en har med å gjøre, se:

- Arnold, A. (1984): Determination of mineral salts from monuments. *Studies in Conservation*, 29, 129-138. [http://www.jstor.org/stable/1506015?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/1506015?seq=1#page_scan_tab_contents)
- Bläuer Böhm, C. (1994): Salzuntersuchungen an Baudenkmälern. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, 8, 1, 86-103. [http://www.csc-sarl.ch/files/blaeuerboehm\\_1994\\_salzuntersuchungenanbaudenkm\\_lern\\_zkk\\_8\\_1\\_1.pdf?14,14](http://www.csc-sarl.ch/files/blaeuerboehm_1994_salzuntersuchungenanbaudenkm_lern_zkk_8_1_1.pdf?14,14)
- Se også: <https://per-storemyr.net/2015/11/30/saltforvitring-pa-kulturminner-om-enkel-analyse-av-salt-lag-din-egen-kjokkenlab/>

### Makrolupe, stereomikroskopi (e.l.):

Brukes for å skaffe en første visuell oversikt over saltprøven, om nødvendig. Vi benytter et Q-scope digitalt mikroskop («USB-mikroskop») med opptil 200x forstørrelse)

### Polarisasjonsmikroskopi

Brukes for å bestemme de særegne optiske egenskapene til hvert enkelt salt i en dispersjon av en liten del av saltprøven strødd på et objektglass, blandet med immersjonsolje, dekket med et tynt dekkglass. Vi benytter et enkelt feltmikroskop, modell GOREN POL, fra MRC, med 40, 100 og 400x forstørrelse, med et Moticam X3 Wi-Fi kamera for å ta bilder for formidling.

### Kjemiske analyser

Kjemiske analyser gjøres stort sett ut i fra en oppløsning av en liten del av saltprøven i vann (destillert vann eller springvann som på forhånd er kjemisk sjekket å ikke inneholde salt med de samme metoder som under).

#### pH (angivelse: verdi)

Bestemmes med ph-papir (i vårt tilfelle universal-indikatorpapir, ph 1-14). pH gir en svært god indikasjon på tilstedeværelse av alkaliske salter, dvs. natrium- og/eller kaliumkarbonater, med pH mellom ca. 9 og ca. 12 (avhengig av konsentrasjon av salt). Slike salter har sitt utspring nesten uten unntak i alkaliske bygningsmaterialer, spesielt (Portland)sement-holdige materialer, men også f.eks. vannglass – og industriprosesser.

#### Saltsyre (10%HCl, for karbonat, angivelse: x=ikke testet, -negativ, +lite, ++middels, +++mye brusing)

Brukes for å bestemme innhold av anionet karbonat; en dråpe rett på en liten del av saltprøven. Det vil bruse mer eller mindre sterkt om det er karbonat tilstede.

#### Andre anioner (sulfat, klorid, nitrat, angivelse: x=ikke testet, -negativ, +lite, ++middels, +++mye)

Bestemmes med mikrokjemiske metoder eller, i vårt tilfelle, indikatorpapir (Merckoquant teststrips). Stripsene dyppes i saltløsningen og gir en svært god kvalitativ indikasjon.

#### Kationer (kalsium, magnesium, natrium, kalium, angivelse: -negativ, +lite, ++middels, +++mye)

Bestemmes med mikrokjemiske metoder eller, i vårt tilfelle, bruk av ioneselektiv sensor for natrium (LAQUAtwin Na) og tilsetning titangult for magnesium. I begge tilfeller benyttes dråper av saltoppløsningen som utgangspunkt. Kalium kan ikke entydig bestemmes i vår lab., men salt med kalium er sjeldne og ses ofte ved polarisasjonsmikroskopi og ved å utelukke andre salter utfra en totalanalyse. Kalsium lar seg heller ikke entydig bestemme i vår lab., men i praksis vil det ha sin opprinnelse fra kalkmørtelkorn som svært ofte er del av saltprøvene og som kan enkelt bestemmes ved mikroskopi og ved brusing i HCl, eller fra gips som kan indikeres både ved tilstedeværelse av sulfat og ved polarisasjonsmikroskopi. Gips kan i noen tilfeller, spesielt ved svært finkornede prøver, være vanskelig å entydig bestemme. I slike tilfeller, der en ikke entydig kan bestemme salttype, må en benytte ytterligere mikrokjemiske analysemetoder, som beskrevet i Arnold (1984), eller ta i bruk f.eks. XRD (røntgendiffraksjon) eller FTIR (infrarød spektroskopi). Vi har ikke de to sistnevnte apparater.

### Prosedyre

Vanligvis vil en ta flere prøver av salt fra hvert enkelt objekt. I slike tilfeller gjør en normalt de mikroskopiske analysene først, for å sjekke likheter og forskjeller. Normalt vil en da oppdage likheter mellom de ulike prøvene. Det betyr at det ofte ikke er nødvendig å gjøre full kjemisk analyse av alle prøvene; det holder med et par representative. Dette betyr at metoden er effektiv i tilfeller der en ønsker å få oversikt over distribusjon av salt. I andre tilfeller kan det være mer komplekst og således et behov for ytterligere analyser, spesielt XRD.



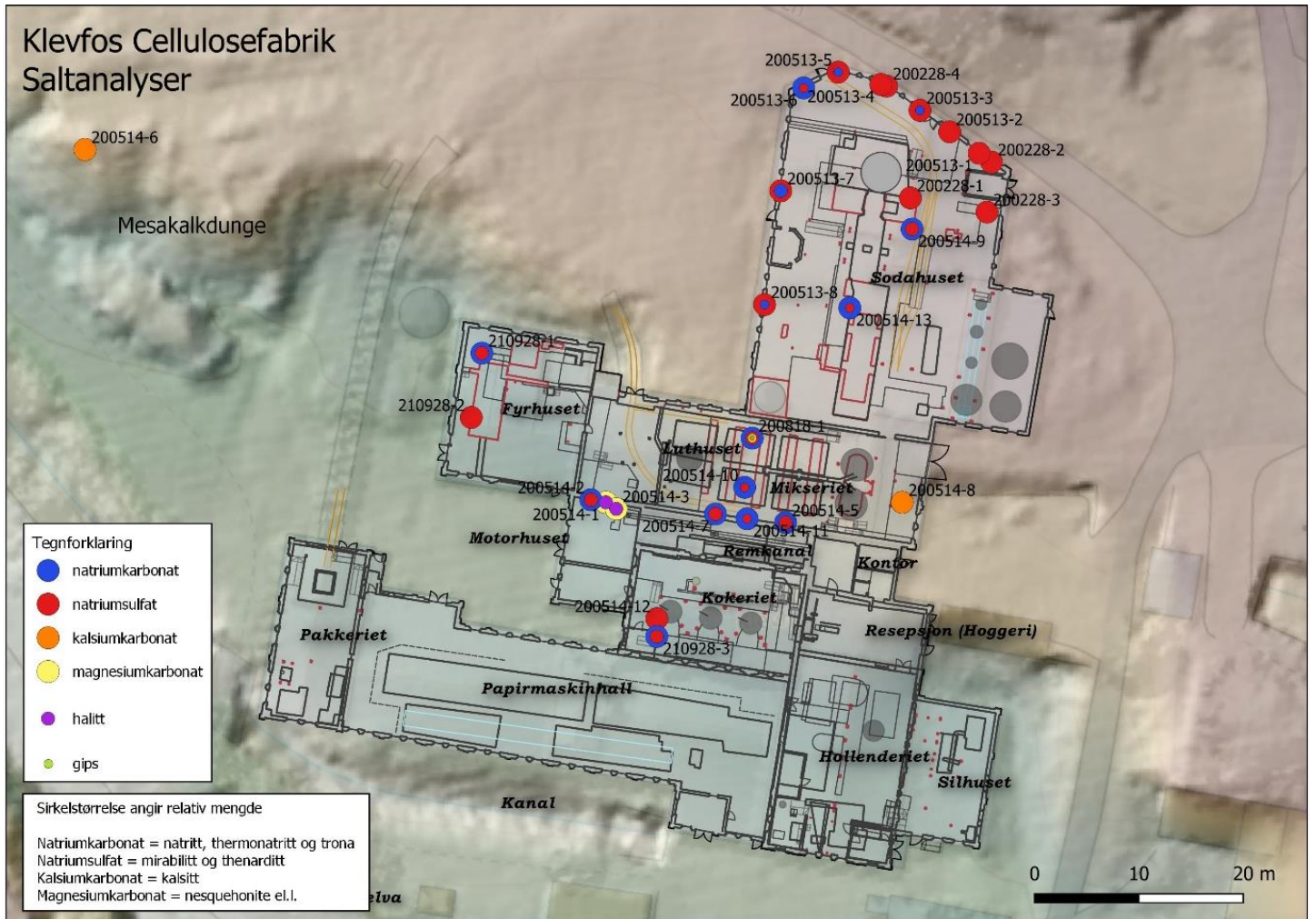
**Vanlige salttyper på kulturminner** Uthevet med blått er alkaliske, pH ca. 9-12

Saltyper entydig funnet av undertegnede på norske kulturminner er uthevet med grått.

Gruppe	Navn	Kjemisk formel	
Karbonater	Kalkspat	CaCO <sub>3</sub>	
	Dolomitt	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
	Magnesitt	MgCO <sub>3</sub>	
	Nesquehonitt	MgCO <sub>3</sub> •3H <sub>2</sub> O	
	Lansforditt	MgCO <sub>3</sub> •5H <sub>2</sub> O	
	Hydromagnesitt	Mg <sub>5</sub> [OH(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O	
	Natron	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> •10H <sub>2</sub> O	
	Thermonatritt	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> •H <sub>2</sub> O	
	Trona	Na <sub>3</sub> H(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O	
	Nahcolitt	NaHCO <sub>3</sub>	
	Kalicinite	KHCO <sub>3</sub>	
Sulfater	Gips	CaSO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	
	Bassanitt	CaSO <sub>4</sub> •½H <sub>2</sub> O	
	Epsomitt	MgSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	
	Hexahydritt	MgSO <sub>4</sub> •6H <sub>2</sub> O	
	Kieseritt	MgSO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O	
	Mirabilitt	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •10H <sub>2</sub> O	
	Thenarditt	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	Arcanitt	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	Bloeditt	Na <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O	
	Aphthitalitt	K <sub>3</sub> Na(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	
	Picromeritt	K <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	
	Boussingaultitt	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	
	Syngenitt	K <sub>2</sub> Ca(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> •H <sub>2</sub> O	
	Gorgeyitt	K <sub>2</sub> Ca <sub>5</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> •H <sub>2</sub> O	
	Darapskitt	Na <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> )(NO <sub>3</sub> )•H <sub>2</sub> O	
	Humberstonitt	K <sub>3</sub> Na <sub>7</sub> Mg <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	
	Ettringitt	Ca <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>12</sub> •26H <sub>2</sub> O	
	Thaumasitt	Ca <sub>3</sub> Si(OH) <sub>6</sub> (CO <sub>3</sub> )(SO <sub>4</sub> )•12H <sub>2</sub> O	
	Klorider	Bischofitt	MgCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O
		Antarcticitt	CaCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O
Tachyhydritt		CaMg <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> •12H <sub>2</sub> O	
Halitt		NaCl	
Sylvitt		KCl	
Nitrater	Nitrokalsitt	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O	
	Nitromagnesitt	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	
	Nitratitt	NaNO <sub>3</sub>	
	Niter	KNO <sub>3</sub>	
	Ammonium nitrat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	
Oksalater	Whewellite	Ca(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )•H <sub>2</sub> O	
	Weddelite	Ca(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )•2H <sub>2</sub> O	

Per Storemyr

# Klevfos Cellulosefabrik Saltanalyser



Lokalisering av prøver tatt og hovedresultater fra analysene.



<b>Nr.</b>	200228-1 (første del er dato - andre del løpenr. på denne datoen)					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, ovn, nordside					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Massiv kalkskorpe, opptil 2 cm tykk, delvis inne i sprekker i tegl					
<b>Makrolupe</b>	Finkornet, kornstørrelse < ca. 2 mm, endel whiskers, generelt glassaktige korn					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Stort sett skarpkantede korn og whiskers med høyt relieff, lave interferensfarger					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7	HCl 10%	-		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	-	NO3	-
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	I kontakt med tørr luft forsvinner det glassaktige, tyder på dehydrering					
<b>Tolkning</b>	Natriumsulfat, velkrystallisert mirabilitt som langsomt dehydrerer til thenarditt i kontakt med tørr luft					

#### Foto

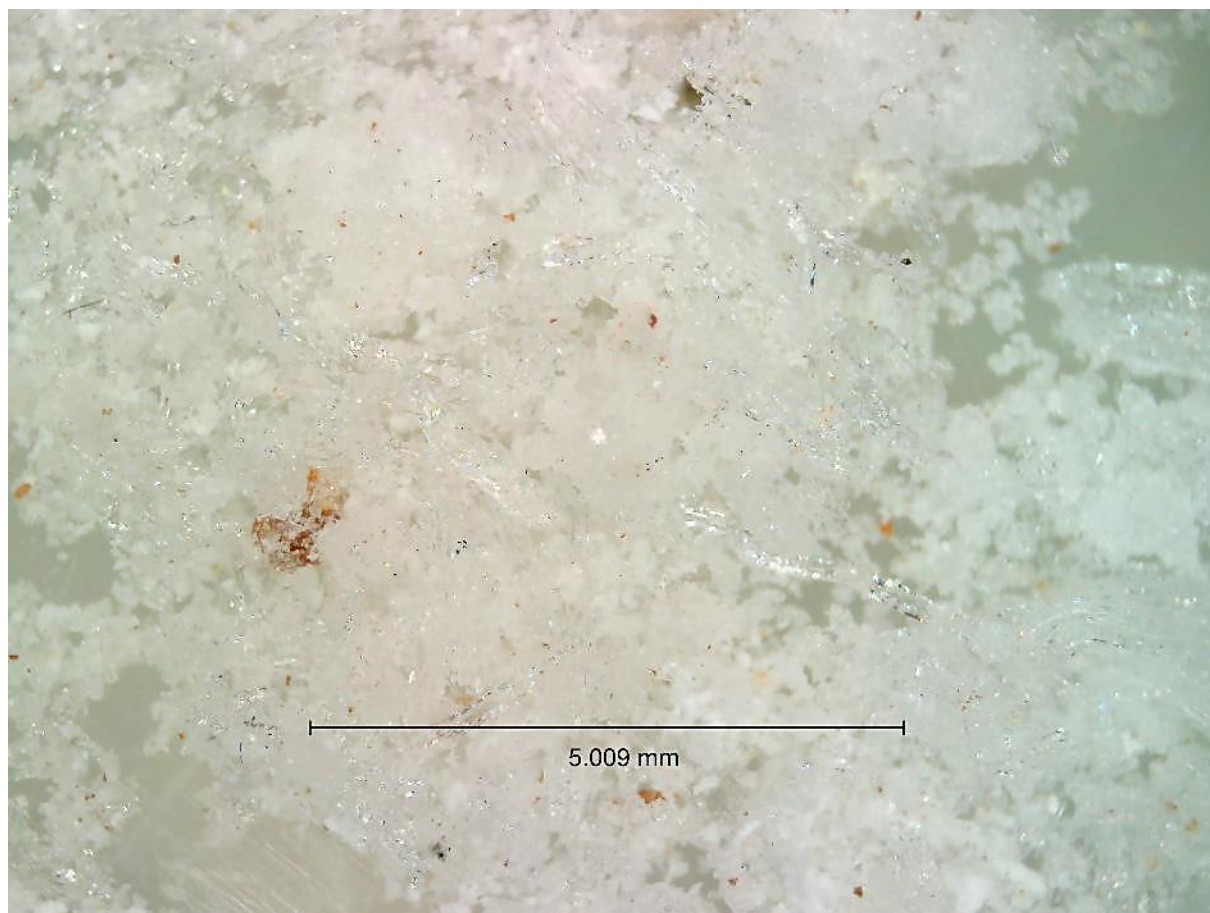
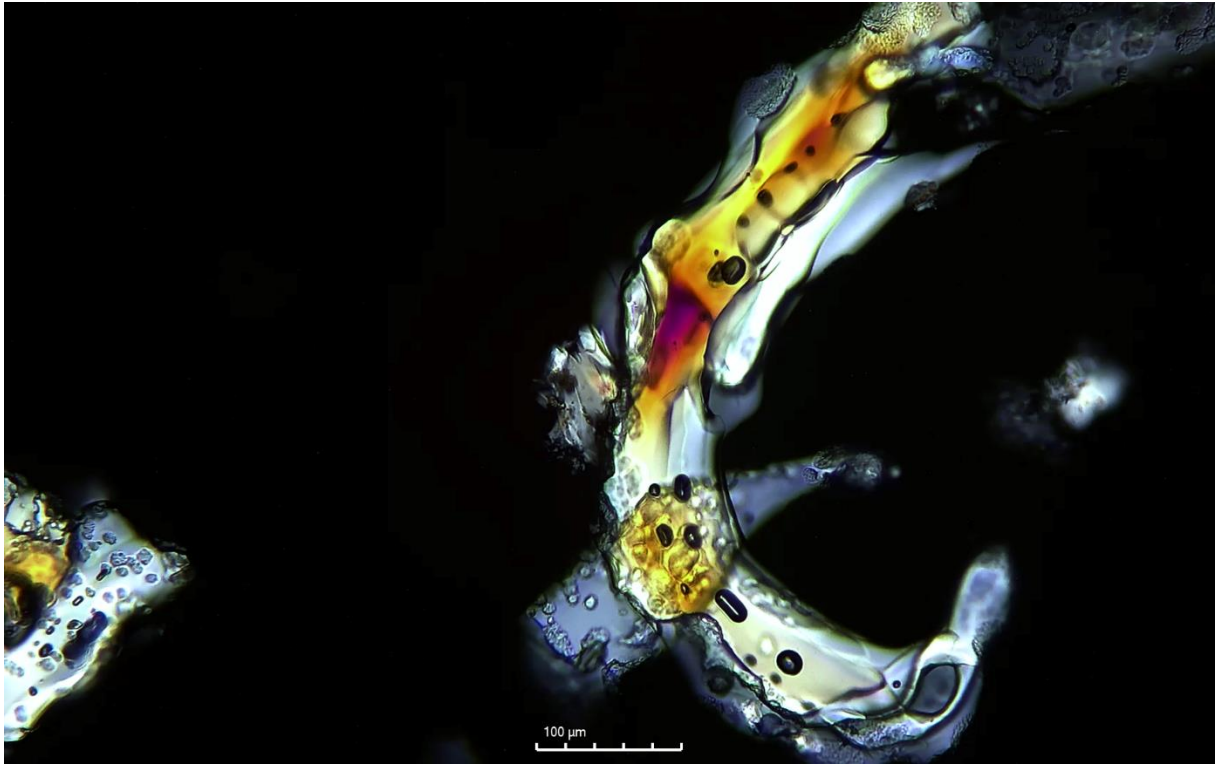


Foto med makrolupe, her ses det glassaktige ved saltet.



