



Hvordan salting påvirker snøforholdene i skiløyper og nærliggende natur

How salting affects the snow conditions in ski pistes and the nearby environment

Prosjektnummer: IMA-B-02-2018
Daniel Korneliussen

Intern veileder: Lene Østby
Oppdragsgiver: SIAT - Senter for idrettsanlegg og teknologi
Kontaktperson: Daniel Korneliussen

Gradering:

20. mai 2019

Forord

Denne rapporten reflekterer arbeid utført i forbindelse med en bacheloroppgave ved Institutt for materialteknologi, NTNU Trondheim. Oppgaven er gitt av SIAT (Senter for idrettsanlegg og teknologi) i sammenheng med et norsk-svensk samarbeidsprosjekt mellom SIAT og Peak Region AB, kalt Snörik. Hensikten til Snörik-prosjektet er å øke virksomhets- og samfunnsfordeler gjennom å drive fremover kunnskapsutviklingen rundt snø.

Jeg vil takke veileder ved SIAT, Sondre Bergtun Auganæs, og veileder ved Institutt for materialteknologi, Lene Østby, for veiledning gjennom prosjektperioden og for å gjøre oppgaven mulig å gjennomføre. Snø var et helt nytt tema, så planlegging og gjennomførelse av spesielt eksperimentelt arbeid ville vært mye vanskeligere på egen hånd.

Sammendrag

I løpet av dette prosjektet har det blitt diskutert ulike metoder for salting av snø i håp om å finne en optimal løsning for salting av snø i skiløyper. En forklaring på hvordan snø dannes, i tillegg til utvalgte fysiske egenskaper til snø, gir et grunnlag for resten av rapporten. Forskjellige metoder for salting har blitt sammenlignet både mot hverandre og en referansetest uten salting, metodene gikk ut på ulike kombinasjoner av salting, mekanisk behandling av snøen og vanning, alt utført ved Kyvannet, Trondheim. Grunnet flere usikkerheter ved forsøket er det vanskelig å si hvilken metode som fungerer best, men ut fra resultatene virker mekanisk behandling av snøen etter salting som den mest effektive metoden. Videre testing bør utføres for å bekrefte denne antagelsen.

Det har også blitt gjennomført tester for å sammenligne ulike mengder av fire salter: havsalt (natriumklorid), ammoniumnitrat, urea og kalsiumklorid. De har blitt sammenlignet på grunnlag av pris, fryseeffekt og miljøpåvirkninger. Havsalt kom best ut, men det tar litt tid før maksimal effekt oppnås så en blanding mellom havsalt og urea kan være en bra løsning. Med tanke på mengde salt som burde benyttes ble det konkludert med at 10-20 g salt per m^2 løype bør gi bra nok effekt.

Abstract

Over the course of this project, different methods of salting snow have been discussed in the hope of finding an optimal solution for the salting of snow in ski pistes. An explanation of how snow is formed, in addition to certain physical properties of snow, form the basis for the rest of the report. Different methods were compared against each other as well as a reference test without salting, the methods were based on different combinations of salting, mechanical preparation of the snow and watering of the snow. Because of several sources of error and uncertainties it is difficult to say which method works the best, but based on the results it appears that mechanical preparation of the snow after salting is the most effective method. More tests should be carried out to confirm this assumption.

There were also carried out tests to compare different quantities of four salts: sea salt (sodium chloride), ammonium nitrate, urea and calcium chloride. They have been compared based on price, freezing effect and environmental effects. Sea salt came out the winner, however it takes a while before maximum effect is achieved, therefore a mixture of sea salt and urea could be a good solution. In regards to how much salt should be used, it was concluded that 10-20 g of salt per m^2 piste should result in acceptable conditions for skiing.

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	3
Innholdsfortegnelse	5
1 Innledning	6
2 Teori	7
2.1 Hva er snø?	7
2.1.1 Vannmolekylet	7
2.1.2 Struktur og dannelse av iskrystaller	7
2.1.3 Forskjellige typer snøkrystaller	8
2.1.4 Snøflak	9
2.1.5 Tetthet og frysepunktnedsettelse	9
2.2 Salting av snø	10
2.2.1 Havsalt	11
2.2.2 Nitrogengjødsel	11
2.2.3 Kalsiumklorid	12
2.3 Mikrobielt liv i jord	13
2.4 Salinitet og mikroorganismer	14
3 Metode	15
3.1 Utstyr og kjemikalier	15
3.2 Fremgangsmåte	16
3.2.1 Testing av metoder for påføring av salt	16
3.2.2 Testing av ulike mengder salt	16
3.2.3 Mikrobiologisk testing	17
4 Resultater	19
4.1 Snø- og værdata ved oppstart av felttest	19
4.2 Hardhetsmålinger fra testing av saltemetoder	20

4.3	Temperaturmålinger fra testing av saltemetoder	21
4.3.1	IR-bilder	23
4.4	Tester på ulike mengder havsalt	25
4.5	Tester på ulike mengder ammoniumnitrat	25
4.6	Tester på ulike mengder urea	26
4.7	Tester på ulike mengder kalsiumklorid	27
4.8	Mikrobiologisk testing	27
5	Diskusjon	31
5.1	Hvilken saltemetode gir best effekt?	31
5.2	Sammenligning av testede salter	32
5.3	Miljøpåvirkninger av salting	33
6	Konklusjon	35
7	Referanser	36
	Vedlegg A Bilder av aktuelle saltkorn	i
	Vedlegg B Temperaturgrafer for mengdetester	iii
	Vedlegg C Utregninger	vi
	Vedlegg D Populærvitenskapelig artikkel	vii
	Vedlegg E Risikovurdering	viii

1 Innledning

Flere grener under de Olympiske Leker i Sochi i 2014 sto i fare for å bli avlyst grunnet dårlige snøforhold. Redningen kom i form av 24 tonn med sveitsisk salt [1]. Salt har nemlig den effekten på snø at hardheten til overflaten øker, forskning på salting av skiløyper er dermed av stor interesse for arrangører av vintersport og operatører av skianlegg.

Målet for dette prosjektet er å finne hvilken metode for påføring av salt som gir best effekt med tanke på tid og frysedybde, samt hvilken mengde salt som virker best. Rapporten tar for seg oppbygningen og strukturen til snøkrystaller og relevante fysiske egenskaper til snø, hvorfor salting utføres og hvilke salter som er vanlige å benytte. Og til slutt litt om oppgavene til mikroorganismer som finnes i jord. Det vil bli testet ulike metoder for påføring av salt med og uten mekanisk behandling av snøen og vanning, fire forskjellige salter vil testes ved ulik mengde og sammenlignes etter effekt, pris og miljøpåvirkning. Resultatene fokuserer på hardhetsmålinger av snøoverflaten, temperaturrendringer gjennom hele snølaget, hvor langt ned snølaget fryses og mikrobiell vekst ved tilstedeværelse av saltene.

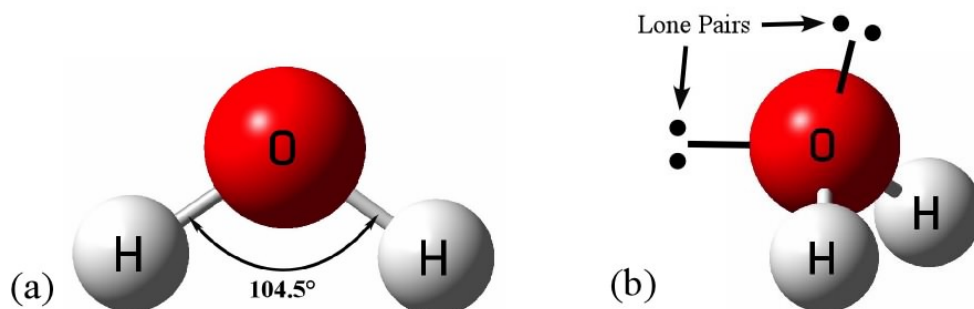
2 Teori

2.1 Hva er snø?

Snø er vann i fast form, altså iskrystaller, som dannes i atmosfæren og ankommer bakken som nedbør. Snø og is har mange spesielle egenskaper som har vært studert i århundrer og det er fortsatt deler som ikke er helt forstått enda [2].