Mirabilitt, pol. lys. (enkelt polarisert lys i polarisasjonsmikroskop)

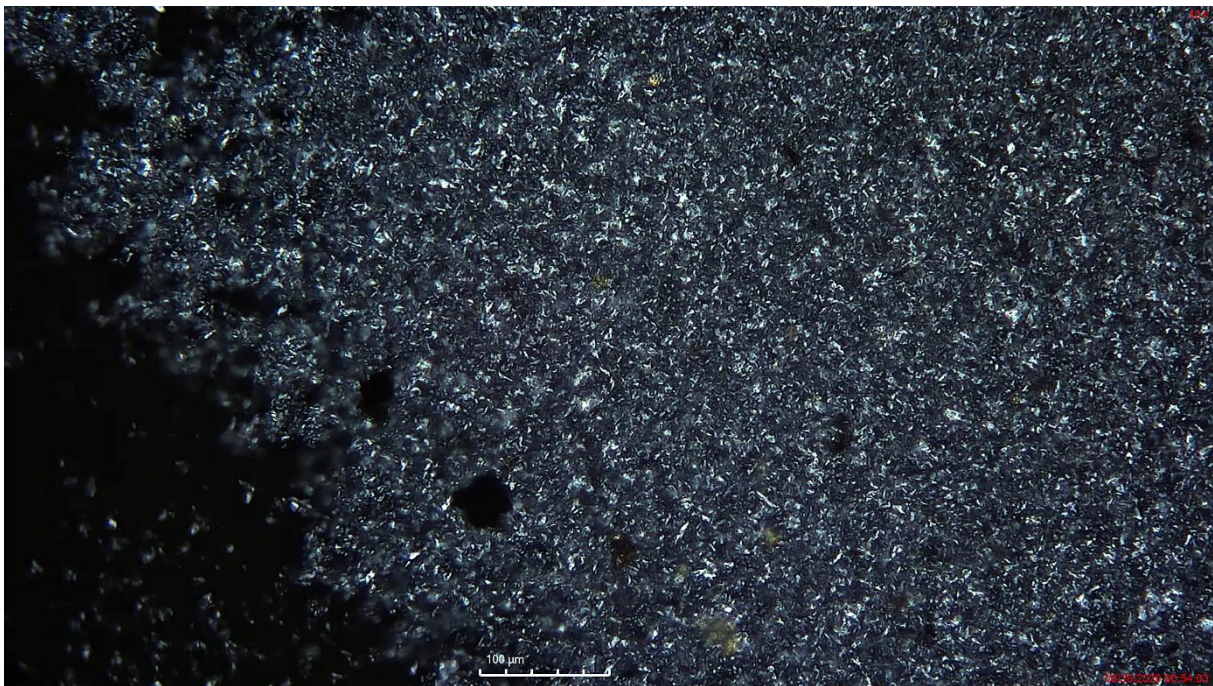


Mirabilitt, x-pol. (dobbeltpolarisert lys i polarisasjonsmikroskop)



<b>Nr.</b>	200228-2					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordveggen					
<b>Type</b>	Salt på teglsteinsvegg					
<b>Beskrivelse</b>	Svært fint, hvitt pulver					
<b>Makrolupe</b>	Svært finkornet					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Dehydrerte strukturer, finkornet, grå, lave interferensfarger					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	8		HCl 10%	-	
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>						
<b>Tolkning</b>	Entydig natriumsulfat, thenarditt					

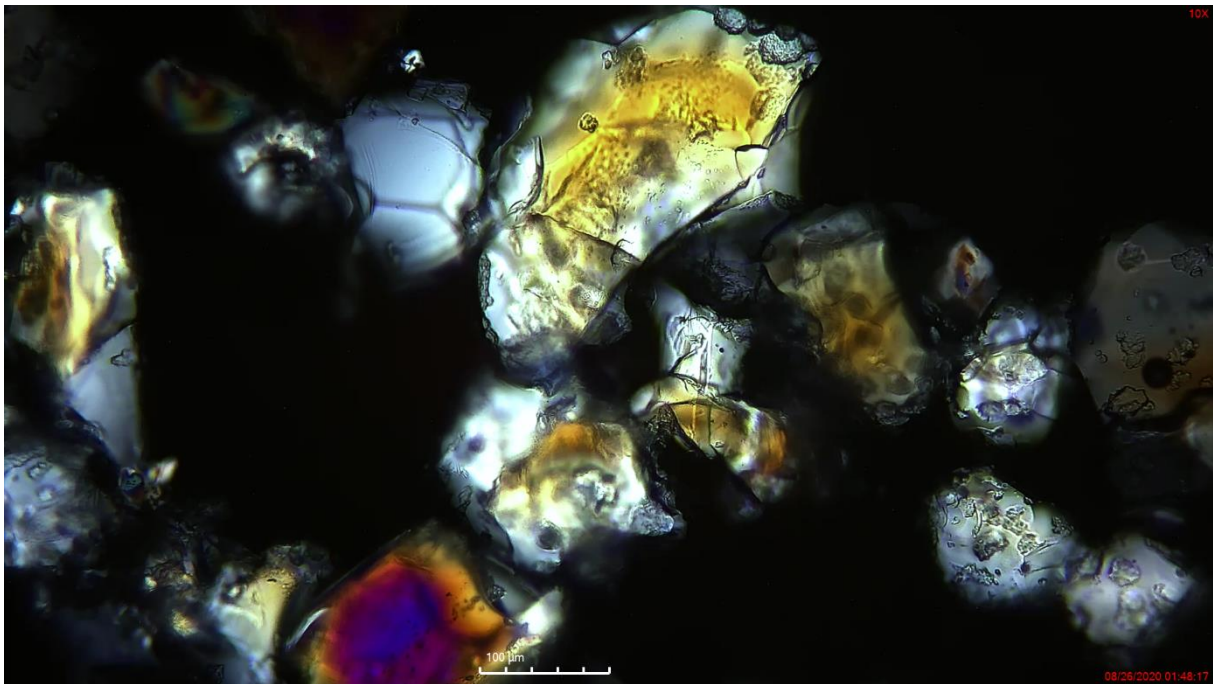
#### Foto



Thenarditt, x-pol

<b>Nr.</b>	200228-3					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, rest av tidligere stor dunge med natriumsulfat					
<b>Type</b>	Salt					
<b>Beskrivelse</b>	Større, hvite klumper, skorpelignende					
<b>Makrolupe</b>	Glassaktige, fine korn					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Skarpkantede, velkrystalliserte korn, lave interferensfarger, men anomale pga. de tykke kornene					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7		HCl 10%	-	
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Saltet dehydrerer i kontakt med tørr luft, kontrollsjekket i pol. mikr.					
<b>Tolkning</b>	Entydig natriumsulfat, mirabilitt som nokså raskt dehydrerer til thenarditt i tørr luft. Trolig er natriumsulfaten kjøpt inn vannfri under produksjonstiden, men har så tatt opp vann i det fuktige miljøet.					

#### Foto



Mirabilitt, x-pol



<b>Nr.</b>	200228-4					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, inne					
<b>Type</b>	Salt på tegl					
<b>Beskrivelse</b>	Fint, hvitt pulver					
<b>Makrolupe</b>	Svært finkornet					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Fint, dehydreringsstrukturer, lave intereferensfarger					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7		HCl 10%	-	
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>						
<b>Tolkning</b>	Entydig natriumsulfat, thenarditt					

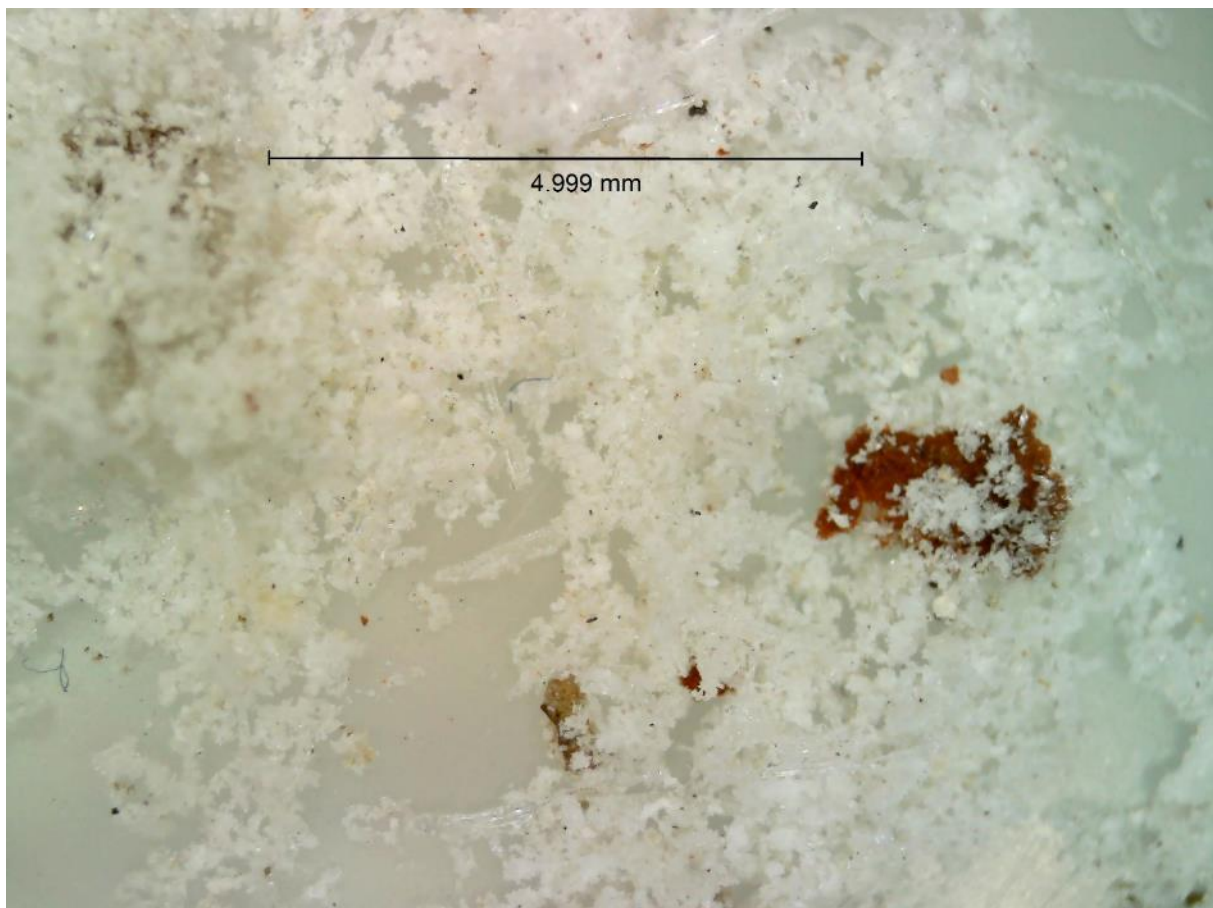
### Foto



### Makrolupe

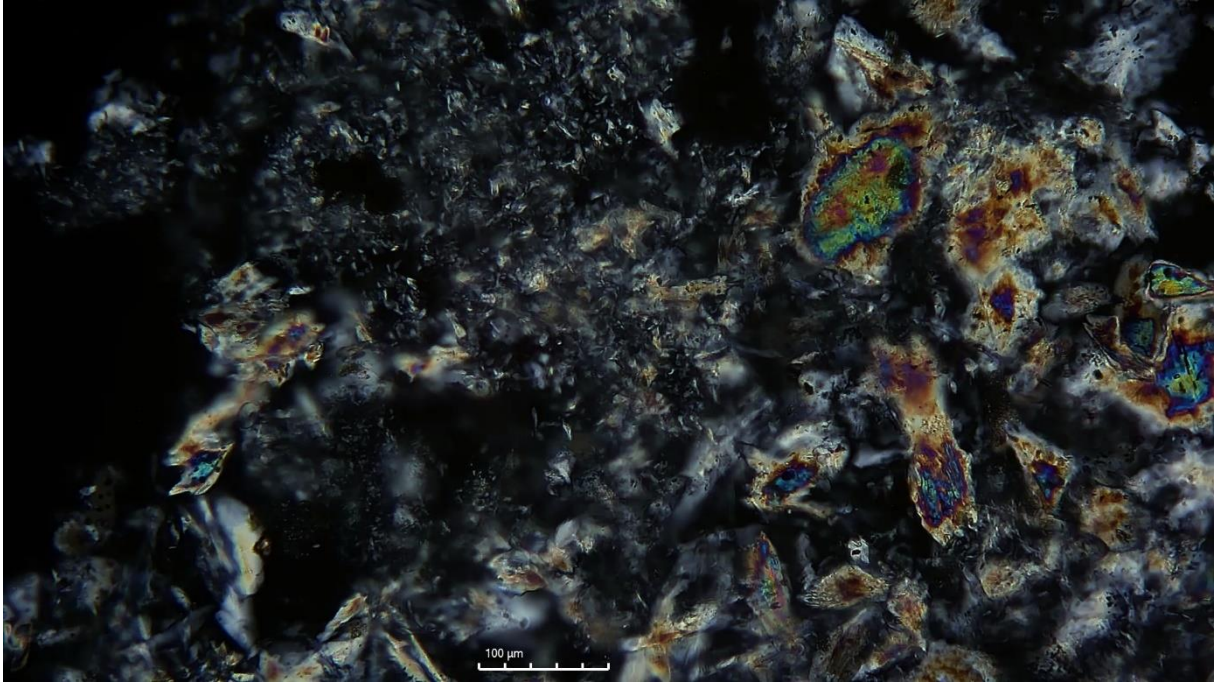
<b>Nr.</b>	200513-1					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Løs skorpe og pulver, noe nåleformet					
<b>Makrolupe</b>	Nåler, whiskerskorpe, både glassaktig og hvitt utsende					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Små nåler og dehydrerte strukturer, lave interferensfarger (grålig +), mer farge betyr trolig tykkere korn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7		HCl 10%	-	
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	I kontakt med tørr luft forsvinner over tid det glassaktige, tyder på dehydrering. Uhyre svak reaksjon med HCl, tyder på enten noen kalkkorn fra mørtel eller litt natriumkarbonat, men begge svært, svært lite.					
<b>Tolkning</b>	Natriumsulfat, whiskerskorpe i ferd med å dehydrere fra mirabilitt til thenarditt					

#### Foto



Makrolupe

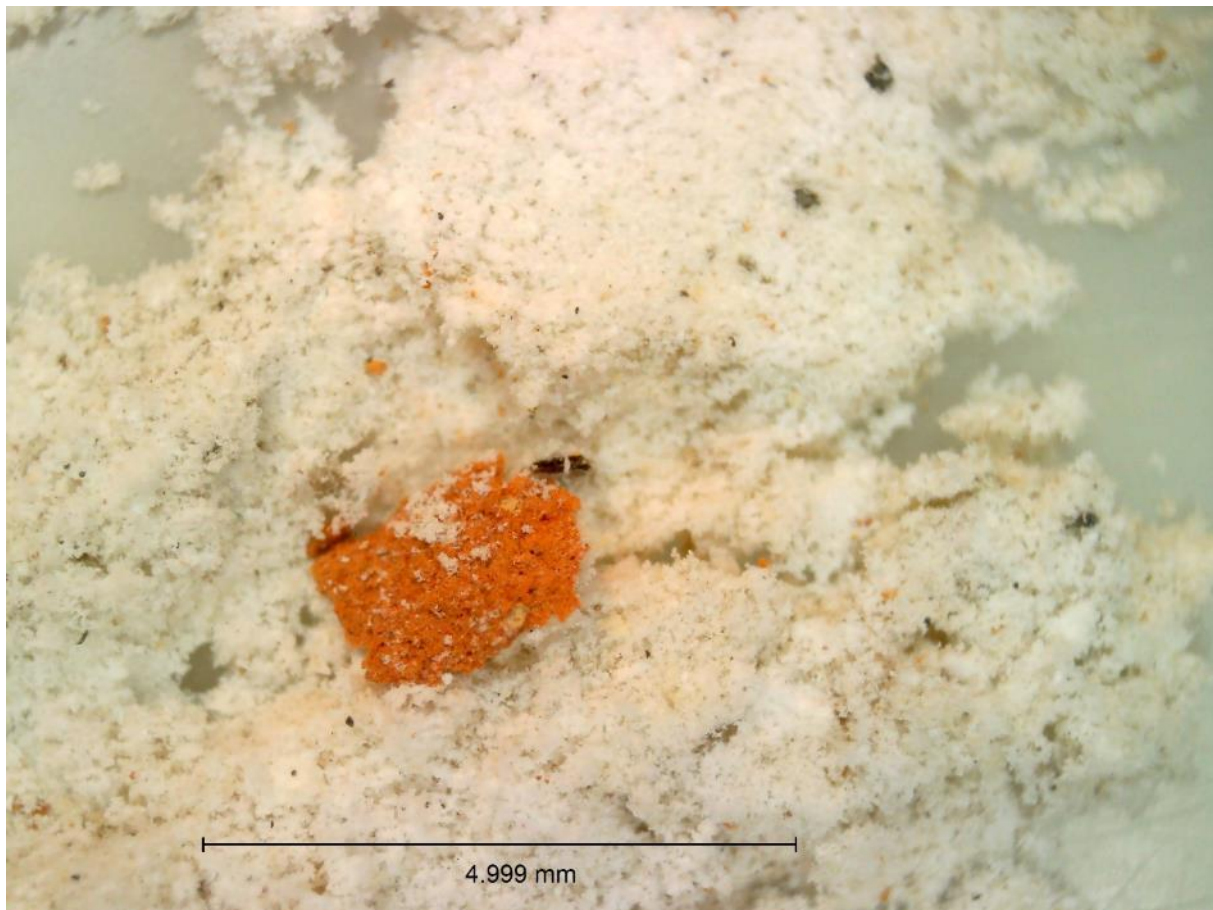




Mirabilitt og thenarditt, x-pol

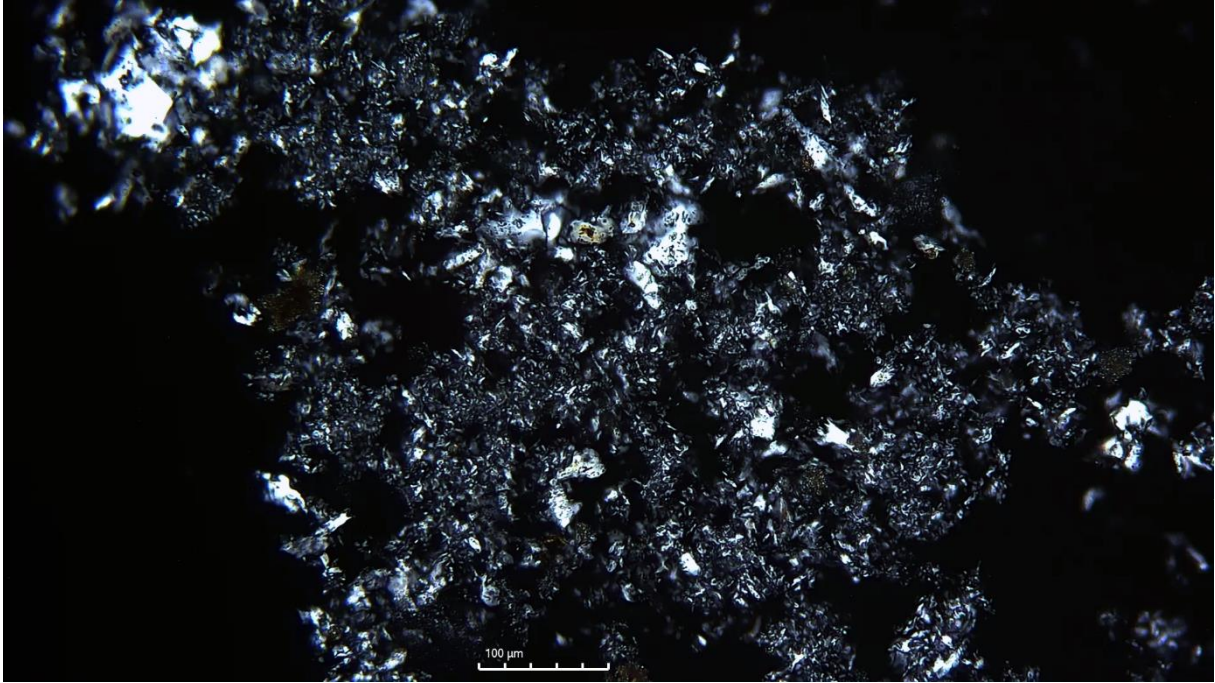
<b>Nr.</b>	200513-2					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Svært finkornet, hvitt pulver					
<b>Makrolupe</b>	Do, med små teglbiter					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Dehydrerte strukturer, lave interferensfarger (grålig +), et og annet kalkkorn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7		HCl 10%	-	
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Uhyre svak reaksjon med HCl, tyder på kalkkorn fra mørtel.					
<b>Tolkning</b>	Thenarditt					

#### Foto



#### Makrolupe

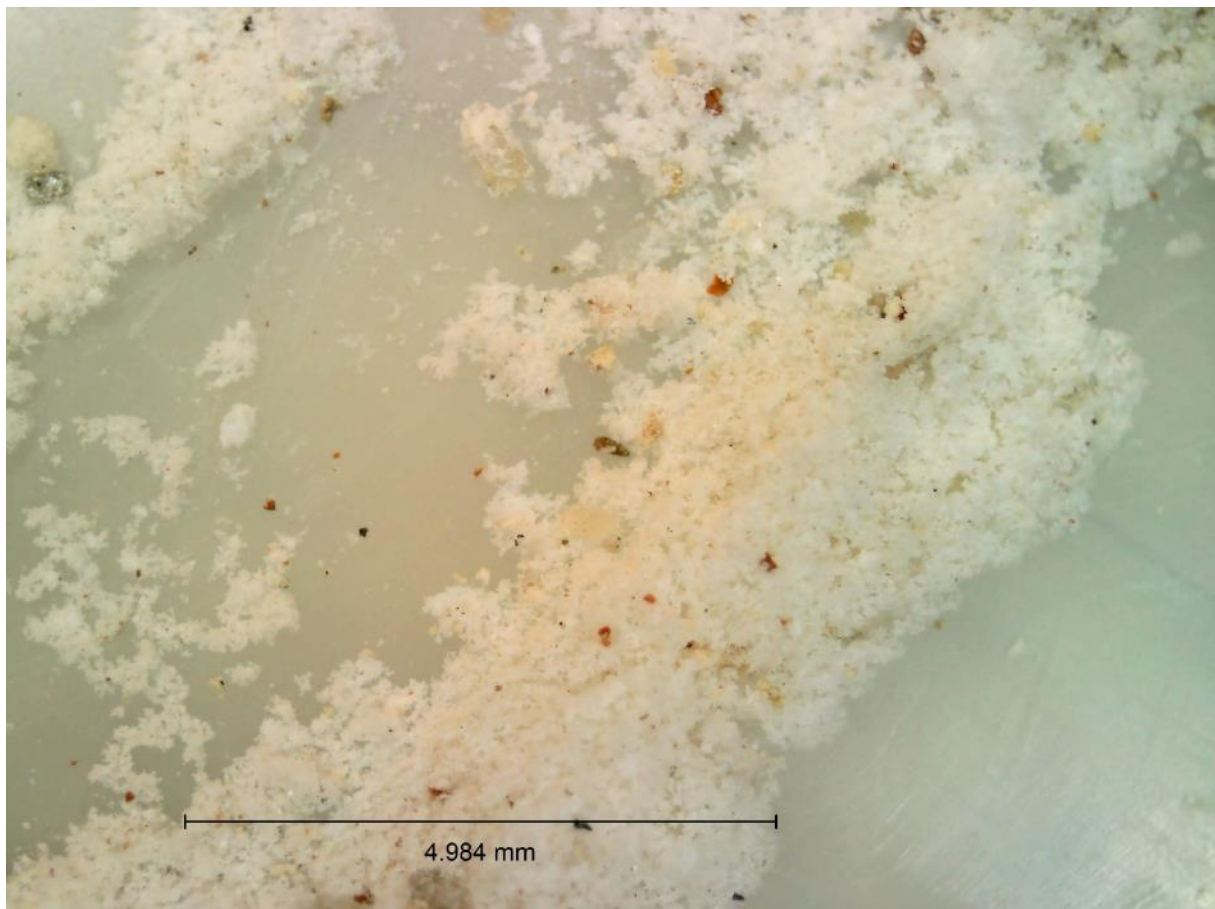




Thenarditt, x-pol.

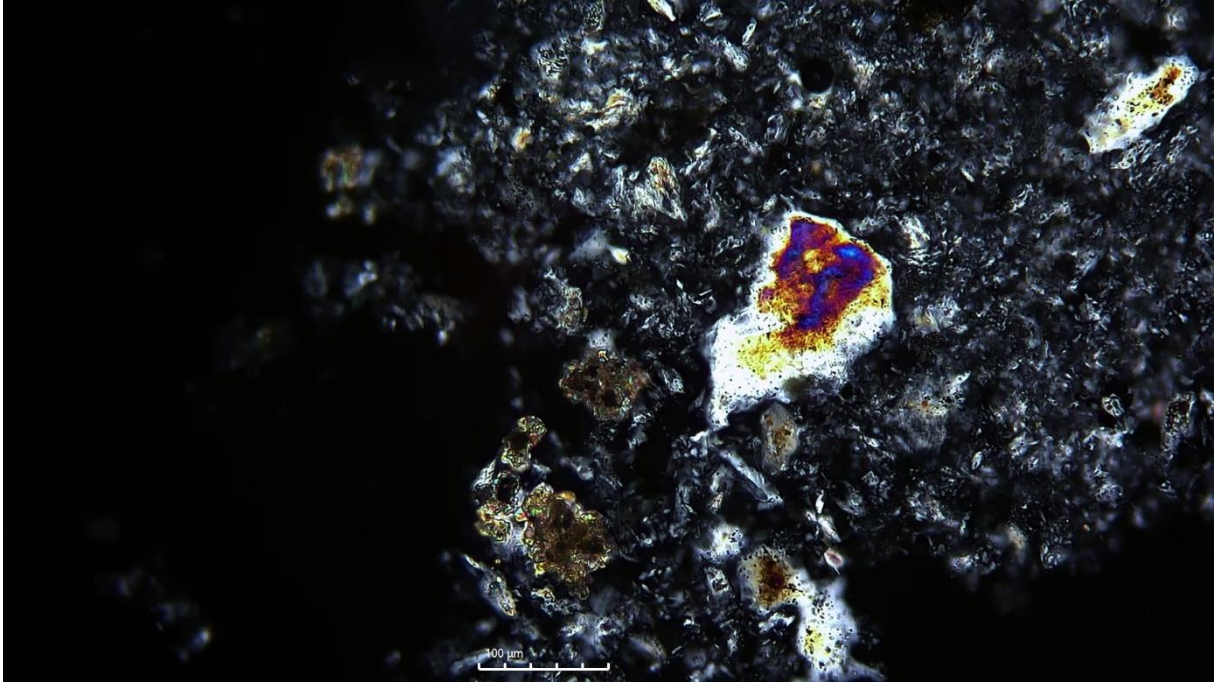
<b>Nr.</b>	200513-3					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Finkornet, hvitt pulver					
<b>Makrolupe</b>	Do, med små teglbiter, noe antydning til små nåler					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Dehydrerte strukturer, lave interferensfarger (grålig +), noen større korn som mirabilitt. Også noen korn med høye intereferensfarger, som natron/thermonatritt, et og annet kalkkorn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	8	HCl 10%	+		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	pH på ca. 8 og brusing i saltsyre tyder på tilstedeværelse av litt natriumkarbonat					
<b>Tolkning</b>	Thenarditt, litt mirabilitt, litt natron/thermonatritt. Sulfatet har ikke omvandlet alt karbonat. Saltet har dehydrert fra mirabilitt/natron					

#### Foto



Makrolupe

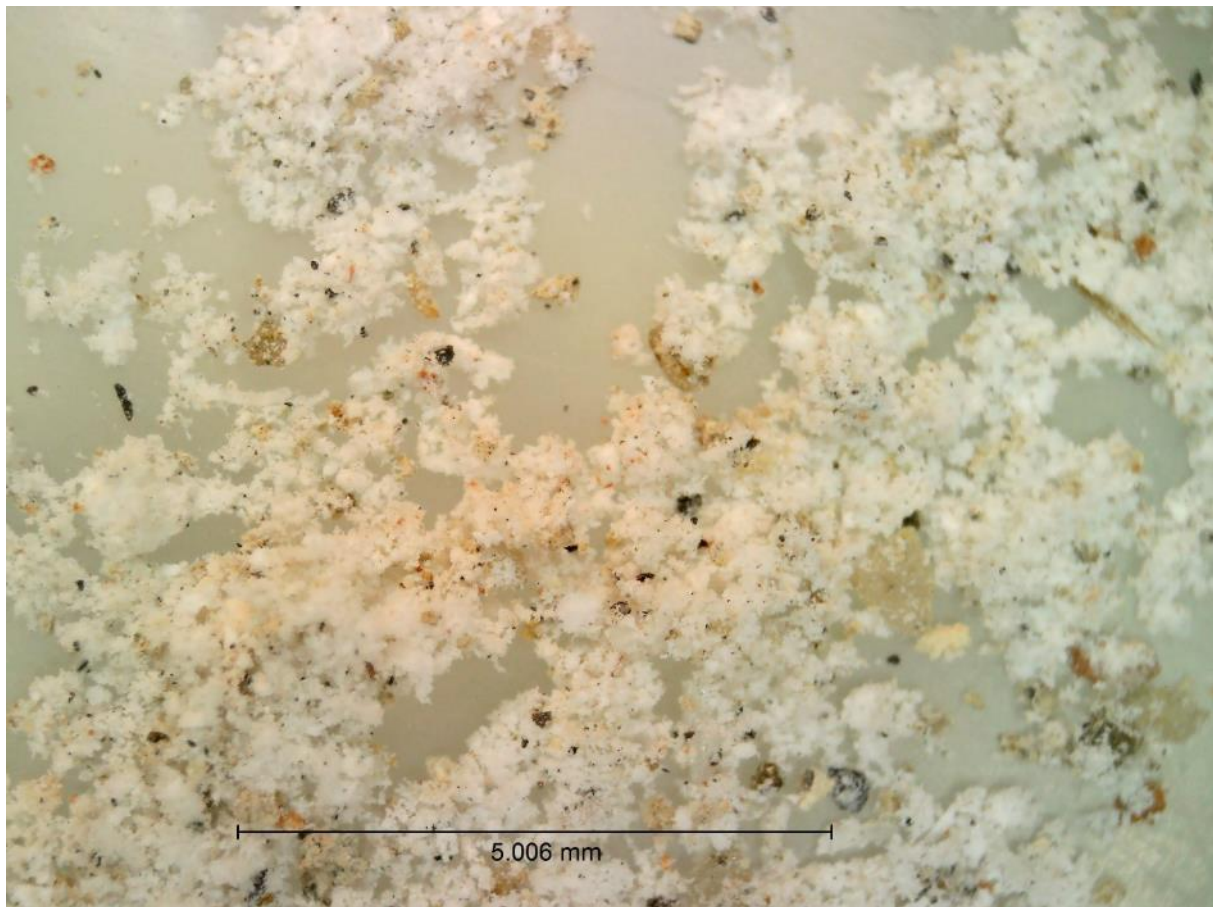




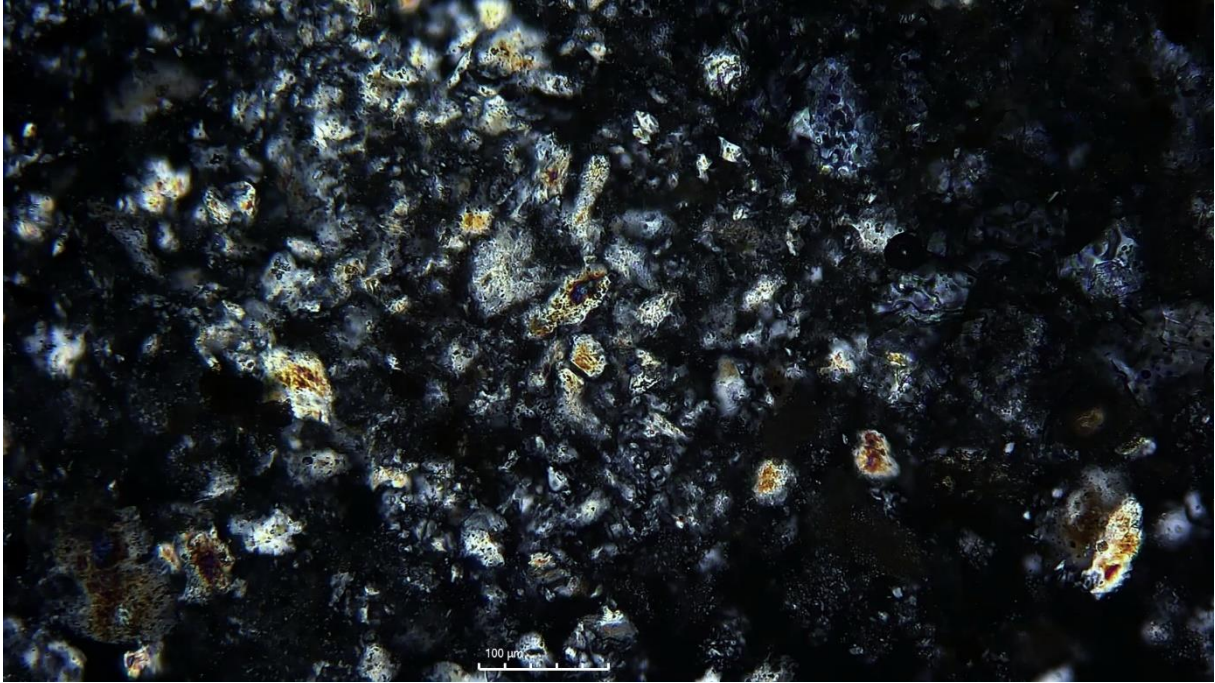
Thenadritt, litt mirabilitt, små korn av natron/thermonadritt, x-pol.