2.1.1 Vannmolekylet

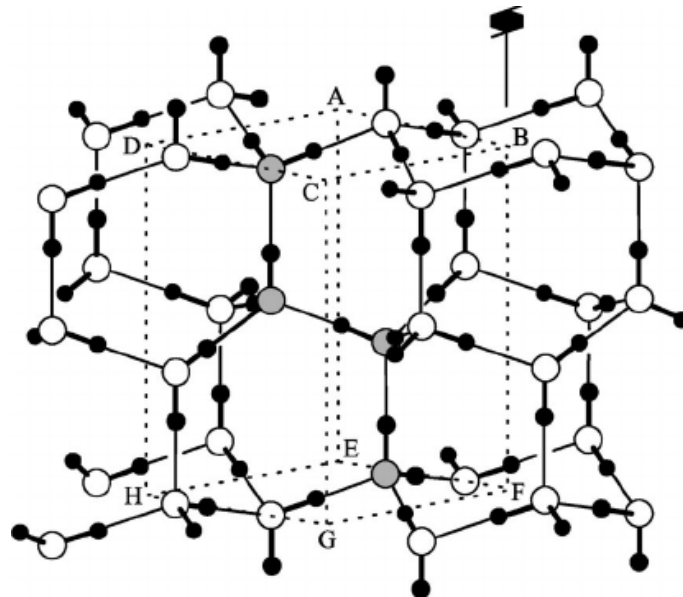
Den kjemiske formelen for snø er H_2O (vann), et polart molekyl bestående av et oksygenatom og to hydrogenatomer med en bindingsvinkel på $104,52^\circ$. Dette dipolmomentet oppstår ved at oksygen er mer elektronegativt enn hydrogen slik at elektronene samles rundt oksygenatomet og gir denne siden av molekylet en negativ ladning, ladningsforskjellen er avgjørende for hvordan molekylene ligger i forhold til hverandre ved krystallisering. Som vist i Figur 2.1b inneholder vannmolekylet to frie elektronpar hos oksygenatomet, disse elektronparene og hydrogenatomene er med på å danne hydrogenbindinger med andre vannmolekyler slik at de oppnår en krystallstruktur. Hvert vannmolekyl kan binde seg til fire andre i en tetrahedrisk form [2].



Figur 2.1: Struktur til et vannmolekyl med a) bindingsvinkel på $104,5^\circ$ og b) plassering av frie elektronpar hos oksygenatomet [3].

2.1.2 Struktur og dannelse av iskrystaller

Som nevnt danner H_2O -molekyler hydrogenbindinger med fire andre H_2O -molekyler i en krystallstruktur. Is kan danne flere forskjellige krystallstrukturer der den vanligste under atmosfærisk trykk er den heksagonale tettpakkede strukturen **Ih** (uttalt en-H) [2]. Med heksagonal tettpakket struktur menes en struktur hvor molekyler bundet sammen i ett lag er forskøvet litt i forhold til lagene direkte over og under. Dette kan også beskrives som ABAB-struktur, som sier at annenhvert lag ligger parallelt med hverandre [4]. I krystallstrukturen til is gjelder to "is-regler" som sier at hvert oksygen skal ha to nærliggende hydrogenatomer og kun ett hydrogenatom per binding, dette vil si at hvert oksygen danner kovalente bindinger med to hydrogenatomer og hydrogenbindinger med to andre. Orienteringen til H_2O -molekylene og bindingene har ikke et fast mønster, men innstiller seg som nødvendig for å opprettholde nevnte is-regler. Denne modellen for strukturen til is ble først foreslått av Linus Pauling [5] og kalles ofte for Pauling-modellen, visualisert i Figur 2.2 [2].

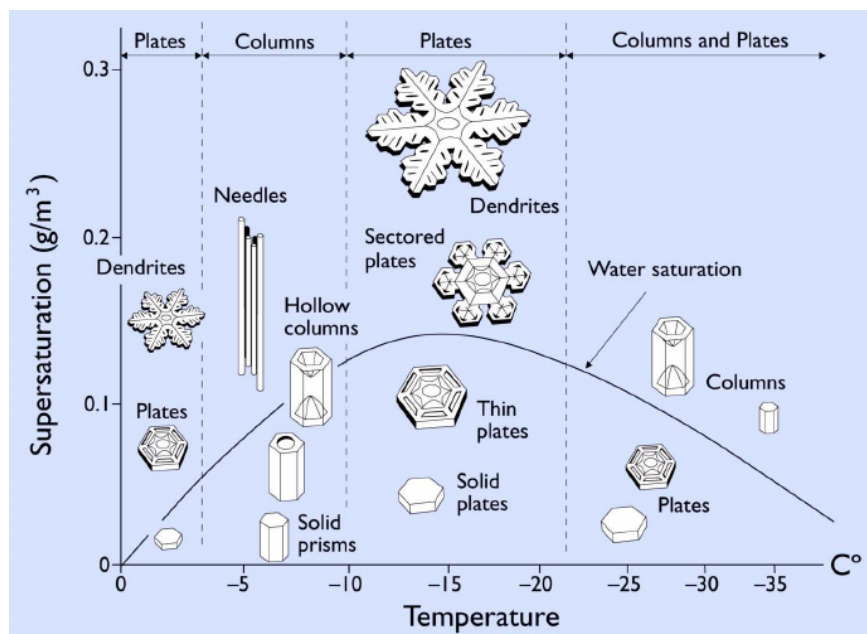


Figur 2.2: Krystallstrukturen til is Ih, enhetenscellen består av fire skraverte oksygenatomer [2].

Iskrystaller dannes først og fremst i atmosfæren hvor rene vannmolekyler avkjøles til under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og fryser så fort de kommer i kontakt med såkalte sublimasjonsskjerner i atmosfæren. Superkjølt vann utgjør store deler av skyer og vanlige sublimasjonsskjerner er støvpartikler i skyene eller andre iskrystaller allerede dannet. De superkjølte vann-dråpene avsettes på disse partiklene og vokser via avsetning av flere vanndråper, riming eller aggregering. Etter hvert som iskrystallene oppnår en viss masse vil de bryte ut av skyen og falle ned mot jorden [6] [7].

2.1.3 Forskjellige typer snøkrystaller

Snøkrystaller kan ha mange former som avhenger av temperatur og grad av overmetning i lufta. Denne sammenhengen er vist i Figur 2.3. Lufttemperaturen bestemmer altså om krystallene blir plateformet eller kolonneformet, mens grad av overmetning bestemmer størrelsen og detaljnivå på krystallene. For eksempel vil krystaller vokse som kolonner (lav grad av overmetning) eller tynne nåler (høy grad av overmetning) ved temperaturer mellom -4 og $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8].



Figur 2.3: Morfologi til iskrystaller, overmetning er definert som mengde H_2O over metningspunktet i $g\ m^{-3}$ [9].

2.1.4 Snøflak

Snøflak er en fellesbetegnelse for enkle iskrystaller samt sammenhengende iskrystaller som faller mot jorden. I delkapittel 2.1.2 nevnes det at iskrystaller vokser via avsetning av flere vanndråper, riming eller aggregering. Avsetning av flere vanndråper gjør at iskrystallene vokser etter sammenhengen vist i Figur 2.3, disse faktorene (temperatur og overmetning) vil være forskjellig ettersom hvor i atmosfæren iskrystallene befinner seg til en hver tid, og de vil dermed utvikle en struktur som reflekterer alle de ulike forholdene som krystallene har falt gjennom. Slik strukturendring kalles for metamorfose, og grunnet vind, trykk og andre faktorer er det usannsynlig at to krystaller følger den nøyaktig samme veien gjennom atmosfæren slik at de gjennomgår ulik metamorfose, derav ordtaket ”ingen snøflak er like” [10]. Riming vil si at krystallene kolliderer med superkjølte vanndråper som umiddelbart fryser og øker massen til krystallen, dette er i motsetning til avsetning ingen strukturert vekst. Siste prosess er aggregering, her vil krystaller bindes til hverandre. Dette skjer ved at krystallene begynner å smelte, før vannet fryser tilbake mens krystallene er i kontakt med hverandre slik at de fryses sammen [7].