<b>Nr.</b>	200513-4					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Finkornet, hvitt pulver, tydelig fra løs skorpe					
<b>Makrolupe</b>	Do, med små teglbiter, noe antydning til små nåler					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Dehydrerte strukturer, lave interferensfarger (grålig +), noen større korn som mirabilitt, en del kalkkorn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7	HCl 10%	+/-		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Brusing i HCl er fra kalkkorn					
<b>Tolkning</b>	Thenarditt, litt mirabilitt, som er utgangsmaterialet før dehydrering					

#### Foto



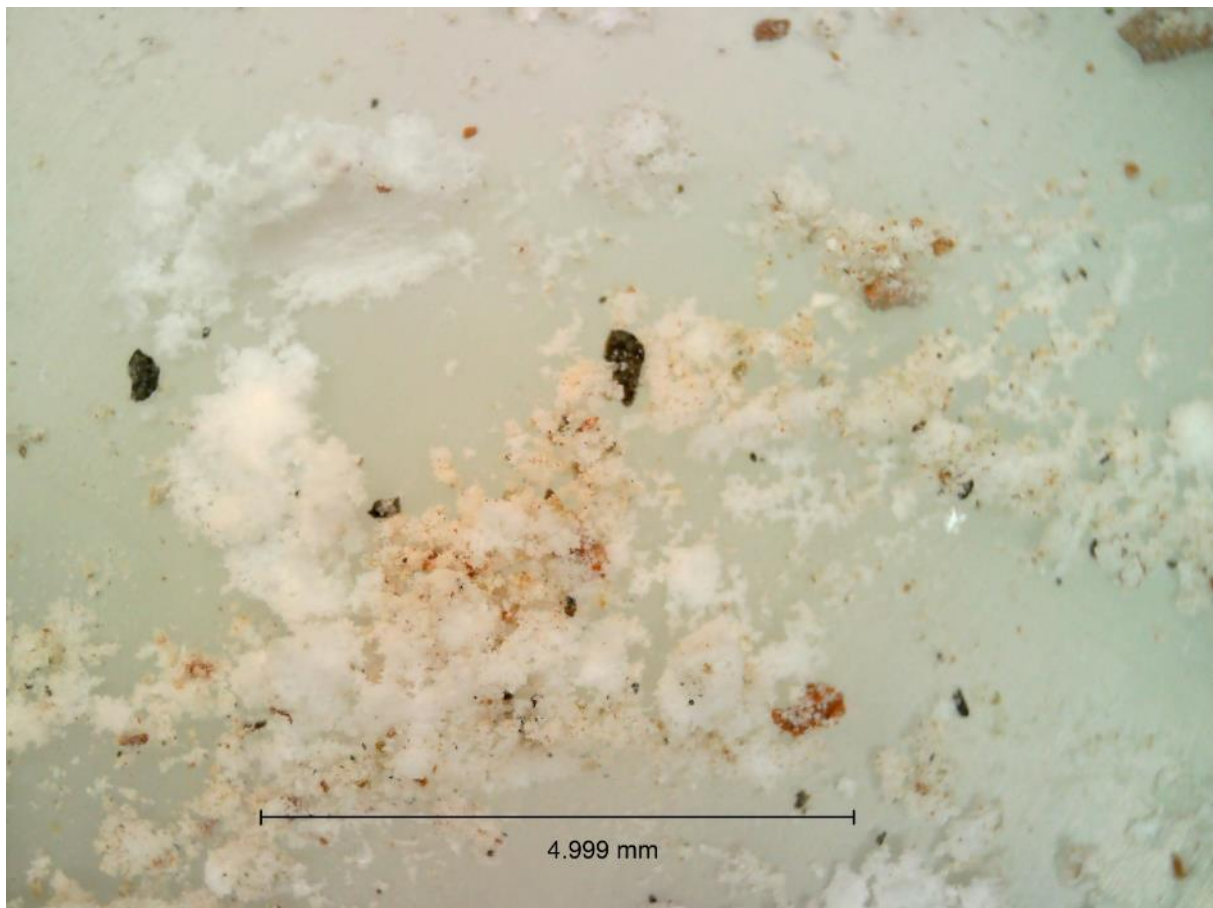




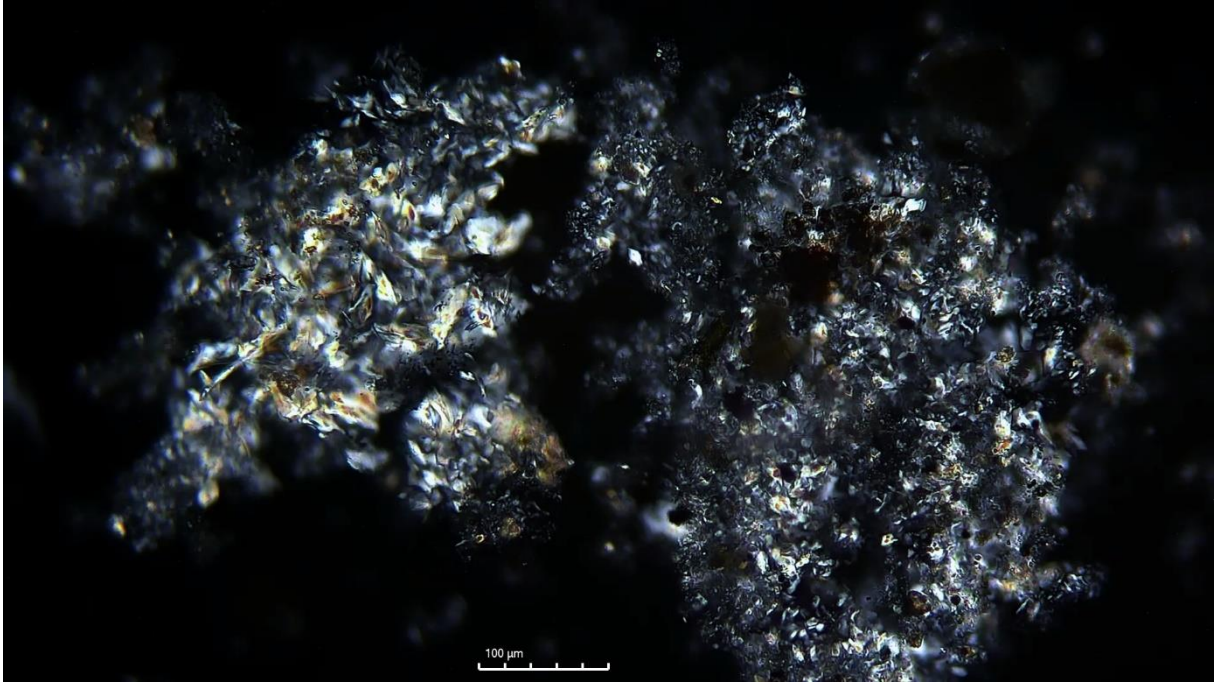
Mirabilitt og thenarditt, x-pol.

<b>Nr.</b>	200513-5					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Finkornet, hvitt pulver, tydelig fra løs skorpe					
<b>Makrolupe</b>	Do, med små teglbiter, noe antydning til små nåler					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Dehydrerte strukturer, lave interferensfarger (grålig +), noen større korn som mirabilitt, pluss korn med høyere interferensfarger, natriumkarbonat, og kalkkorn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	9	HCl 10%	+		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	-	NO3	-
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Brusing i HCl er fra kalkkorn, men også natriumkarbonat					
<b>Tolkning</b>	Thenarditt, litt mirabilitt, som er utgangsmaterialet før dehydrering, natron/thermonatritt (litt)					

#### Foto



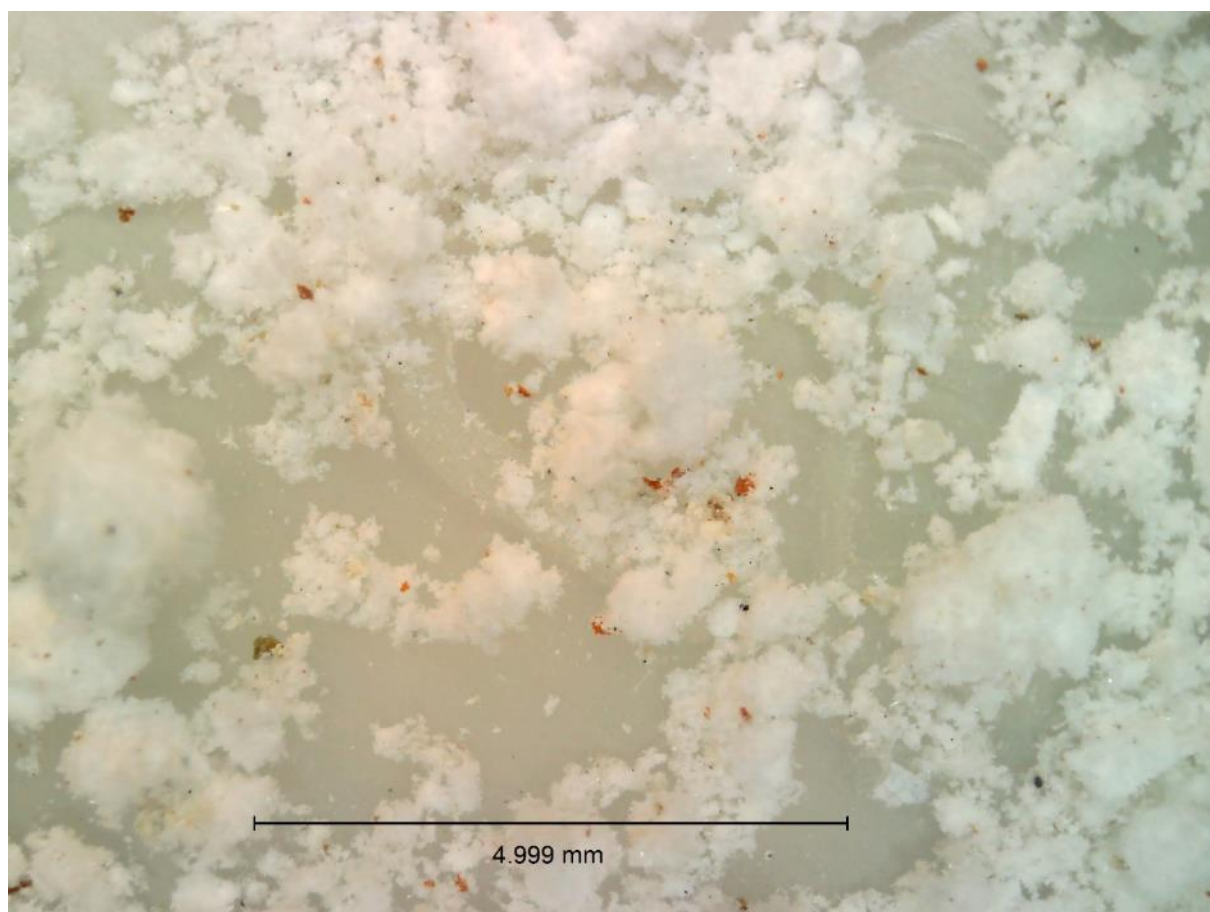




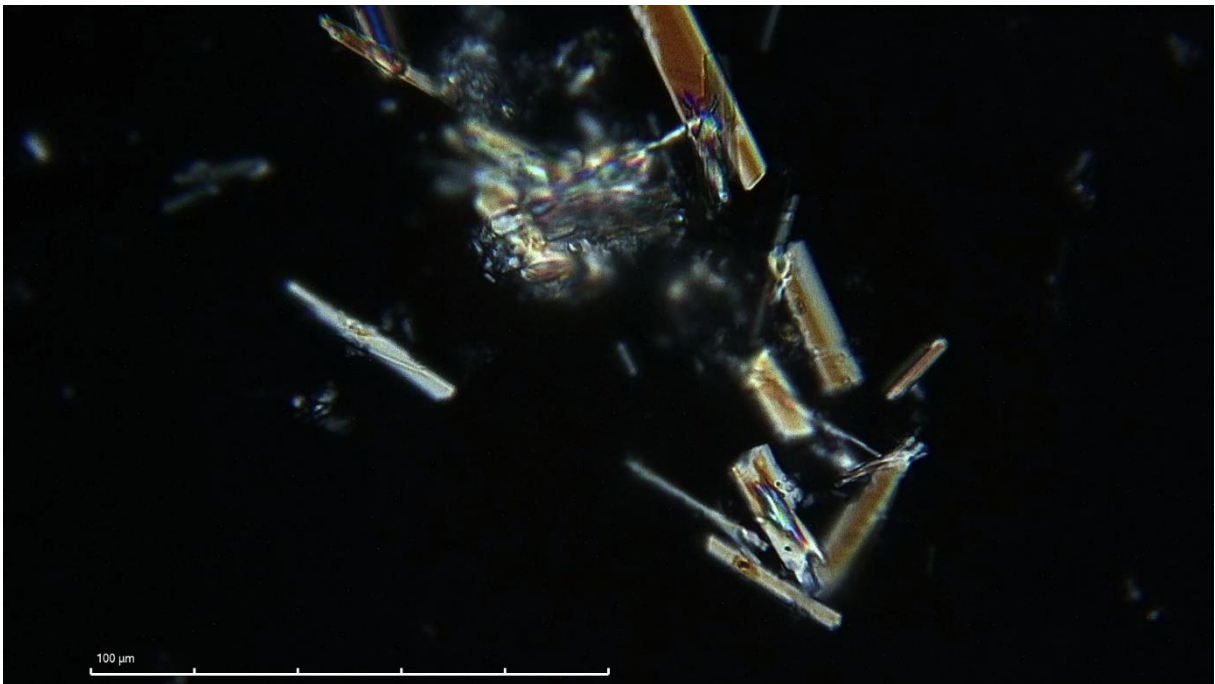
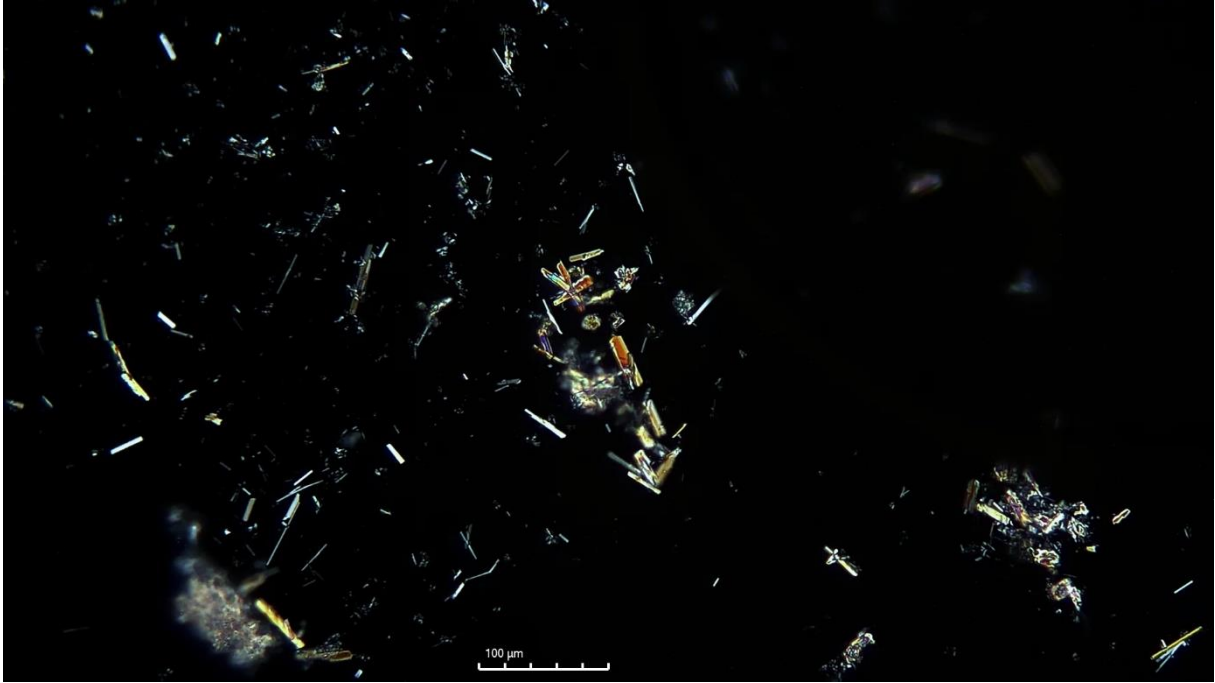
Mest thenarditt, x-pol.

<b>Nr.</b>	200513-6					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordvestvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Finkornet, hvitt pulver, tydelig fra løs skorpe					
<b>Makrolupe</b>	Do, med små teglbiter, noe antydning til små nåler					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	En mengde små prismatiske nåler (< 10 mikron tykke), lav til høyere interferensfarger (avhengig av tykkelse), «bakgrunn» med finkornede korn med dehydreringsstrukturer					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	12	HCl 10%	+		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Sterk brusing i HCl.					
<b>Tolkning</b>	Trolig trona (etter erfaring) og thenarditt med dehydreringsstrukturer.					

#### Foto



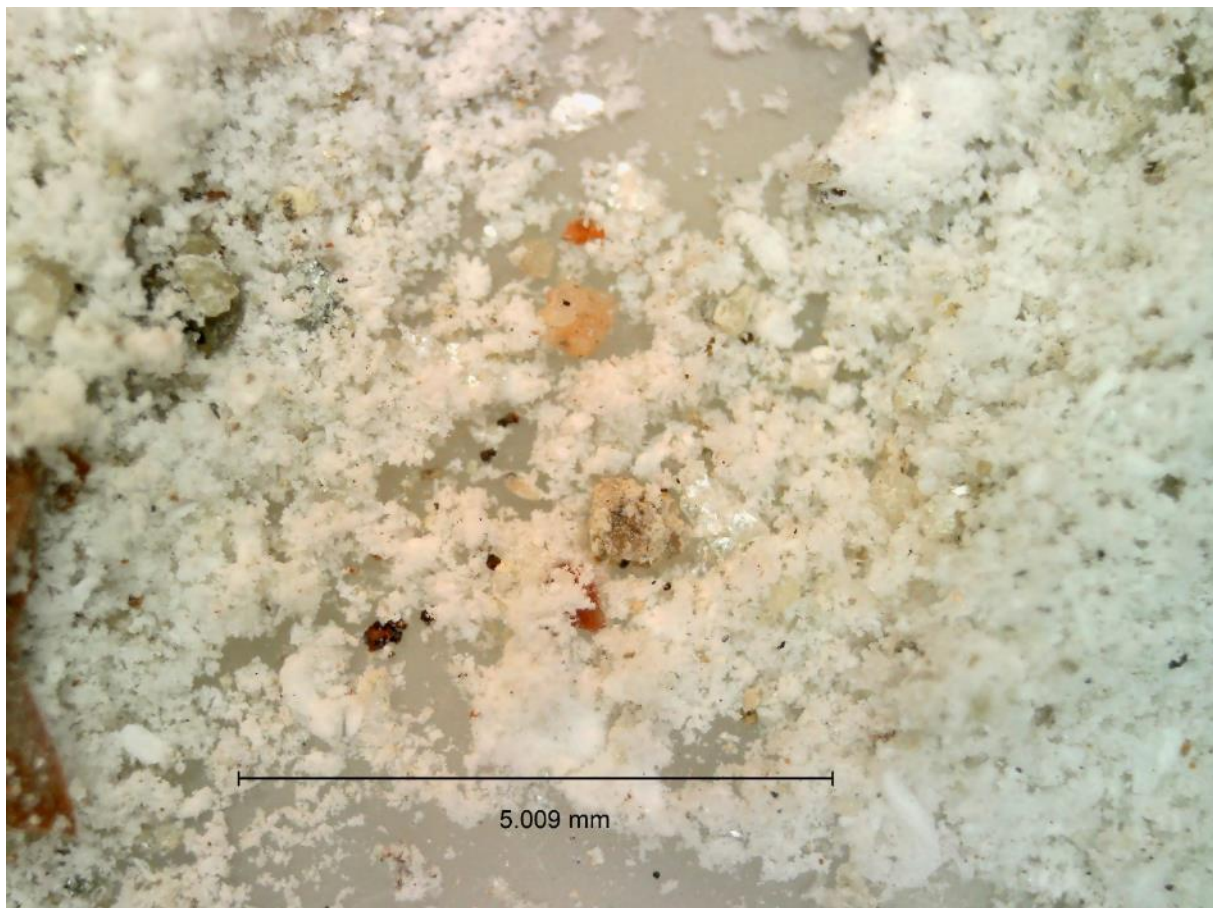




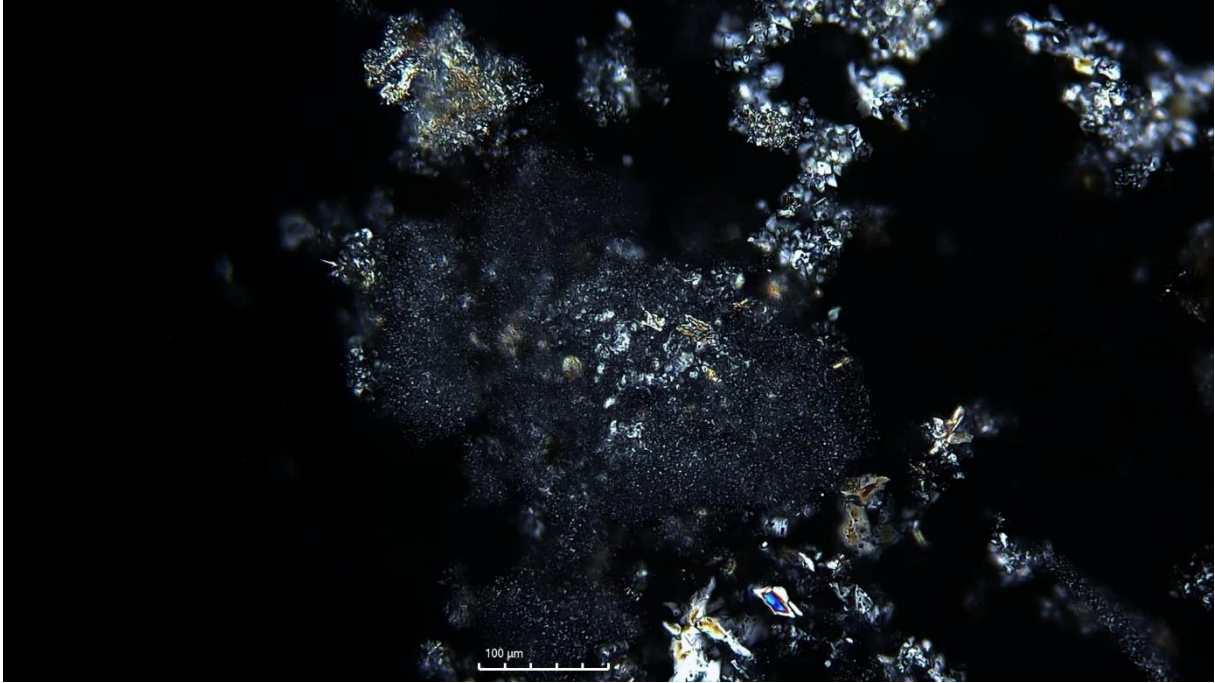
Mest trona, x-pol.

<b>Nr.</b>	200513-7					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, vestvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Finkornet, hvitt pulver					
<b>Makrolupe</b>	Do, med små teglbiter og mørtelkorn					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Finkornet med dehydr.-strukturer, lave interferensfarger. Endel korn («masser») med høyere interferensfarger, samt kalkkorn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	9-10		HCl 10%	+	
<b>Anioner</b>	SO4	x	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Svak brusing i HCl.					
<b>Tolkning</b>	Thenarditt etter dehydrering av mirabilitt, natriumkarbonat, trolig thermonatritt.					

#### Foto



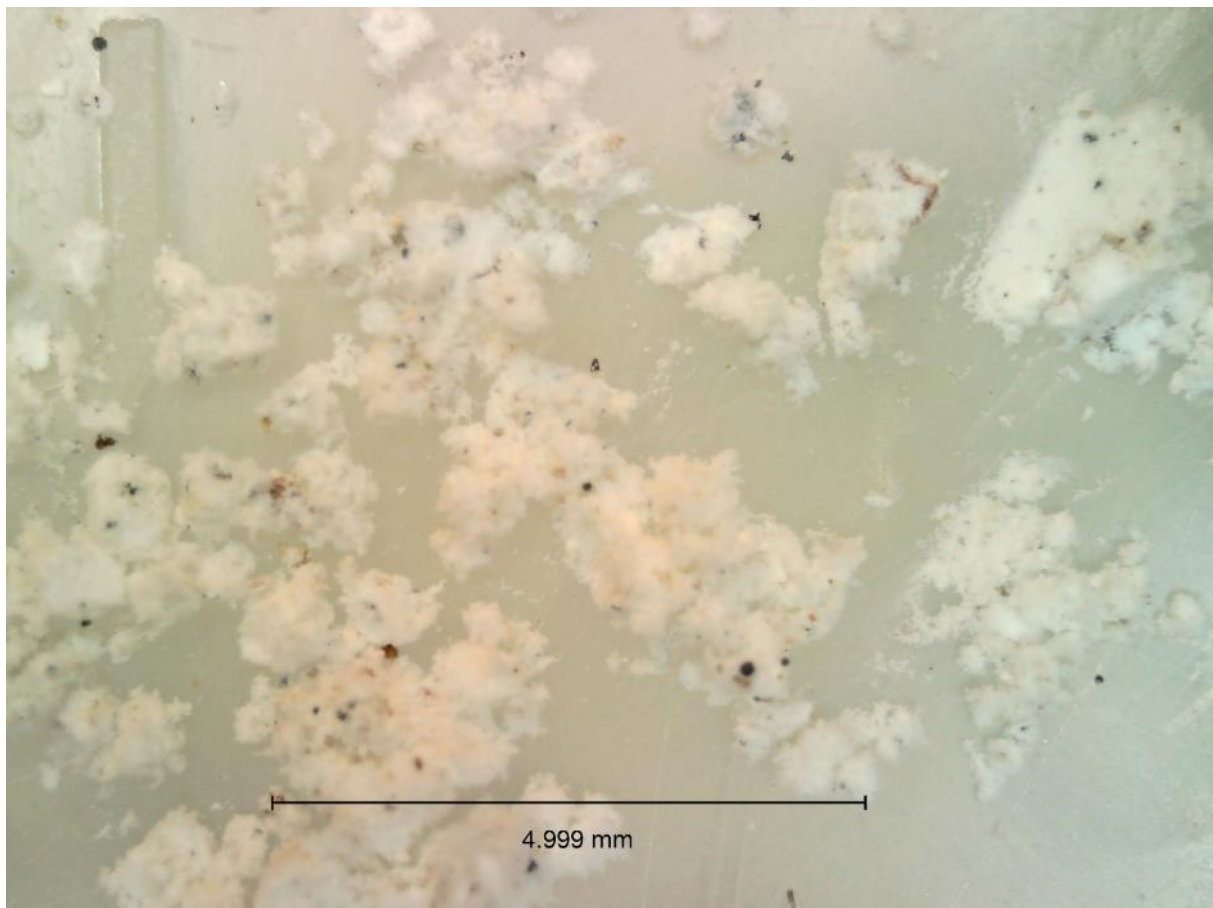




Mest thenarditt, x-pol.

<b>Nr.</b>	200513-8					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, nordvegg inne					
<b>Type</b>	Salt på teglstein					
<b>Beskrivelse</b>	Finkornet, hvitt pulver					
<b>Makrolupe</b>	Do. med også mørtelkorn/kalkkorn					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Ekstremt finkornet med dehydr.-strukturer, lave interferensfarger. Noen får «masser» med høyere interferensfarger, samt mange kalkkorn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7	HCl 10%	+		
<b>Anioner</b>	SO4	+	Cl	-	NO3	-
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Svak brusing i HCl.					
<b>Tolkning</b>	Thenarditt etter dehydrering av mirabilitt, mulig litt natriumkarbonat, trolig thermonatritt (men ekstremt lite pga. nøytral pH).					

#### Foto

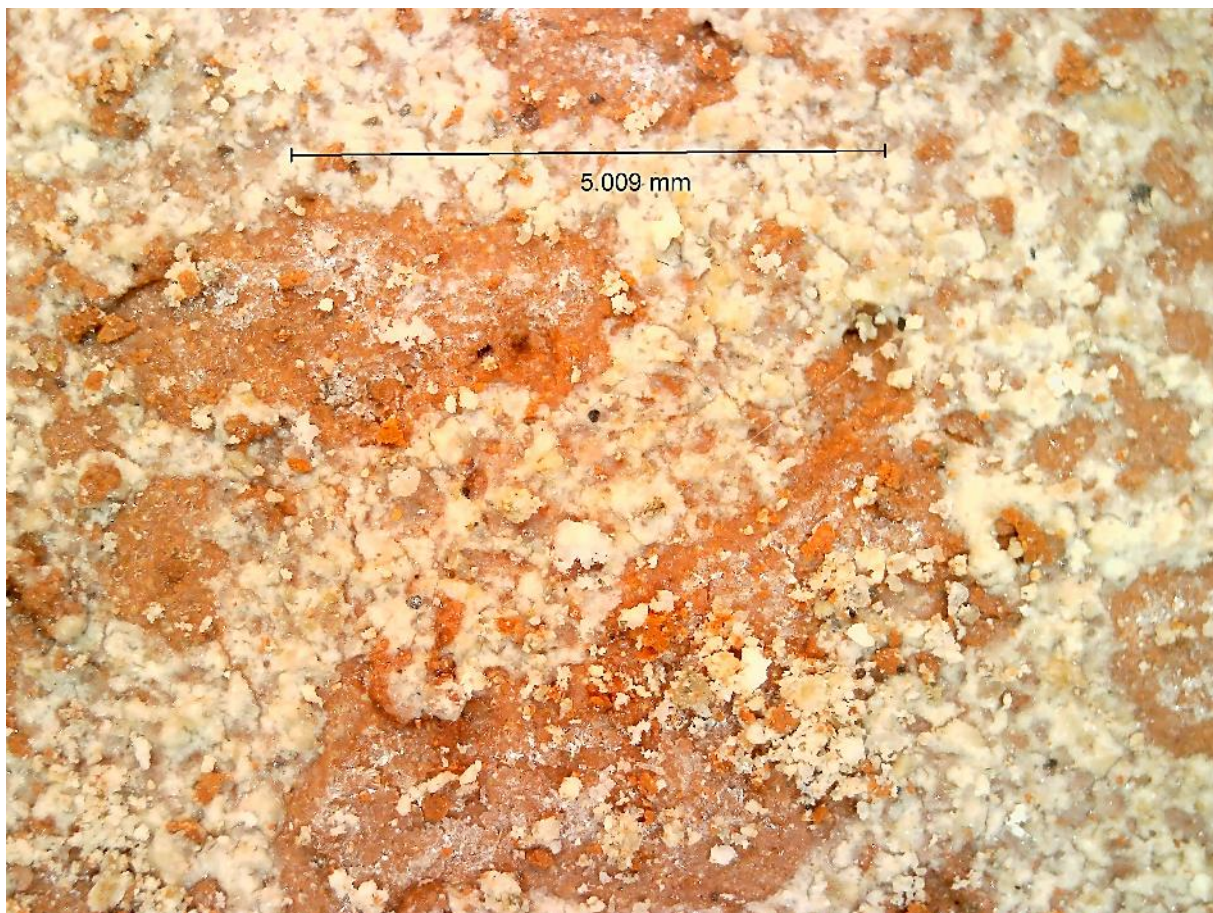


#### Makrolupe



<b>Nr.</b>	200514-1					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Motorhuset, testfelt med MgCl <sub>2</sub> -behandlet tegl					
<b>Type</b>	Salt på tegl					
<b>Beskrivelse</b>	Tynn saltskorpe					
<b>Makrolupe</b>	Skorpestruktur på saltet, noen korn, noen tynne riss i skorpen					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Ekstremt finkornede masser med høye interferensfarger, men også en del større korn, ofte «bak» massene, med optiske egenskaper jfr. kubiske system (i e. halitt)					
<b>Karbonat (CO<sub>3</sub>)</b>	pH	6-7	HCl 10%	+		
<b>Anioner</b>	SO <sub>4</sub>	(+)	Cl	+++	NO <sub>3</sub>	x
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	+++	K	x
<b>Annet</b>	Skorpen løser seg bare delvis i vann. Løser seg mye bedre i HCl, teglsteinen gir ingen reaksjon med HCl					
<b>Tolkning</b>	Skorpen består trolig av magnesiumkarbonat eller et av hydratene til magnesiumkarbonat, samt korn av halitt. Dette er i samsvar med reaksjonen mellom natriumkarbonat og magnesiumklorid, som gir magnesiumkarbonat og halitt.					

#### Foto



Makrolupe

<b>Nr.</b>	200514-2					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Motorhuset, rett ved siden av testfelt med MgCl <sub>2</sub>					
<b>Type</b>	Finkornet masse med salt på tegl					
<b>Beskrivelse</b>	Løs, finkornet masse					
<b>Makrolupe</b>	Do.					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Finkornet, mye små nåler, høye interferensfarger, men også en enda mer finkornet masse med lave interferensfarger					
<b>Karbonat (CO<sub>3</sub>)</b>	pH	10-11	HCl 10%	+++		
<b>Anioner</b>	SO <sub>4</sub>	+++	Cl	-	NO <sub>3</sub>	x
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Helt oppløselig i vann					
<b>Tolkning</b>	Dehydrert natriumkarbonat (thermonatritt), muligens trona, og dehydrert natriumsulfat (thenarditt). Saltene sameksisterer trolig fordi det ikke er nok fritt sulfat tilgjengelig til at alt natriumkarbonat reagerer til natriumsulfat.					

**Foto**

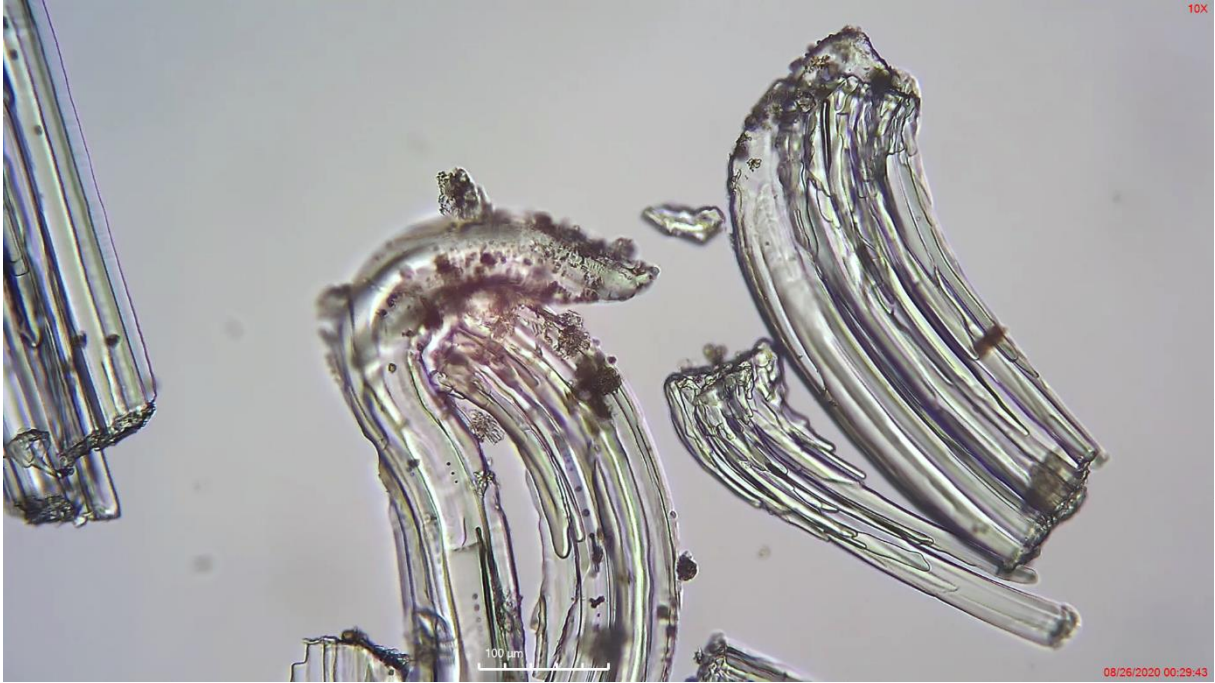


<b>Nr.</b>	200514-3					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Motorhuset, nedre del av testfelt med MgCl <sub>2</sub> -behandlet tegl					
<b>Type</b>	Salt på tegl					
<b>Beskrivelse</b>	Tynn saltskorpe og pulver, små nåler og whiskers					
<b>Makrolupe</b>	Skorpestruktur på en del av saltet, flotte whiskers på andre deler, spesielt «bak» på teglbiten, den delen som vendte inn i muren					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Flotte whiskers av halitt! Ellers tilsvarende som 200514-1					
<b>Karbonat (CO<sub>3</sub>)</b>	pH	6-7		HCl 10%	+++	
<b>Anioner</b>	SO <sub>4</sub>	++	Cl	+++	NO <sub>3</sub>	x
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Skorpen løser seg bare delvis i vann. Løser seg mye bedre i HCl, teglsteinen gir ingen reaksjon med HCl. Ikke gjort Mg-analyse, prøven er tilsvarende som 200514-1					
<b>Tolkning</b>	Skorpen består av magnesiumkarbonat eller et av hydratene til magnesiumkarbonat, samt korn av halitt. Dette er i samsvar med reaksjonen mellom natriumkarbonat og magnesiumklorid, som gir magnesiumkarbonat og halitt. Halitt som whiskers ses i utkanten av skorpen og på baksiden av teglbiten. Magnesiumsulfat er ikke detektert, en ville kanskje forvente noe ettersom det er sulfat i prøven. Tilstedeværelse av sulfat er vanskelig å tolke.					