2.1.5 Tetthet og frysepunktnedsettelse

Ren, fast is har en tetthet på 917 kg m^{-3} [2], dette er lavere enn for flytende vann som gjør at is flyter på vann. Snø er som regel luftigere enn fast is og har dermed lavere tetthet, tettheten til snø er heller ikke en fast verdig, men varierer som følge av fuktighet, temperatur, trykk og vind [11]. Denne verdien beskriver forholdet mellom vanninnhold og dybde av snøen, en ofte brukt tommeregul er 10-til-1-regelen som sier at ti enheter snø danner en enhet vann. Dette vil si at snø har en tetthet på 100 kg m^{-3} . 10-til-1-regelen oppsto sannsynligvis på 1800-tallet i Toronto, Canada, og brukes fortsatt til tross for at det er en veldig upresis forenkling siden tettheten til snø varierer [12].

Strukturen til iskrystallene påvirker tettheten til snøen. Dendritter er luftige krystaller og har en ganske lav tetthet på opptil ca. 50 kg m^{-3} , videre har nåler og kolonner tetthet i området $50 - 75 \text{ kg m}^{-3}$. Snøfall med høyere tetthet enn 75 kg m^{-3} består vanligvis av flere typer krystaller og rimete krystaller [13]. Videre ligger tettheten til nytt snøfall som regel mellom $10 - 250 \text{ kg m}^{-3}$ [12] [14] [15]. Krystallstrukturen gjennomgår kontinuerlig metamorfose også i snølaget på bakken som resulterer i forskjellig tetthet jo lenger snøen ligger, og avhengig av temperaturgradienten gjennom snølaget vil krystallene miste sin heksagonale struktur og få runde hjørner. Temperaturen ved bunnen av et snølag ligger nærme $0 \text{ }^\circ\text{C}$ på grunn av varme avgitt fra bakken, hvis overflatetemperaturen er veldig kald oppstår det en høy temperaturgradient ($> 10 \text{ }^\circ\text{C m}^{-1}$) som resulterer i store snøkorn med mye luft. Snøen vil her ha lav tetthet og et svakt overflatelag. Ved en lav temperaturgradient dannes det små, runde snøkorn som pakkes tett sammen og fører til et solid snølag med høyere tetthet jo lenger denne prosessen foregår. Disse to metamorfoseprosessene krever et lavt til ingen vanninnhold i snøen, ved tilstedeværelse av tilstrekkelig med vann vil smelte og fryse prosesser oppstå som resulterer i harde islag over snøen [16] [17].

Vanlig overflatetetthet til ny snø ligger under 300 kg m^{-3} , optimalt føre i følge eksperter er nærmere 400 kg m^{-3} for langrennsløyper og $500 - 600 \text{ kg m}^{-3}$ for alpinløyper. Slike forhold kan oppnås ved hjelp av blant annet utstyr for å pakke snøen tettere sammen eller kjemikalier - salting [14] [15].

Frysepunktet til snøen kan senkes ved å løse opp for eksempel salter i snøen, frysepunktnedsettelsen kan beregnes ut fra følgende ligning, der K_f er en konstant avhengig av løsemiddel (for H_2O er denne lik $1,86 \text{ kg }^\circ\text{C mol}^{-1}$) og b er molaliteten til oppløst stoff [18]:

$$\Delta T_f = K_f \cdot b \quad (1)$$

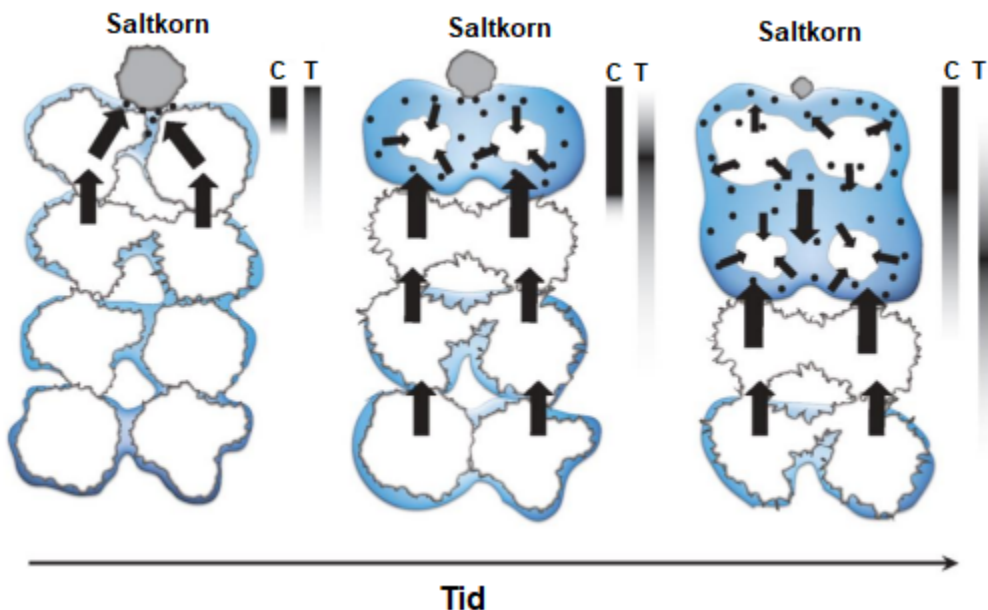
Molalitet, b , er definert som antall mol oppløst stoff, n , per masse løsemiddel, m :

$$b = \frac{n}{m} \quad (2)$$

2.2 Salting av snø

Salter kan tilføres snøen for å oppnå en hardere og mer stabil snøoverflate, dette utføres i dag som regel etter erfaring og beste praksis. Vanlige metoder for spredning av saltet innebærer en mekanisk spreder montert enten bak eller foran en tråkkemaskin eller scooter, dersom sprederen monteres foran tilsier erfaring at resultatet ikke endres i tillegg til at saltet vil kunne sette seg i maskineriet og forårsake korrosjon. Salt kan også tilføres for hånd og bør da kastes opp i lufta for å oppnå best spredning. Vanning av skiløypa før salting kan være gunstig dersom snøen inneholder lite fuktighet [19].

Ved tilførsel av salt vil frysepunktet til snøen synke ettersom saltet løses opp og det øverste snølaget vil begynne å smelte. Smelting av snø krever energi i form av varme; fusjonsentalpi til vann ved $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ er 333 kJ kg^{-1} [20]. Denne varmen blir tatt fra nærliggende snø slik at resten av snølaget blir kaldere, denne prosessen er illustrert i Figur 2.4. Jo mer snø som smelter jo mindre konsentrert vil saltet være som fører til at frysepunktet stiger igjen. Kaldere snø vil da fryse på nytt og resultatet er en kaldere og hardere snøoverflate. Hvor lenge snøen holder seg slik avhenger av hvilke salt som benyttes. Oppløsning av salt i vann, altså brytning av ionebindinger, krever også energi, men denne energien er såpass liten i forhold til smelteenergien at dette bidraget kan ignoreres [21].



Figur 2.4: Illustrasjon av fryseprosessen, svart farge på søylene C og T viser henholdsvis høy saltkonsentrasjon og lav temperatur. Piler viser varmeoverføring [22].