#### Foto



Makrolupe, halittwhiskers.



Halittwhiskers, pol. lys.

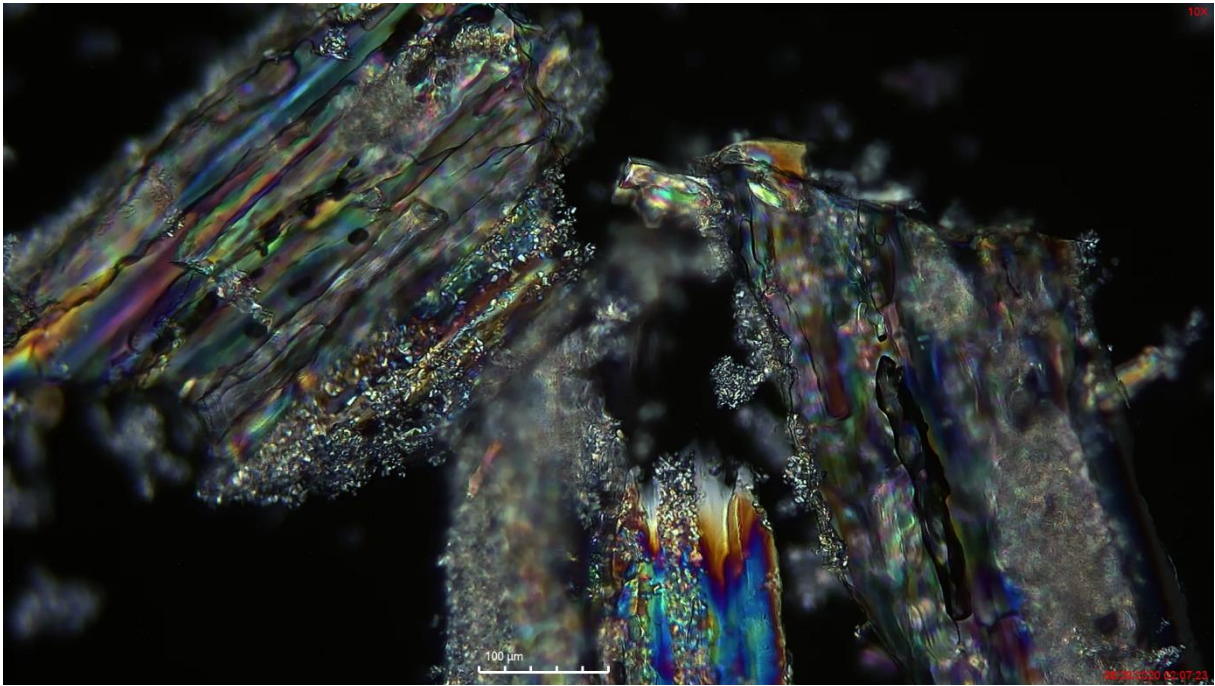


<b>Nr.</b>	200514-5					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Luthuskjelleren, østre ende av sørvegg					
<b>Type</b>	Salt					
<b>Beskrivelse</b>	Massiv, porøs whiskerskorpe, 3-4 cm tykk					
<b>Makrolupe</b>	Do.					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Velkrystalliserte korn i ferd med å dehydrere, høye interferensfarger, dessuten finere masser med lave interferensfarger					
<b>Karbonat (CO<sub>3</sub>)</b>	pH	9-10		HCl 10%	+++	
<b>Anioner</b>	SO <sub>4</sub>	+++	Cl	x	NO <sub>3</sub>	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Ved oppvarming utvikles det vann og den porøse skorpen faller sammen. Pol. mik. Dette materialet er finkornet med optiske egenskaper som thermonatritt, med den samme finkornede massen med lavere interferensfarger som over, trolig thenarditt.					
<b>Tolkning</b>	Skorpen er trolig natron, i ferd med å dehydrere til thermonatritt. Det finnes også thenarditt. Natriumkarbonat og natriumsulfat sameksisterer trolig fordi det ikke er nok fritt sulfat tilgjengelig til at alt natriumkarbonat reagerer til natriumsulfat.					

#### Foto



Makrolupe, del av skorpen, ca. 2 cm høy

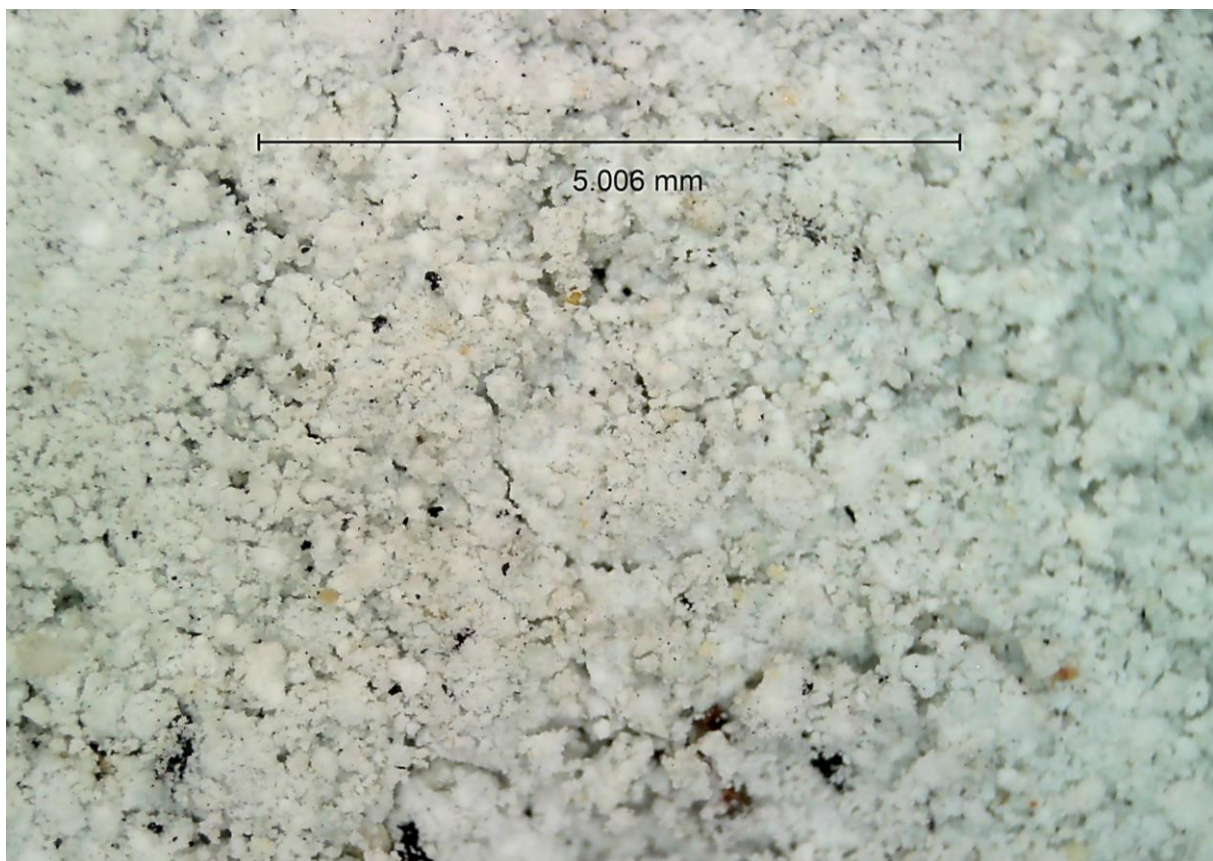


Dehydrerende natron, x-pol.



<b>Nr.</b>	200514-6					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Mesakalk, tatt fra den store dungen rett vest for fabrikk					
<b>Type</b>	Mesakalk					
<b>Beskrivelse</b>	Finkornet, lysegrått pulver					
<b>Makrolupe</b>	Svært finkornet					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Ekstremt finkornet med optiske egenskaper som kalsiumkarbonat					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7	HCl 10%	+++		
<b>Anioner</b>	SO4	-	Cl	-	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Ikke løselig i vann					
<b>Tolkning</b>	Svært ren kalsiumkarbonat					

#### Foto



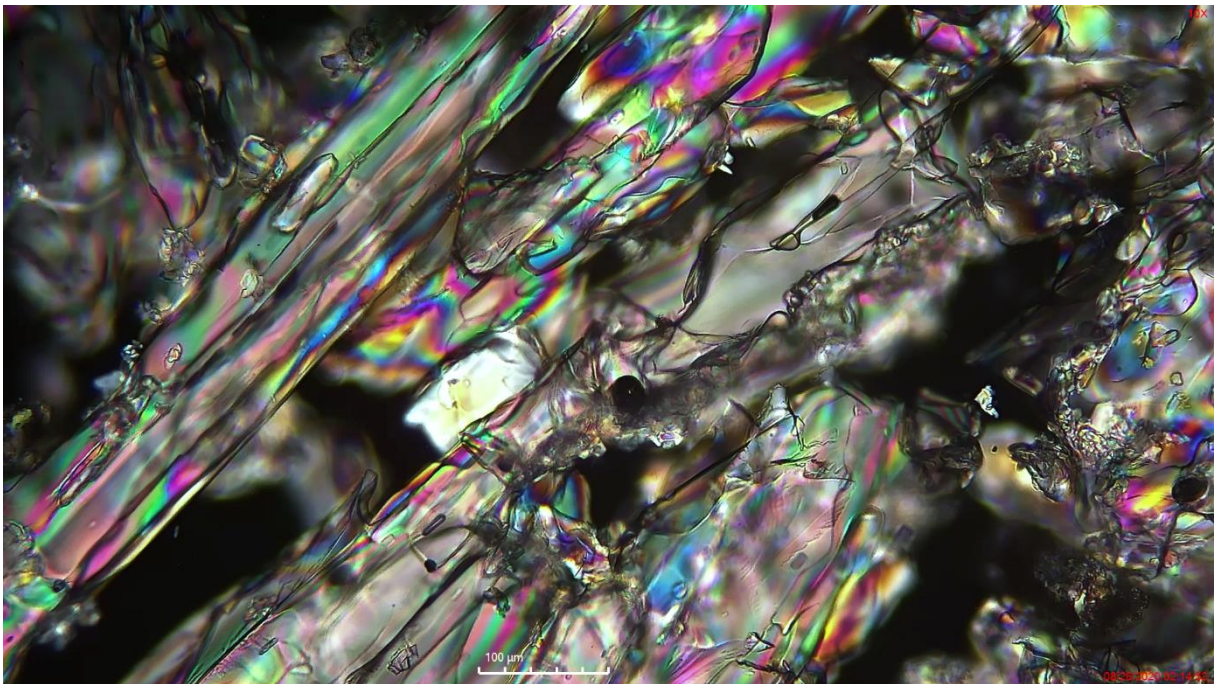
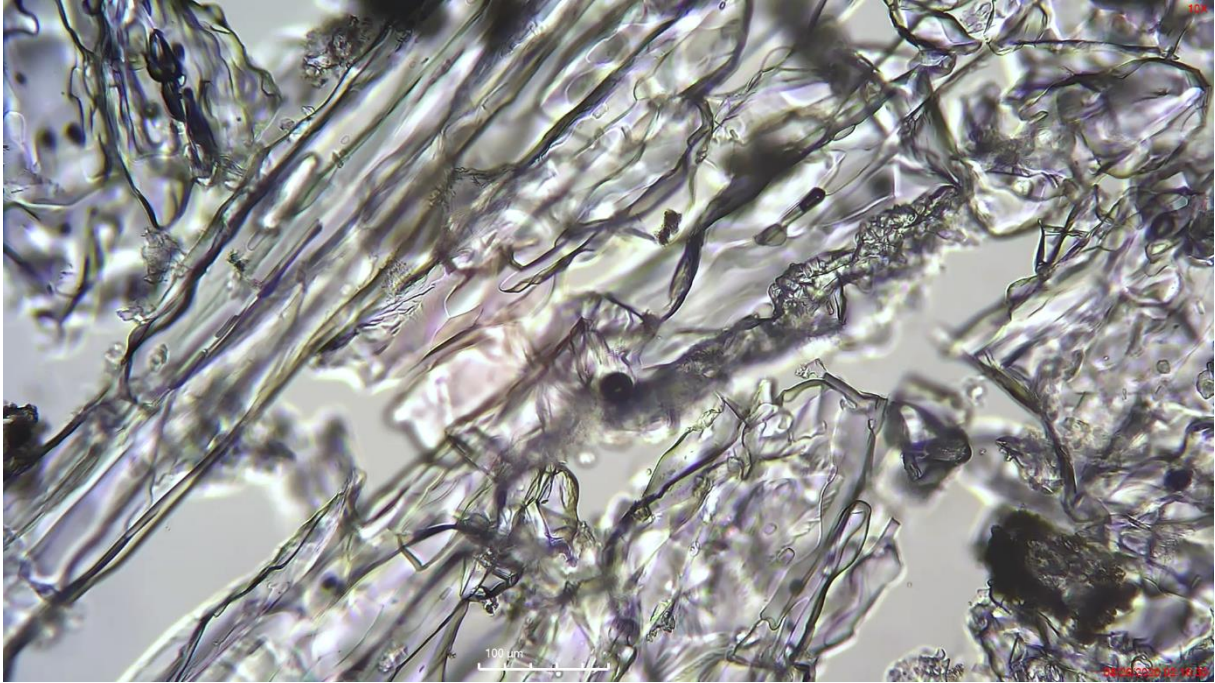
Makrolupe

<b>Nr.</b>	200514-7					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Luthuskjelleren, sørveggen i kjelleren					
<b>Type</b>	Hel teglstein med store mengder salt omkring					
<b>Beskrivelse</b>	Massive, porøse whiskerskorper vanlig omkring teglsteinen, 2-3 cm tykke					
<b>Makrolupe</b>	Do. Bl.a. kan en se hvordan det er whiskerskorpe helt inne i teglsteinen, i et større hull, der steinen er brukket (se bilde under)					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Velkrystalliserte korn, høye interferensfarger, dessuten en liten tendens til finere masser med lave interferensfarger					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	10-11	HCl 10%	+++		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Ved oppvarming utvikles det vann og den porøse skorpen faller sammen. Pol. mik. Dette materialet er finkornet med optiske egenskaper som thermonatritt.					
<b>Tolkning</b>	Skorpen er trolig natron, i ferd med å dehydrere til thermonatritt. Det finnes trolig også thenarditt. Na-karbonat og Na-sulfat sameksisterer fordi det ikke er nok fritt sulfat tilgjengelig til at alt Na-karbonat reagerer til Na-sulfat. (Prøven benyttet til forvitringseksperiment med og uten MgCl <sub>2</sub> , start 24.8.2020.)					

#### Foto



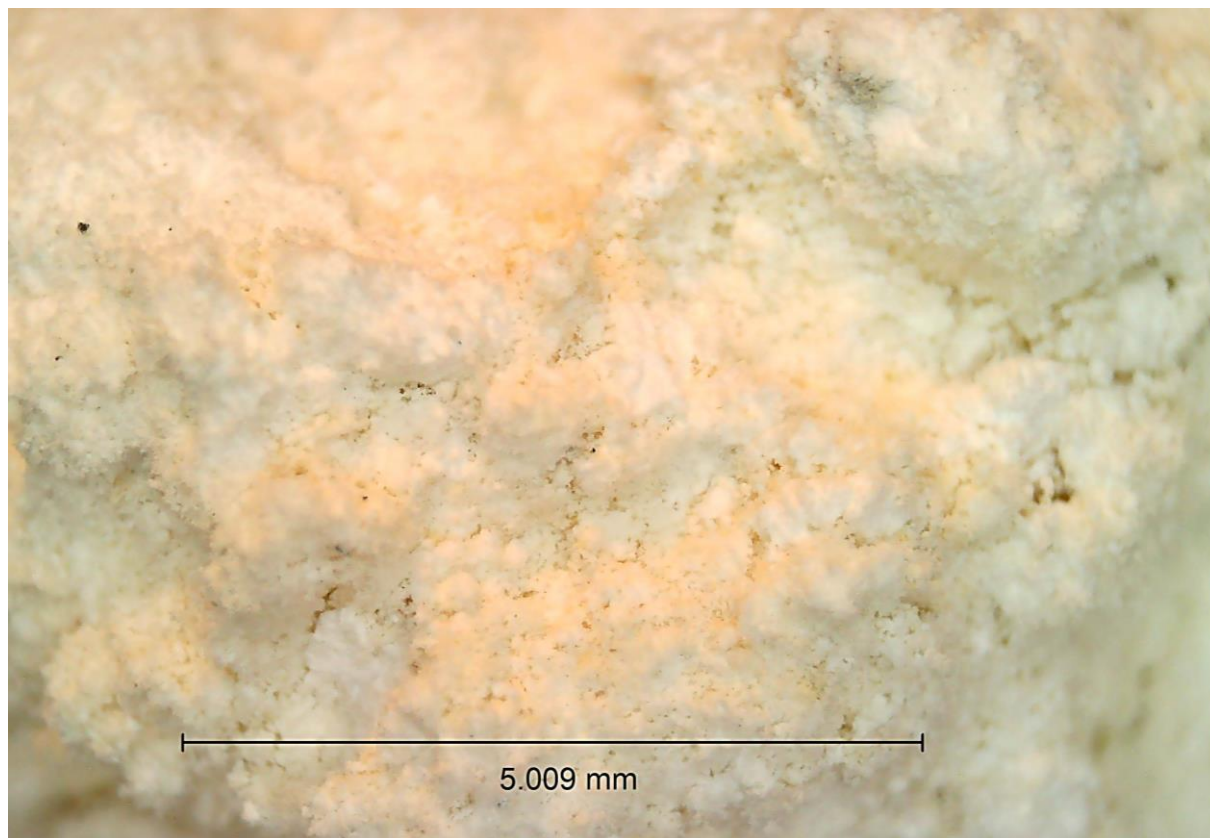




Natron, over pol. lys, under x-pol.

<b>Nr.</b>	200514-8					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Kalk, fra dungen ved mikseriet					
<b>Type</b>	Kalk					
<b>Beskrivelse</b>	Svært finkornet, hvitt pulver					
<b>Makrolupe</b>	Do.					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Ekstremt finkornet med optiske egenskaper som kalsiumkarbonat					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7	HCl 10%	+++		
<b>Anioner</b>	SO4	-	Cl	-	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Ikke løselig i vann					
<b>Tolkning</b>	Svært ren kalsiumkarbonat. (Senere, uformelle prøver, tatt fra dypere i dungen indikerer at pH er høyere og at det kan være rester av både ulesket og lesket kalk her.)					

#### Foto



Makrolupe



<b>Nr.</b>	200514-9					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, oppe bak sodaovnen, haug					
<b>Type</b>	Haug med «svartstoff» (tatt ut av roterovnen)					
<b>Beskrivelse</b>	Svart, middelskornet pulver, med synlige små trefliser og saltwhiskers					
<b>Makrolupe</b>	Mye trefliser, saltnåler og saltwhiskers					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Mye velkrystallisert salt, middels interferensfarger, trefliser godt synlige, dessuten - mest av alt - sort, opakt stoff som kan være aske/kull og/eller tjærestoffer?					
<b>Karbonat (CO<sub>3</sub>)</b>	pH	9-10	HCl 10%	+		
<b>Anioner</b>	SO <sub>4</sub>	+++	Cl	-	NO <sub>3</sub>	-
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Ved oppvarming faller saltene sammen og det frigjøres vann, ingen vond lukt fra massen. Pol. mik. viser da at treflisene har forkullet og saltene er blitt en svært finkornet masse. Vanskelig å avgjøre om det er thenarditt eller thermonatritt. Kun saltene er løselige i vann, vannløsningen blir sterkt brun, og derfor uegnet for Na-analyse.					
<b>Tolkning</b>	Høy pH tyder på at utgangssaltet er natron, mye sulfat tyder på at det også er natriumsulfat i massen.					

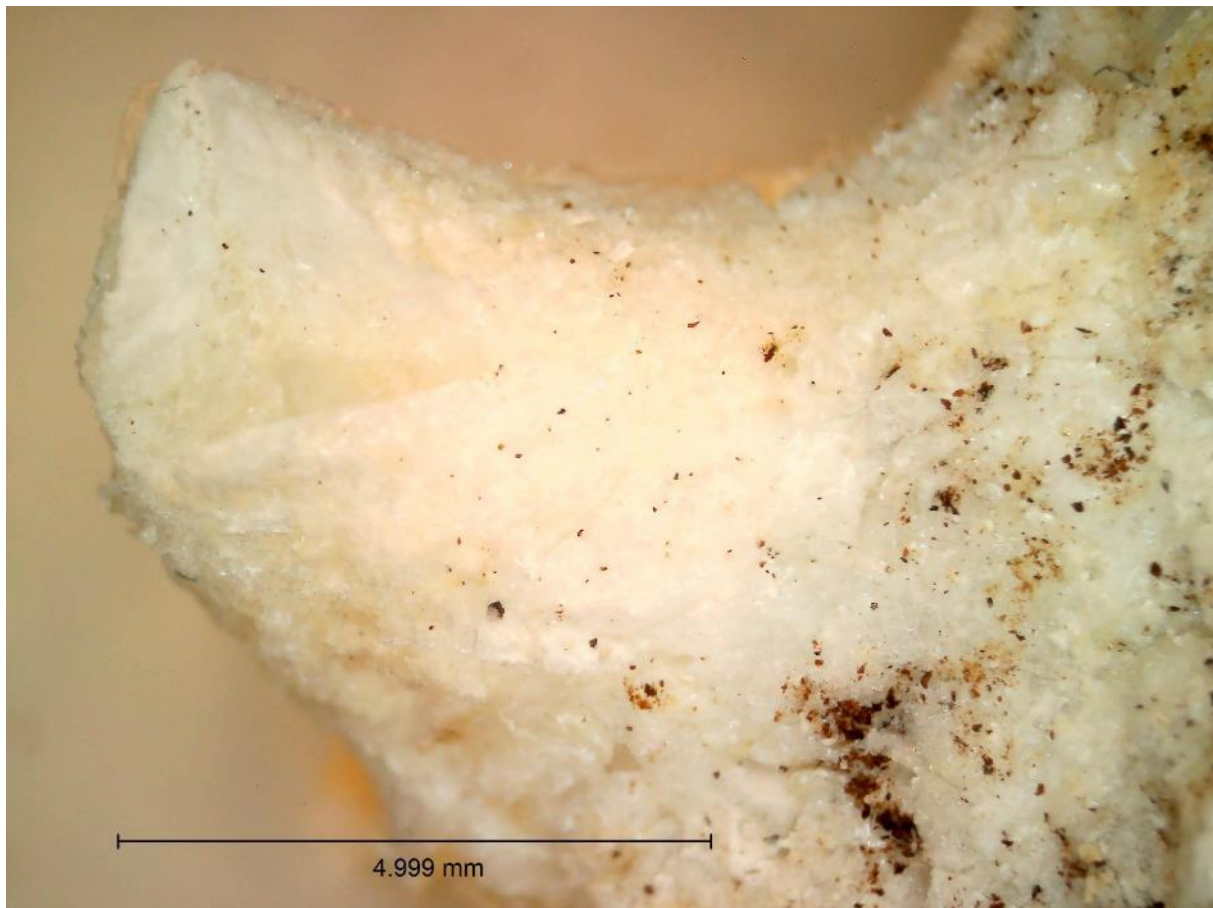
#### Foto



Makrolupe

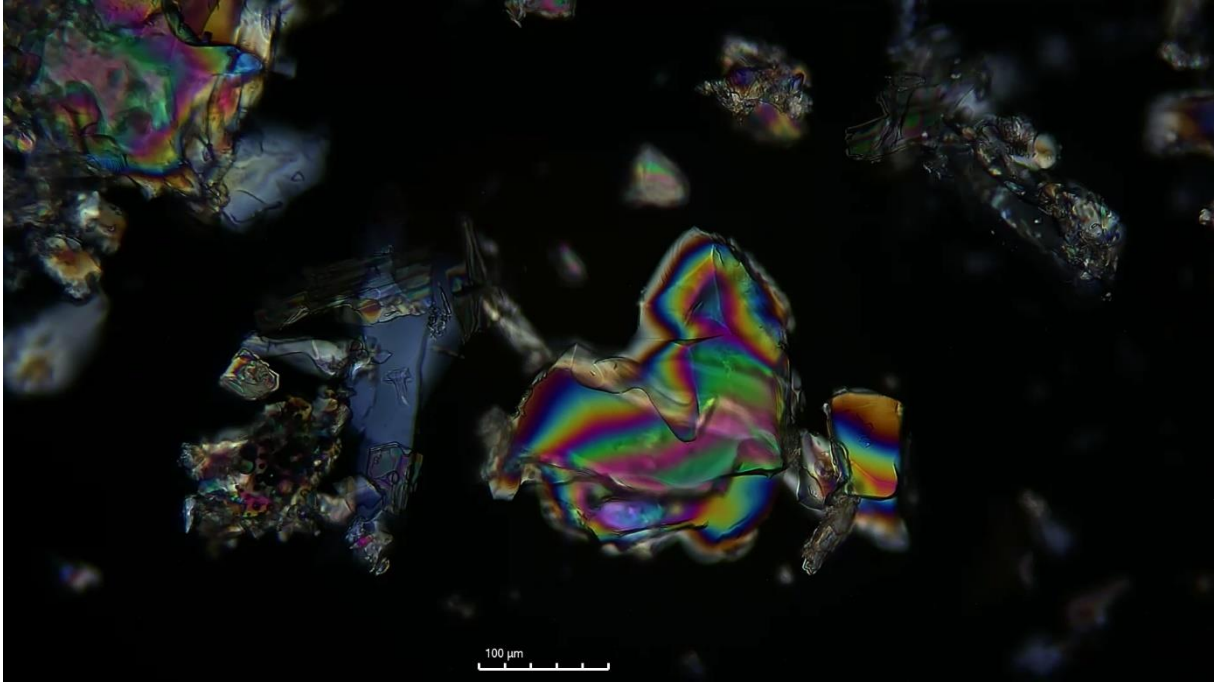
<b>Nr.</b>	200514-10					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Luthuset, under kar, avtapp					
<b>Type</b>	Saltskorpe					
<b>Beskrivelse</b>	Uregelmessig, nokså hard saltskorpe					
<b>Makrolupe</b>	Do.					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Mye velkrystallisert salt, høye interferensfarger, trolig natron, kan være trona. Noen masser med høye int. farger, med dehydr. strukturer, trolig thermonatritt. Tilsvarende en del korn med lave interferensfarger, trolig mirabilitt/thenarditt.					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	12	HCl 10%	+ (sterk)		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	-	NO3	-
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Ved oppvarming frigjøres det noe fukt fra skorpen, og den blir hvitere. Ingen vond lukt					
<b>Tolkning</b>	Natriumkarbonat åpenbart viktigste salt, så velkrystallisert at fukten bare drives langsom av ved oppvarming. Det høye sulfatinholdet viser at natriumsulfater også er der. Det kan godt være andre salter også, men vanskelig å skille i mikr. Mulig er trona viktig. Sannsynligvis har vi her en situasjon med karbonatisering av lut (NaOH) over tid.					

#### Foto



Makrolupe

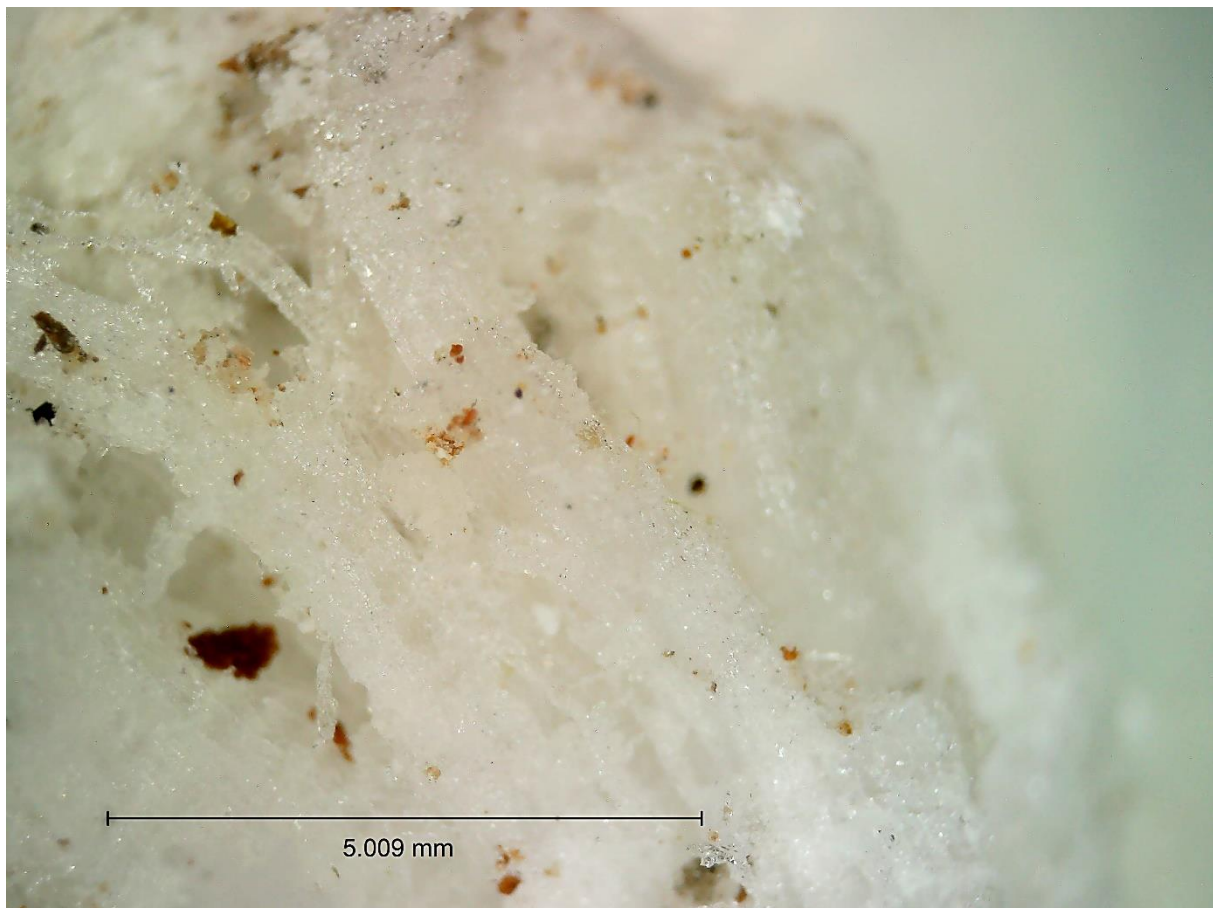




Natron eller trona, x-pol.

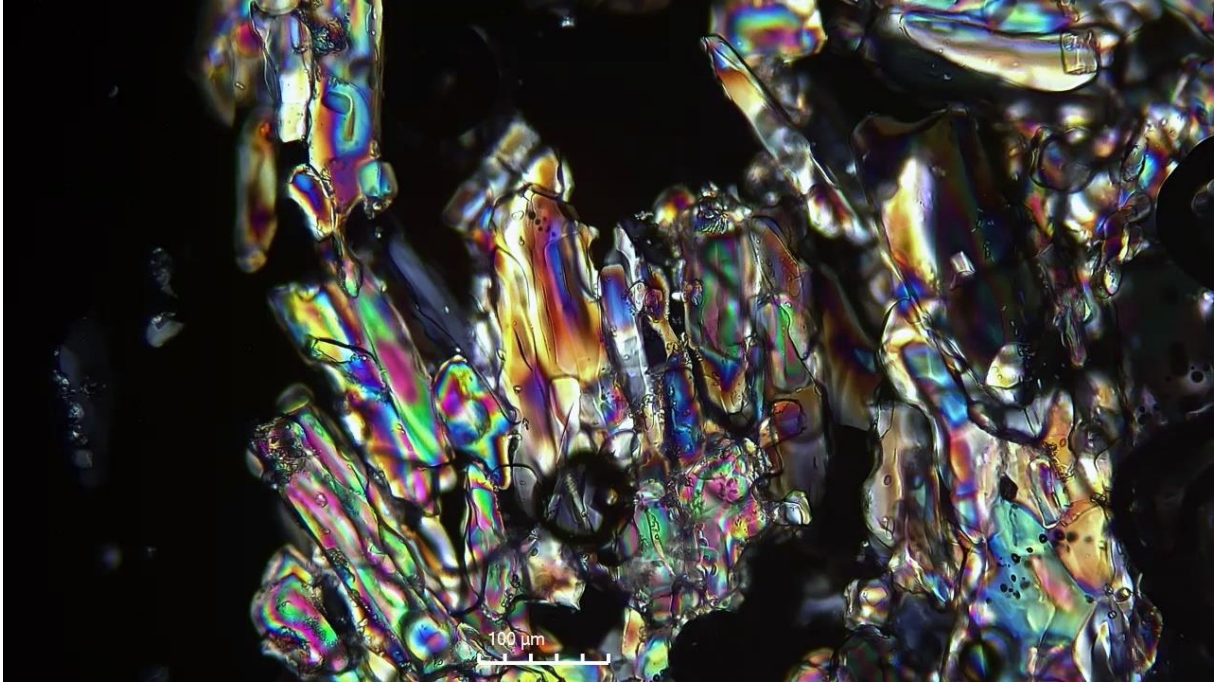
<b>Nr.</b>	200514-11					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Luthuset, kjeller, sørvegg					
<b>Type</b>	Saltskorpe					
<b>Beskrivelse</b>	Whiskerskorpe					
<b>Makrolupe</b>	Do., ganske løs					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Fra knuste whiskers: langlige, avrundede former, høye interferensfarger, typisk natron					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	12	HCl 10%	+ (sterk)		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	-	NO3	-
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Ved oppvarming frigjøres det fukt fra skorpen					
<b>Tolkning</b>	Natronskorpe, som dehydrerer til thermonatritt. Det er åpenbart sulfat tilstede, trolig som natriumsulfat, men kan ikke lett identifiseres i pol. mik.					