En veiledning skrevet av John Aalberg for Norges Skiforbund beskriver mengde salt benyttet under ulike skiarrangementer. Under OL i Sochi ble det benyttet 100 kilogram salt per kilometer for kombinert langrenn [19]. Andre arrangementer viser saltbruk mellom alt fra 5 til 100 g/m^2 . Denne veiledningen forklarer i tillegg at salting ikke fungerer dersom temperaturen allerede er under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, at mer enn 100 g/m^2 salt ikke vil føre til bedre effekt og at størrelsen av saltkornet har en stor betydning der mindre saltkorn vil virke fortere men med kortere varighet enn større saltkorn [19].

I Tabell 2.1 er det listet fire salter som ofte brukes i forbindelse med salting av skiløyper; havsalt, ammoniumnitrat (hagegjødsel), urea og kalsiumklorid. Innkjøpspris er oppgitt i kroner per 25 kilogram. I Vedlegg A vises bilder av disse saltene med størrelse av saltkornene.

Tabell 2.1: Sammenligning av priser til forskjellige salter.

Salt	Pris per 25 kg
Havsalt	90,-
Ammoniumnitrat	335,-
Urea	158,-
Kalsiumklorid	151,-

2.2.1 Havsalt

Sjøvann har et normal saltinnhold på 3,5 %, med ionekonsentrasjoner på 1,94 % Cl^- , 1,08 % Na^+ , 0,27 % SO_4^{2-} , 0,13 % Mg^{2+} og mindre enn 0,10 % hver av Ca^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Br^- , BO_3^{3-} , Sr^{2+} og F^- i gjennomsnittlig sjøvann [23]. NaCl er dermed det vanligste saltet i sjøvann, dette saltet har en molekylvekt på $58,4 \text{ g mol}^{-1}$ [24]. Utvinning av disse saltene skjer via fordampning av sjøvannet i såkalte fordampningsdammer som vist i Figur 2.5. Her blir sjøvann fordampet av sola og etter hvert som vann fordampes vil saltinnholdet øke, og salt felles ut og samles opp [25].



Figur 2.5: Fordampningsdammer i San Francisco Bay, fargene kommer fra diverse mikroorganismer som trives ved forskjellig salinitet [25].

2.2.2 Nitrogengjødsel

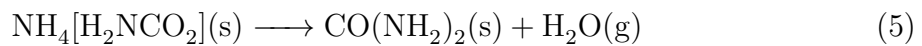
Nitrogengjødsel er en betegnelse for all gjødsel basert på nitrogenforbindelser, de vanligste forbindelsene er ammoniumnitrat og urea. Første steg i produksjon av nitrogengjødsel er å reagere naturgass (CH_4) med hydrogen fra luft (H_2) for å danne ammoniakk (NH_3) [26]. Ammoniumnitrat er ammoniumsaltet til salpetersyre, med formel NH_4NO_3 og en molekylvekt på $80,0 \text{ g mol}^{-1}$ [24]. I tillegg til gjødsel brukes ammoniumnitrat ofte som sprengstoff og er produsert ved å nøytralisere salpetersyre (HNO_3) med ammoniakk som vist i reaksjonsligning 3.



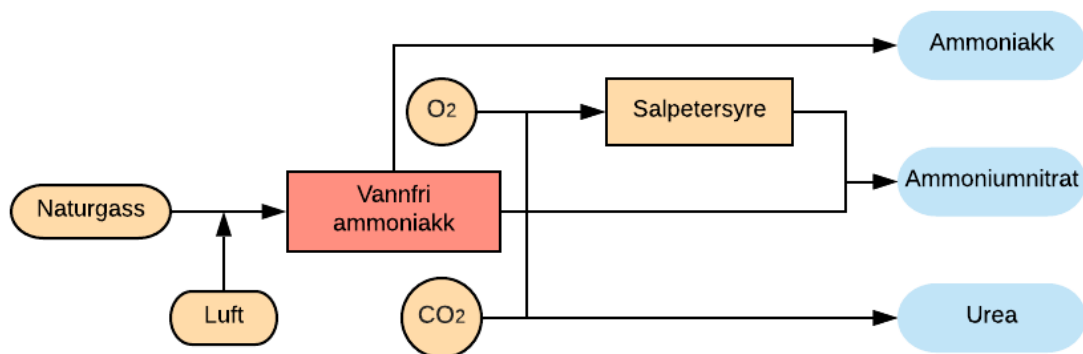
Produksjonsprosessen består av hovedsaklig tre steg: nøytralisering, fordampning og størkning. Under nøytraliseringen blir vannfri ammoniakk fordampet og blandet med salpetersyre under et trykk på 1-4 atm, dette medfører at temperaturen ligger mellom 105 og $178 \text{ }^\circ\text{C}$ og dampen som produseres blir brukt videre i neste trinn.

Ammoniumnitrat produsert under nøytraliseringen er lite konsentrert, og denne blandingen blir varmet opp av damp fra forrige trinn slik at forurensninger fordamper og konsentrasjon av ammoniumnitrat stiger til over 99 %. Smelten av konsentrert ammoniumnitrat blir til slutt sendt gjennom et tårn hvor den danner dråper som avkjøles og størkner. NH_4NO_3 -partiklene kan eventuelt tørkes og filtreres for å få en bestemt størrelse og deretter avkjøles til 40 °C for lagring. Ammoniumnitrat er sterkt oksiderende og bør dermed lagres vekk fra flammekilder [27].

Urea er et amid med formel $CO(NH_2)_2$ og molekylvekt på 60,1 $g\ mol^{-1}$ [24]. Det produseres gjennom reaksjon mellom ammoniakk og karbondioksid (CO_2) ved 180-210 °C og 150 bar, denne reaksjonen produserer ammoniumkarbamat ($NH_4[H_2NCO_2]$). Ammoniumkarbamat danner urea ved enten fordampning av vann eller krystallisering, og resterende ammoniumkarbamat dekomponeres til karbondioksid og ammoniakk som fødes tilbake til reaktoren. Reaksjonene ved ureaproduksjon er vist i reaksjonsligning 4 og 5 [28].



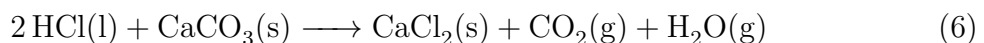
Figur 2.6 viser et oversiktsbilde over produksjonsveiene for forskjellig nitrogen gjødsel:



Figur 2.6: Oversiktsbilde over produksjon av forskjellig nitrogen gjødsel [26].