#### Foto



#### Makrolupe

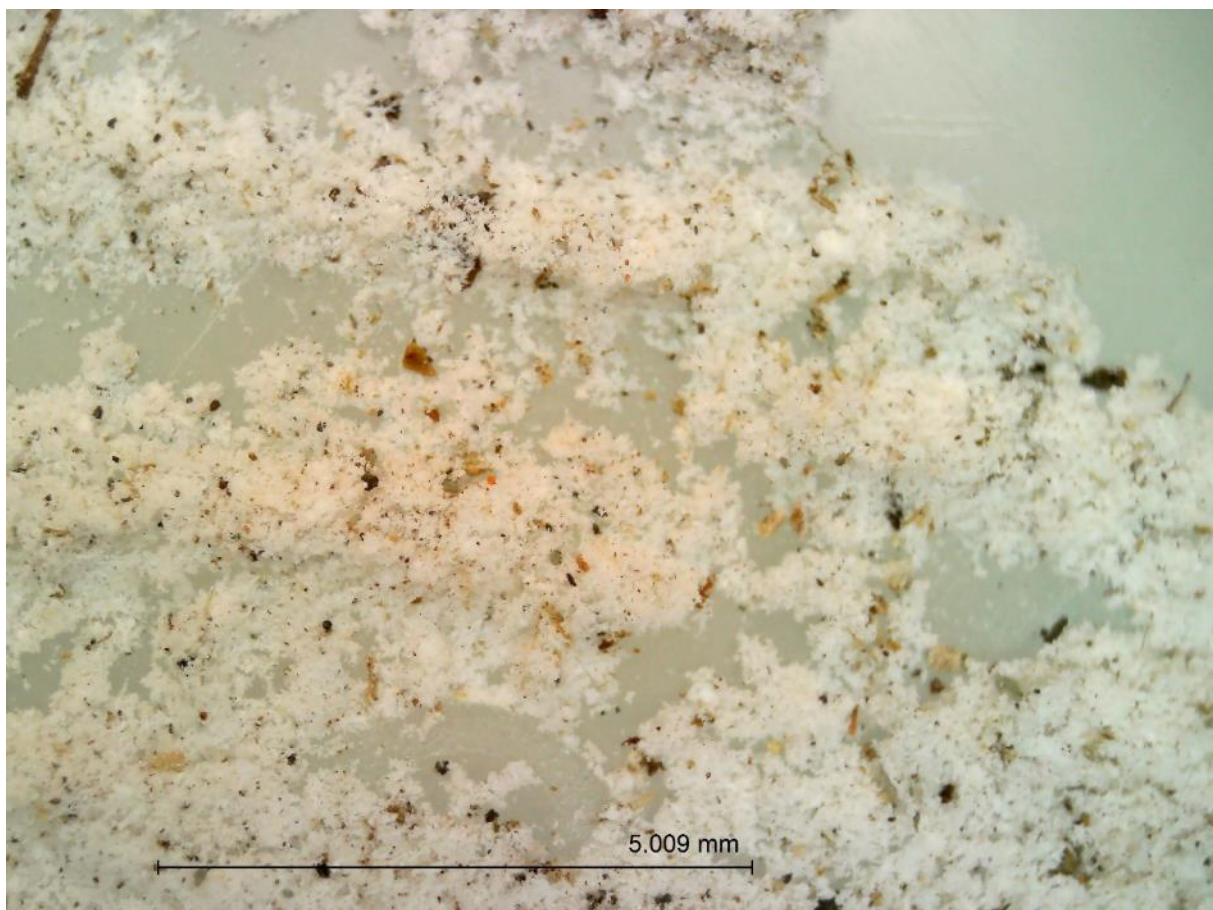




Natron, x-pol.

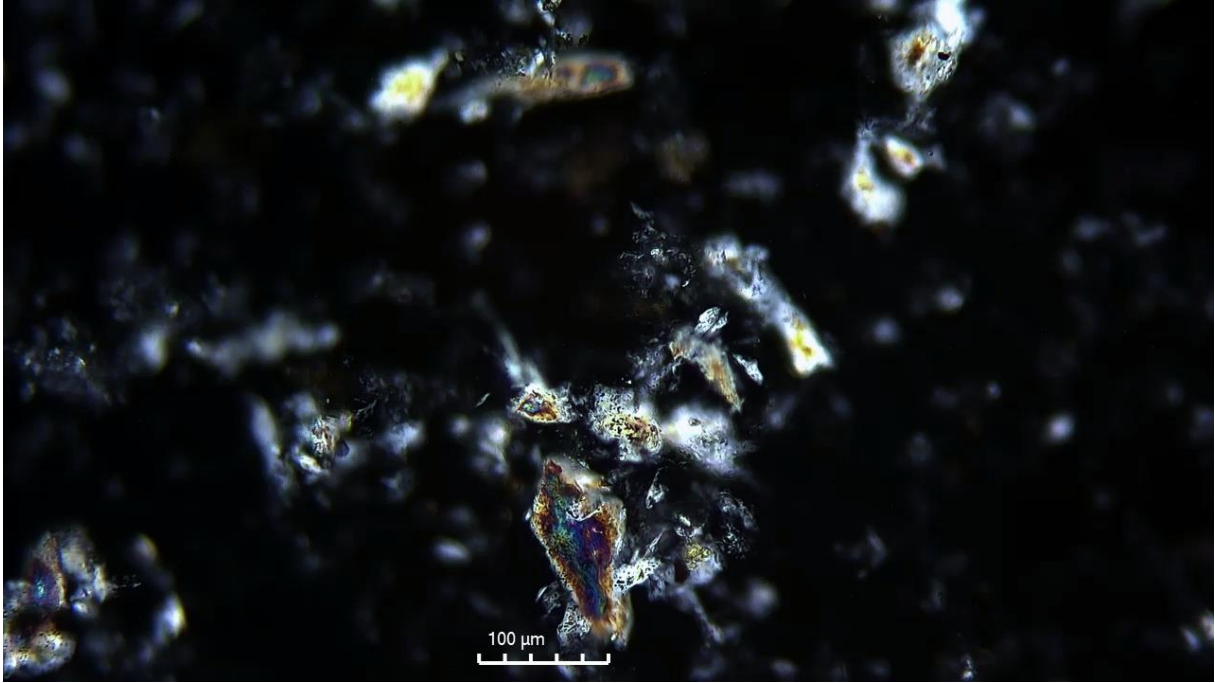
<b>Nr.</b>	200514-12					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Kokeriet, fundament SV					
<b>Type</b>	Salt					
<b>Beskrivelse</b>	Saltpulver					
<b>Makrolupe</b>	Fint pulver med fragmenter av tegl og mørtel					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Mye med lave interferensfarger, dehydrerte strukturer, noe med høyere interferensfarger, større korn, men med uregelmessige kanter. En del kalkkorn					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	7	HCl 10%	-/+		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	-	NO3	-
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Veldig lite reaksjon med HCl					
<b>Tolkning</b>	Mirabilitt som er nær fullstendig dehydrert til thenarditt					

#### Foto



Makrolupe





Thenarditt, litt mirabilitt, x-pol.

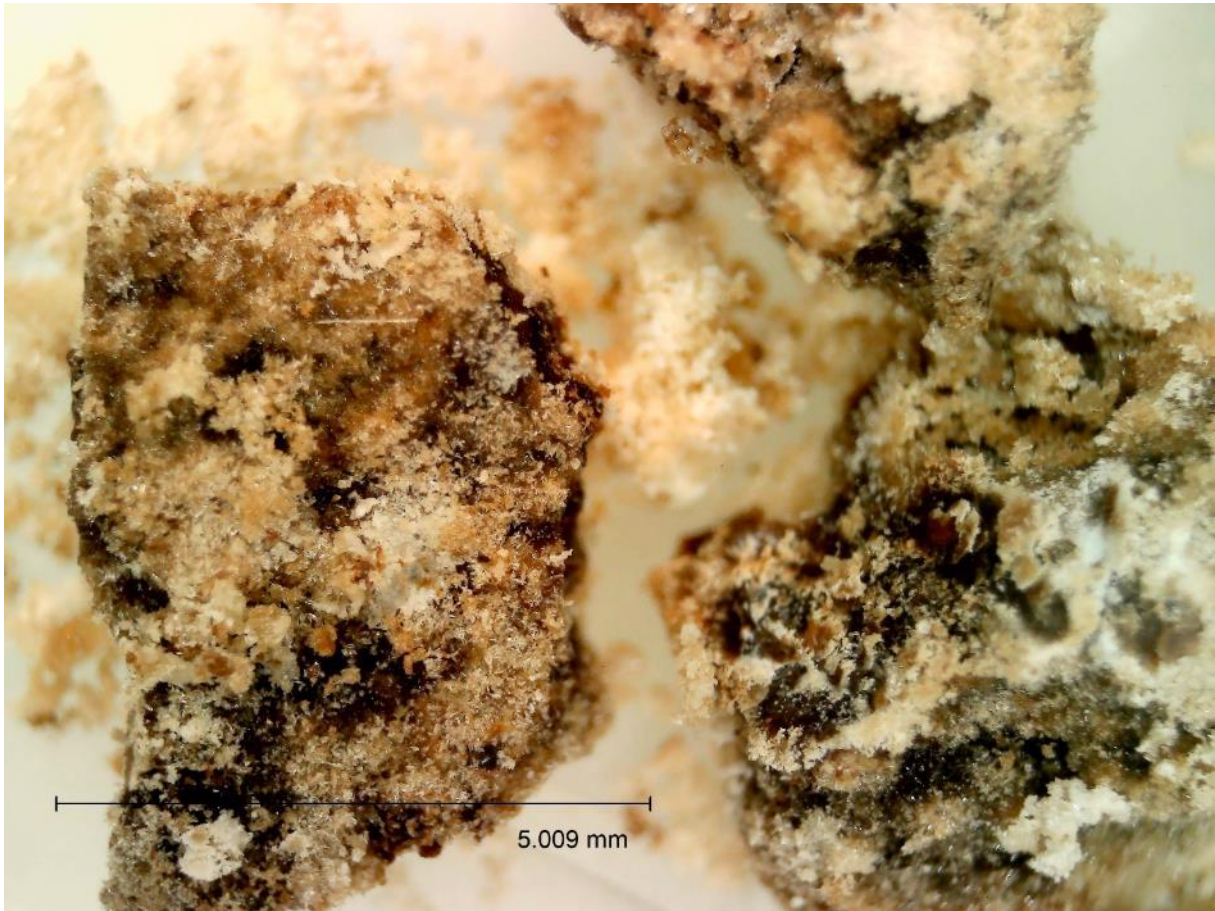
<b>Nr.</b>	200514-13					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Sodahuset, varpa, vestvegg					
<b>Type</b>	Saltskorpe					
<b>Beskrivelse</b>	Brun saltskorpe, til dels svært hard, som ser ut til å inneholde også mørtel eller tegl					
<b>Makrolupe</b>	Saltpulver/krystaller, brune masser, mot helt svart					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Stort sett korn med høye interferensfarger, mange er «impregnert» brunlig					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	12	HCl 10%	+ (sterk)		
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	x	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	x	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Nesten alt går i oppløsning i vann, det er ingen harde materialer som mørtel eller tegl eller noe annet i prøven. Det er knapt fukt ved oppheting av prøven					
<b>Tolkning</b>	Sannsynligvis trona som er «impregnert» med et stoff fra varpa, kanskje et tjærestoff. I mye mindre grad kan det være at finkornet tegl kan virke som pigment. Det er mye sulfat, men dette er ikke lett synlig i mik., mulig noe thenarditt					

**Foto**



Makrolupe

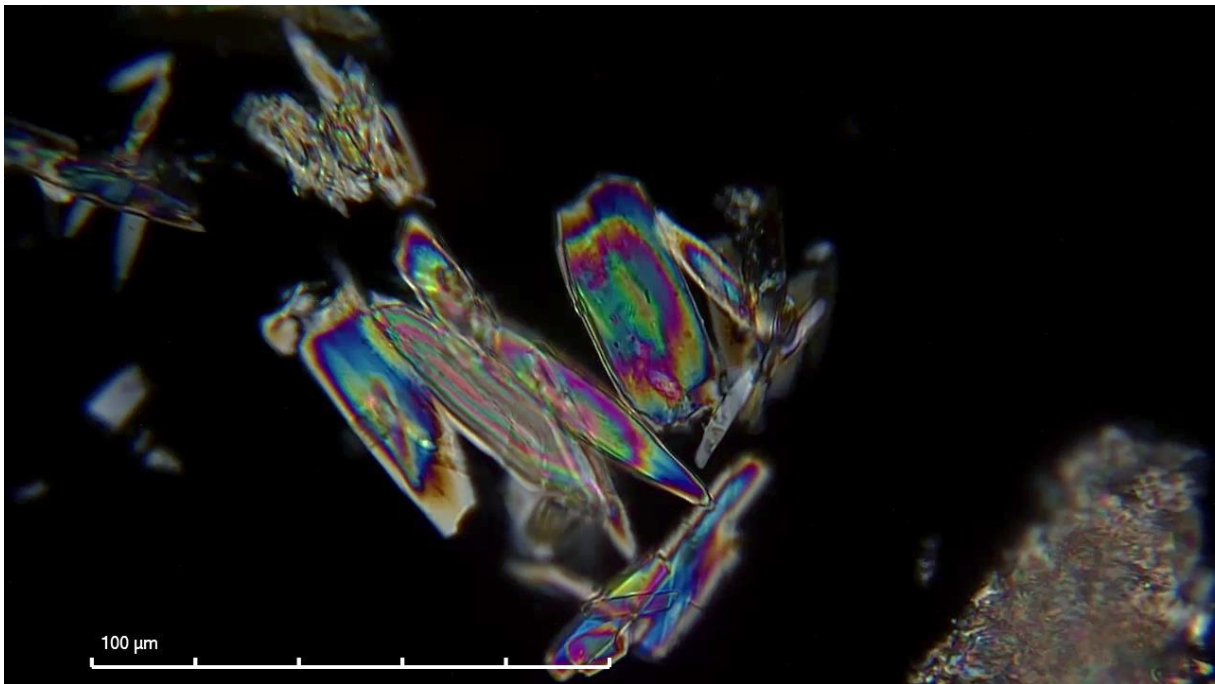
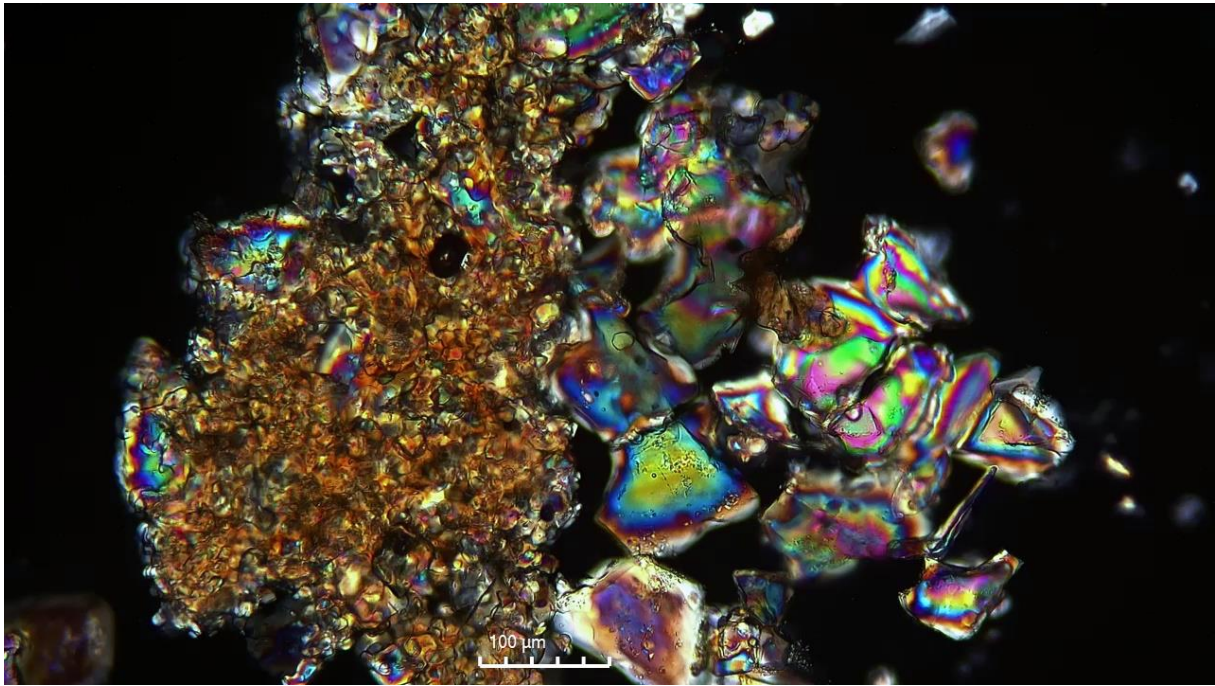




Makrolupe



Oppløsning i vann



Mest krystaller av trona, x-pol.



<b>Nr.</b>	200818-1					
<b>Sted</b>	Klevfos industrimuseum					
<b>Lokalisering</b>	Luthuset, lutkar nr. 2 på fra vest på nordsiden					
<b>Type</b>	Skorpeaktig, hard forekomst under løs sand oppe i karet, under den harde skorpen er det løsere grus					
<b>Beskrivelse</b>	Skorpen er ca. 1 cm tykk og består bl.a. av sand- og gruskorn, det er tegn til en del salt på overflaten og i skorpen					
<b>Makrolupe</b>	Viser mye salt i skorpen, også whiskers og nåler.					
<b>Polarisasjonsmikroskop</b>	Finkornede masser med kalk (kalsiumkarbonat) og to hovedtyper salt, 1) korn og whiskers med middels interferensfarger, $nd < 1,515$ , muligens natron 2) finkornet masse med fibrig struktur og lave interferensfarger, grå, trolig gips					
<b>Karbonat (CO3)</b>	pH	10-11		HCl 10%	+	
<b>Anioner</b>	SO4	+++	Cl	-	NO3	x
<b>Kationer</b>	Na	+++	Mg	x	K	x
<b>Annet</b>	Hovedsaltet dehydrerer i tørr luft, optiske egenskaper (pol) tilsvarer thermonatritt. Det betyr at natron er hovedsaltet. Ingen lukt ved reaksjon med luft, dvs. ingen Na2S som går til H2S. pH er for lav til at vi kan ha å gjøre med natriumhydroksid. Ved oppvarming og reaksjon med tørr luft gir natron fra seg vann som fører til at bindinger i skorpen blir svakere/oppløses og skorpen faller sammen til grus. Ved å tilsette vann kan det samme oppnås.					
<b>Tolkning</b>	Natron (natriumkarbonat) er salt derivert ved reaksjoner fra luten, gips er fra reaksjon mellom kalk (mesa) og fritt sulfat, det finnes sikkert også natriumsulfat i prøven. Natron er ikke stabil ved tilstedeværelse av sulfat. All sulfat har ikke reagert.					

**Foto**