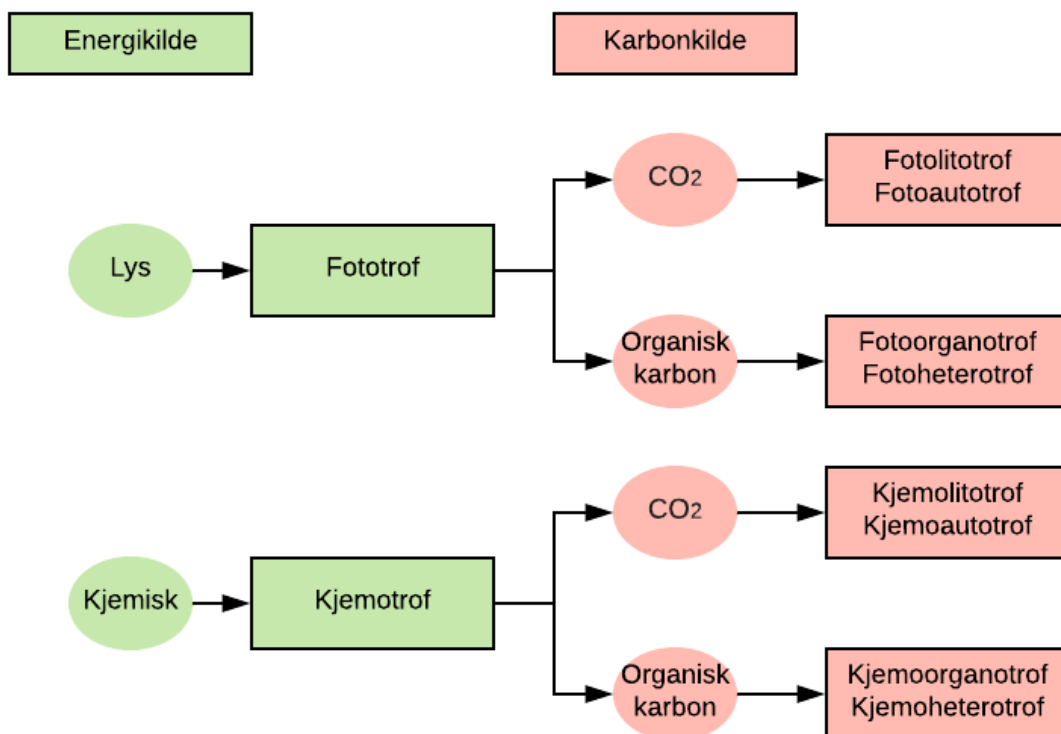
2.2.3 Kalsiumklorid

Kalsiumklorid har formel $CaCl_2$ og molekylvekt 111,0 $g\ mol^{-1}$ [24]. Kalsiumklorid brukes mest til fjerning av is og produseres på tre forskjellige måter: rensing av saltvann, nøytralisering av saltsyre med kalkstein eller som et biprodukt av Solvay prosessen. Kalsiumklorid utvinnes fra saltvann gjennom utfelling av andre salter og oppsamling av ønskede salter, reaksjonen mellom saltsyre (HCl) og kalkstein ($CaCO_3$) produserer kalsiumklorid som vist i reaksjonsligning 6 [29] og Solvay prosessen kan beskrives med reaksjonsligning 7 [30].



2.3 Mikrobielt liv i jord

Økosystemet er sterkt avhengig av de mange funksjoner og prosesser som utføres i jorden av et bredt spekter av mikroorganismer [31]. Det er estimert at 1 g norsk skogsjord inneholder mellom 4 000 og 10 000 forskjellige bakteriearter [32], og dette mangfoldet er avgjørende for å opprettholde jordhelse og -fruktbarhet. Bakterier, samt andre prokaryote organismer som arkebakterier, har en rekke spesielle metabolske systemer som gjør de i stand til å utføre de nødvendige funksjonene. Eksempler på prokaryot metabolisme er anaerob respirasjon, litotrofi - som vil si at uorganiske stoffer som ammonium brukes som energikilder og fotoheterotrofi der lys og organisk karbon forbrukes. Bakterier kan også deles inn i fire hovedgrupper basert på hvor de henter energi fra og om de benytter seg av organisk karbon eller ikke, denne inndelingen er vist i Figur 2.7 [31].



Figur 2.7: Fysiologisk klassifisering av jordbakterier med hensyn på energikilde og karbonkilde [31].

Kjemoaufotrofe bakterier i vann og jord spiller en viktig rolle i økosystemet; i tillegg til å ta opp karbondioksid (CO_2) fra atmosfæren og omdanne dette til organisk karbon, utfører de også prosesser kalt nitrogenfiksering, ammonifisering, nitrifisering og denitrifisering. Dette er prosesser som omdanner atmosfærisk nitrogen (N_2) til ammonium (NH_4^+), nitritt (NO_2^-), nitrat (NO_3^-) og tilbake til N_2 , samt biproduktet N_2O . Disse nitrogenforbindelsene er livsviktig for planter og dyr da nitrogen er involvert i blant annet fotosyntesen, energiproduksjon i form av adenosintrifosfat (ATP) og som en komponent av aminosyrer. Svovel og fosfor er andre viktige stoffer som omdannes av mikroorganismer i jord slik at de kan benyttes av planter og dyr. Siden jorden er et såpass rikt dyrkningsmedium tillates det vekst av ikke bare bakterier, men også sopp, alger, protozoer og virus som kan produsere enzymer og andre proteiner som spiller en rolle i nedbrytningen av skadelige stoffer og jorden selv [33] [34].

2.4 Salinitet og mikroorganismer

Jord er definert som saltholdig hvis den elektriske konduktiviteten overskrider 4 dS m^{-1} og inneholder 15 % utbyttbar natrium. Ved jordbruk kommer saltet hovedsaklig fra vanning og gjødsling av jordene, men jord av interesse for denne rapporten er skogs- og fjelljord i alpintanlegg og langrennsløyper. Denne jorden opplever et økende saltinnhold som resultat av direkte tilførsel av salt for å forbedre snøforholdene, saltene befinner seg som ioner i jorden [35]. Et høyt saltinnhold er skadelig for mange mikroorganismer på grunn av blant annet uttørking, såkalte halofile mikroorganismer derimot trives i høyt saltinnhold, alt fra vanlig saltkonsentrasjon i sjøvann (3,5%) til bortimot 25% saltinnhold. Slike mikroorganismer er vanligvis arkebakterier og finnes bare i ekstreme miljøer [36].

Salinitet påvirker flere prosesser hos planter, som frøspiring, vekst og opptak av vann og andre næringsmidler. Eksempelvis påvirkes opptak av fosfor, siden fosfationer felles ut sammen med kalsium [37]. I tillegg kan et høyt nivå av natrium føre til osmotisk trykk i celleveggene hos planter og deretter celledød, for spesielt saltsensitive planter er det nok med en konsentrasjon på 100 mM [38]. Natrium kan også erstatte kalium i biokjemiske reaksjoner som katalyseres av enzymer som krever kalium som kofaktor. Kalium er en kofaktor i blant annet proteinsyntesen og kan ikke erstattes [39]. Klor er et mikronæringsstoff for planter - et næringsstoff som kreves i små mengder. Ved større konsentrasjoner av Cl^- kan det allikevel inhibere vekst av planter og forårsake skader [40].

3 Metode

3.1 Utstyr og kjemikalier

- Lutron BTM-4208SD, temperaturmåler
- Gilson Pocket Penetrometer HM-500, hardhetsmåler
- FDGA Company SLF Snow Sensor, tetthets-/fuktighetsmåler
- FLIR P620, IR-kamera
- Grouw Trykksprøyte, 5 L
- Drill
- Vekt
- Pyrexflaske (250 mL)
- Magnetrører m/ magnet
- Tomy SX-700E Autoklav
- pH-meter
- Petriskåler
- Podenål
- Integra Flameboy
- Havsalt (25 kg; 98,00% $NaCl$)
- Ammoniumnitrat (25 kg; 11,8% N, 5,2% NO_3^- , 6,6% NH_4^+ , 4,0% P, 17,6% K, 1,2% Mg, 2,0% Ca, 0,1% S, 0,03% B, 0,3% Mn, 0,03% Zn)
- Urea (25 kg; 46% N)
- Kalsiumklorid (25 kg; 77% $CaCl_2$)
- Trypticase Soy Broth (Merck, katalognummer 1.05459.0500)
- Agar (Scharlau, CAS 9002-18-0)
- Saltsyre, HCl (CAS 7647-01-0)
- Natriumhydroksid, NaOH (CAS 1310-73-2)
- Etanol 70% (CAS 64-17-5)

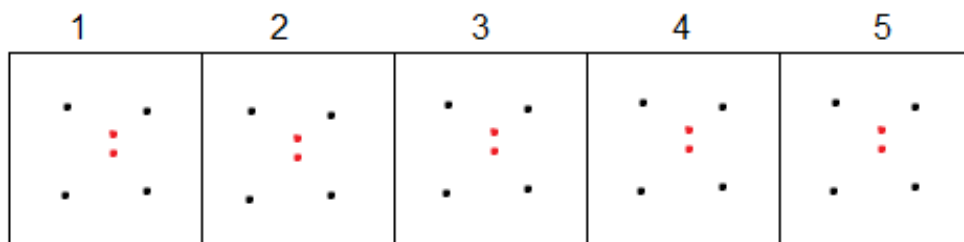
3.2 Fremgangsmåte

3.2.1 Testing av metoder for påføring av salt

Testing av metoder for salting ble gjennomført 19.03.2019 i skiløype ved Kyvannet, Trondheim, og gjentatt 21.03 og 28.03. Figur 3.1 viser hvordan testen ble satt opp: fem ruter på 1x1 m, delt inn med tau. Følgende liste viser hva som ble utført i hver rute:

1. Referanse (ingen salting)
2. Salt påført for hånd, spredt så jevnt som mulig utover ruta
3. Salt jevnt påført for hånd, så raket inn i snøen for å simulere salting foran tråkkemaskin
4. Vanning av rute, så salting for hånd
5. Vanning av rute, så salting for hånd og raking

Fuktighet og tetthet ble målt fire plasser i hver rute ved hjelp av FDGA Company SLF Snow Sensor og hardhet ble målt fire plasser i hver rute ved hjelp av Gilson Pocket Penetrometer HM-500. Temperatursensorer ble så plassert ved 2 cm og 8 cm dybde i midten av hver rute. Svarte prikker i Figur 3.1 viser omtrentlig plassering av fuktighet-, tetthet- og hardhetsmålinger, røde prikker viser plassering av temperatursensorer.



Figur 3.1: Oppsett felttesting. Svarte prikker viser hvor i rutene fuktighet, tetthet og hardhet ble målt, røde prikker viser plassering av temperatursensorer.

Vann (1 L) ble tilført rute 4 og 5 ved hjelp av Grouw Trykksprøyte, og havsalt (4x20 g) ble deretter strødd jevnt utover rute 2-5 for hånd. Rute 3 og 5 ble i tillegg raket et par ganger frem og tilbake etter salting. Ny hardhetsmåling ble gjennomført hvert 30. minutt. IR-bilder ble tatt etter 38 og 120 minutter for å se hvordan overflatetemperaturen i rutene endrer seg over tid, ved testing utført 21.03 og 28.03 ble IR-bilder tatt etter 5, 60 og 120 minutter. IR-bildene ble tatt ved hjelp av FLIR P620 IR-kamera fra en avstand på omtrent 2 meter fra hver rute. Testing ble avsluttet etter to timer.

3.2.2 Testing av ulike mengder salt

Testing av mengde salt ble først gjennomført 21.03.2019 ved Kyvannet, Trondheim, og gjentatt 23.03 og 28.03. Tre bøtter (areal $572,5 \text{ cm}^2$) ble klargjort ved å drille små hull inn i sidene ved 2, 6, 10 og 14 cm dybde. Bøttene ble fylt med snø og temperatursensorer ble plassert i hullene som vist i Figur 3.2. Havsalt (3, 6 og 12 g i henholdsvis bøtte nr. 1, 2 og 3) ble så strødd utover hver bøtte. Testing ble avsluttet etter tre timer, snøen ble da tatt ut av bøttene og nøyaktig frysedybde ble målt som vist i Figur 3.3: Det ble testet hvor langt ned snøen var fryst ved å stikke en tynn blyant inn i snøen, frysedybde ble bestemt som der blyanten ikke lenger opplevde motstand. Samme test ble gjennomført for de resterende saltene ammoniumnitrat, urea og kalsiumklorid, og alle salter ble testet to ganger for å minimere feilkilder.



Figur 3.2: Bøtte med temperatursensorer i hull på 2, 6, 10 og 14 cm dybde.



Figur 3.3: Viser hvordan nøyaktig frysedybde ble målt.

3.2.3 Mikrobiologisk testing

9 pyrexflasker (250 mL) ble satt til røring på magnetrørere og tilsatt ca. 50 mL destillert vann. Salt (0,04/0,2 g), trypticase soy broth (TSB, 6 g) og agar (3 g) ble veid ut og tilsatt de forskjellige flaskene, utveide mengder er vist i Tabell 3.1. Løsningene ble innstilt til pH 7 ved hjelp av saltsyre (HCl) og natriumhydroksid (NaOH) og fylt opp til 200 mL med destillert vann. Flaskene ble så autoklavert ved 121 °C og 2 atm i 20 minutter.

Tabell 3.1: Mengde komponent i hvert dyrkningsmedium (à 200 mL), i gram.

Medium	Salt (g)	TSB (g)	Agar (g)
Referanse		6,0523	3,0074
Havsalt	0,0448	6,0017	3,0068
Havsalt	0,2067	6,0203	3,0336
Ammoniumnitrat	0,0675	6,0826	3,0459
Ammoniumnitrat	0,2057	6,0060	3,0153
Urea	0,0498	6,0620	3,1016
Urea	0,2072	6,0056	3,0063
Kalsiumklorid	0,0520	6,0315	3,0174
Kalsiumklorid	0,2268	6,0225	3,0241

Etter autoklivering ble arbeidsplass sterilisert med etanol (70%) og merkede petriskåler lagt utover benken. Hvert dyrkningsmedium ble fordelt på fire petriskåler og lufttørket inntil agaren stivnet. Platene ble deretter lagret opp-ned. Jordprøve ble hentet mandag 01.04.2019 ved sti forbi Moholt kirkegård, Trondheim. Noe jord ble løst opp i ca. 30 mL springvann og ristet godt, arbeidsplass ble så sterilisert. Oppløst jord ble inokulert på hvert medium i Tabell 3.1 ved bruk av podenål, sterilisert før hver inokulering ved å dyppe i etanol og varme til nålen gløder (utstrykningsplateteknikk). Prøvene ble så inkubert ved 25 °C i seks dager.

4 Resultater

4.1 Snø- og værdata ved oppstart av felttest

Følgende tabeller viser informasjon om snøen og været ved felttest utført 19.03, 21.03 og 28.03.2019. Alle målinger er gjort før vanning og salting. Værdata er hentet fra yr.no og Nilsbyen værstasjon, med gjennomsnittstemperatur vist for aktuelle datoer.

Rutenummer tilsvare ruter fra Figur 3.1, med rute 1 som referanserute uten salt. I rute 2 ble salt strødd jevnt utover ruta for hånd, i rute 3 ble salt strødd jevnt utover ruta for hånd og deretter raket inn i snøen, rute 4 ble først vannet og deretter saltet for hånd, rute 5 ble først vannet og deretter saltet for hånd og raket.

Figur 4.1 viser tetthetsmålinger på ca. 400 kg m^{-3} og lavt vanninnhold ved felttest 19.03, lufttemperaturen synker i løpet av testen.

Tabell 4.1: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 13:19-15:24, 19.03.2019

Rute	Vanninnhold (%)	Tetthet (kg m^{-3})
1	$2,5 \pm 1,8$	523 ± 114
2	$0,4 \pm 0,6$	382 ± 68
3	$0,3 \pm 0,3$	438 ± 54
4	$1,7 \pm 0,6$	485 ± 29
5	$2,4 \pm 2,5$	485 ± 36
Lufttemperatur, start og slutt	7,1 °C og 4 °C	
Luftfuktighet, start og slutt	53% og 40%	
Værsituasjon 18.03	0,7 °C, 0,4 mm nedbør	
Værsituasjon 17.03	-0,2 °C, 0 mm nedbør	

Figur 4.2 viser tetthetsmålinger på ca. 800 kg m^{-3} og vanninnhold på ca. 6-7% ved felttest 21.03, lufttemperaturen er omtrent konstant i løpet av testen.

Tabell 4.2: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 14:03-15:53, 21.03.2019

Rute	Vanninnhold (%)	Tetthet (kg m^{-3})
1	$5,7 \pm 0,7$	846 ± 52
2	$8,0 \pm 0,6$	799 ± 44
3	$7,1 \pm 1,5$	857 ± 41
4	$8,1 \pm 1,4$	818 ± 86
5	$7,2 \pm 1,1$	784 ± 120
Lufttemperatur, start og slutt	3,2 °C og 3,1 °C	
Luftfuktighet, start og slutt	54% og 62%	
Værsituasjon 20.03	3,2 °C, 4,2 mm nedbør	
Værsituasjon 19.03	3,1 °C, 1,7 mm nedbør	

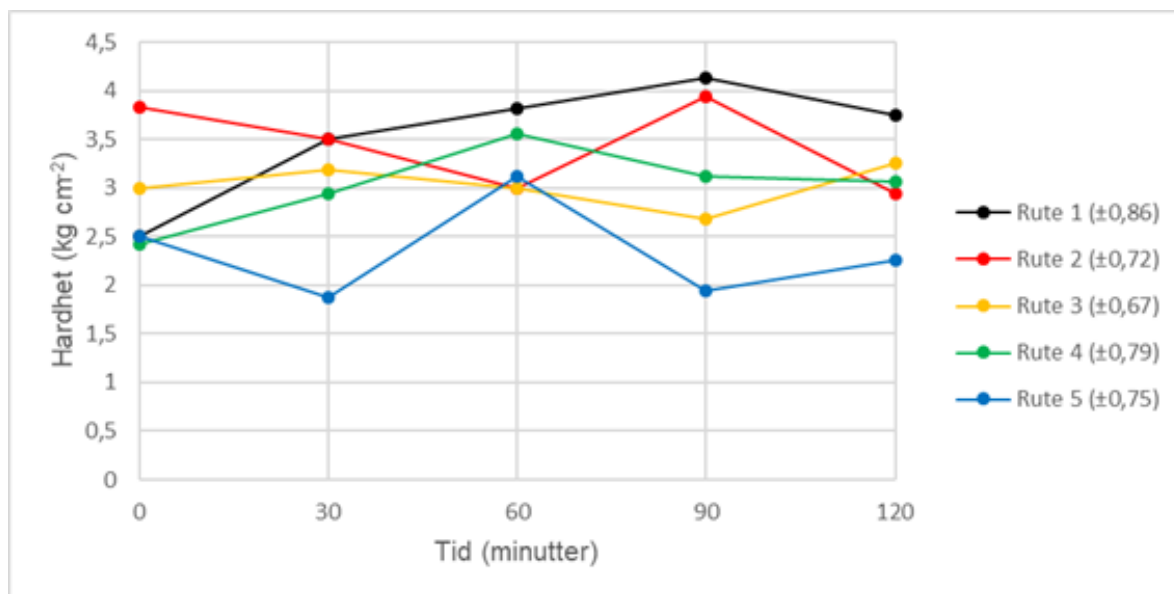
Figur 4.3 viser tetthetsmålinger på ca. 650 kg m^{-3} og vanninnhold på ca. 5% ved felttest 19.03, lufttemperaturen stiger i løpet av testen.

Tabell 4.3: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 14:52-16:51, 28.03.2019

Rute	Vanninnhold (%)	Tetthet (kg m^{-3})
1	$6,3 \pm 2,1$	724 ± 92
2	$5,4 \pm 1,1$	657 ± 111
3	$5,7 \pm 3,0$	682 ± 100
4	$6,3 \pm 1,4$	579 ± 122
5	$6,0 \pm 2,3$	674 ± 36
Lufttemperatur, start og slutt		7,6 °C og 9,9 °C
Luftfuktighet, start og slutt		70% og 51%
Værsituasjon 27.03		5,0 °C, 3,8 mm nedbør
Værsituasjon 26.03		1,3 °C, 3,3 mm nedbør

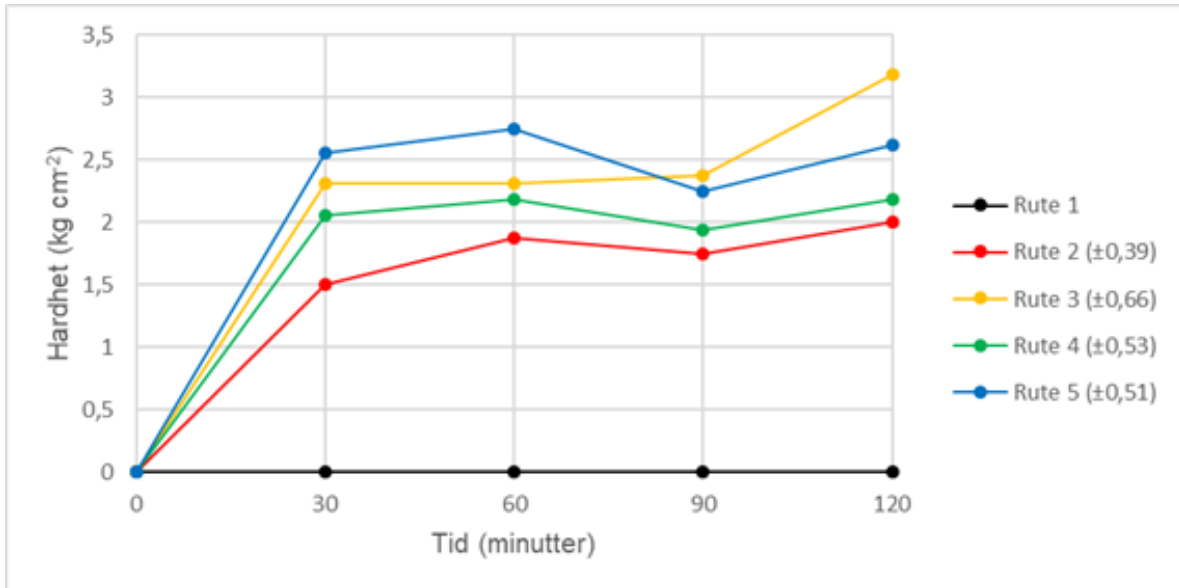
4.2 Hardhetsmålinger fra testing av saltemetoder

Følgende figurer viser gjennomsnittet av hardhetsmålinger utført hvert 30. minutt i rute 1-5. Målingene er fra tester utført henholdsvis 19.03, 21.03 og 28.03.2019, standardavvik er oppgitt for hver rute. For Figur 4.1 er det ingen store endringer i hardhet i løpet av testen, snøen var allerede hard.

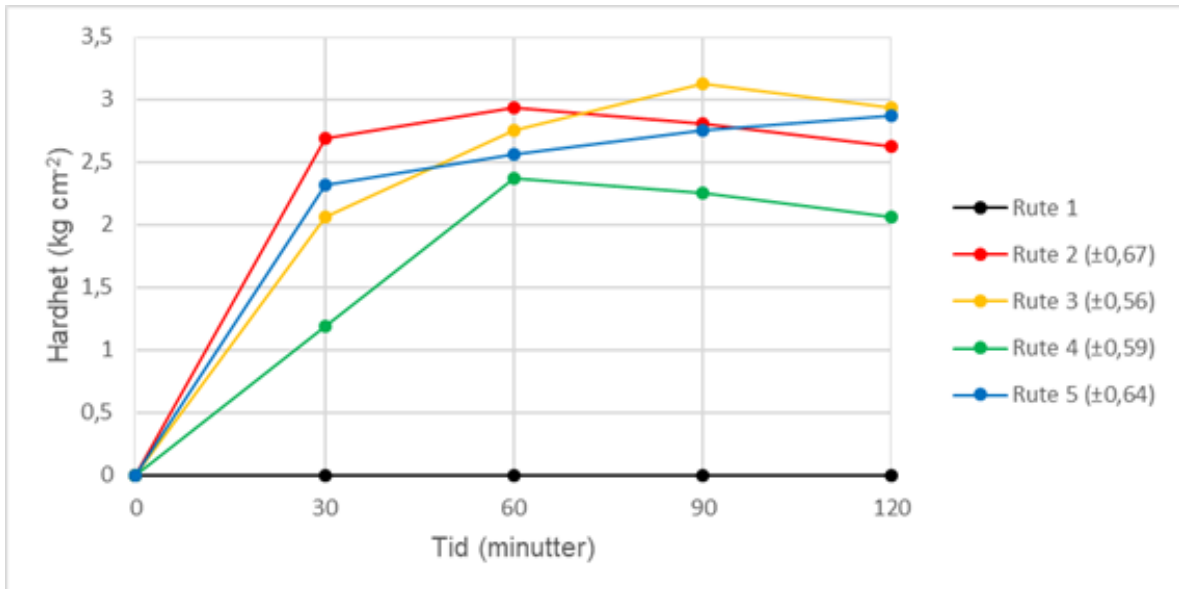


Figur 4.1: Hardhetsmålinger hvert 30. minutt i hver rute mellom kl. 13:19 og 15:24, 19.03.2019.

For Figur 4.2 og 4.3 ligger referansekurve konstant på 0 da denne ruta aldri ble noe hardere.



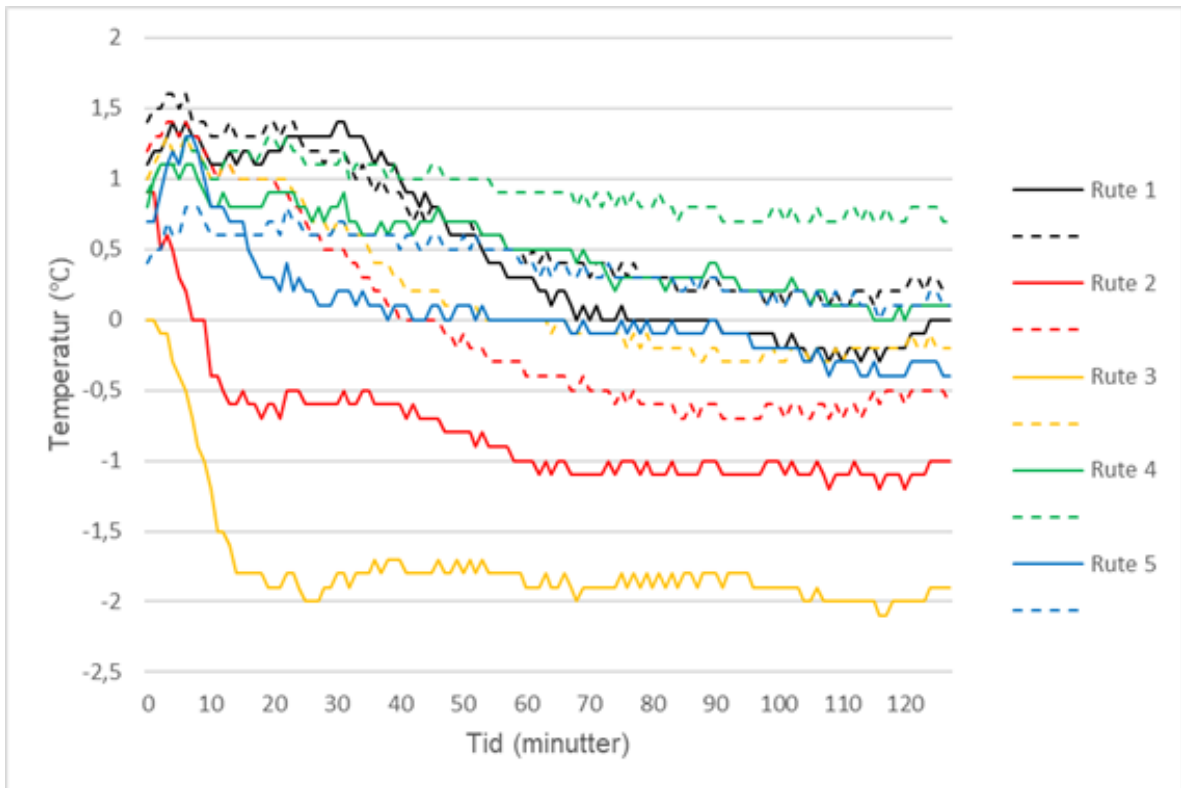
Figur 4.2: Hardhetsmålinger hvert 30. minutt i hver rute mellom kl. 14:03 og 15:53, 21.03.2019.



Figur 4.3: Hardhetsmålinger hvert 30. minutt i hver rute mellom kl. 14:52 og 16:51, 28.03.2019.

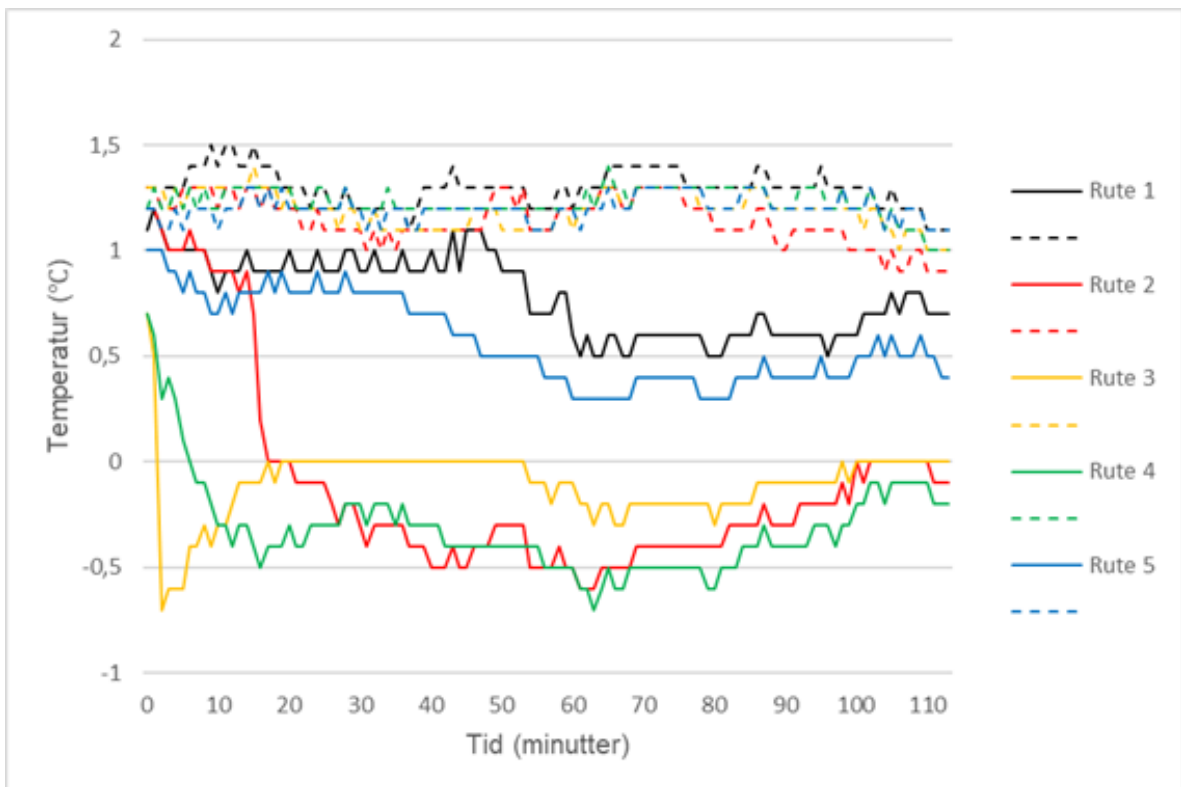
4.3 Temperaturmålinger fra testing av saltemetoder

Figur 4.4-4.6 viser temperaturmålinger i rute 1-5 ved 2 cm og 8 cm dybde. Målingene er fra tester utført henholdsvis 19.03, 21.03 og 28.03.2019. Heltrukken linje indikerer temperatur ved 2 cm dybde, stiplet linje indikerer temperatur ved 8 cm dybde og farger indikerer rutenummer.

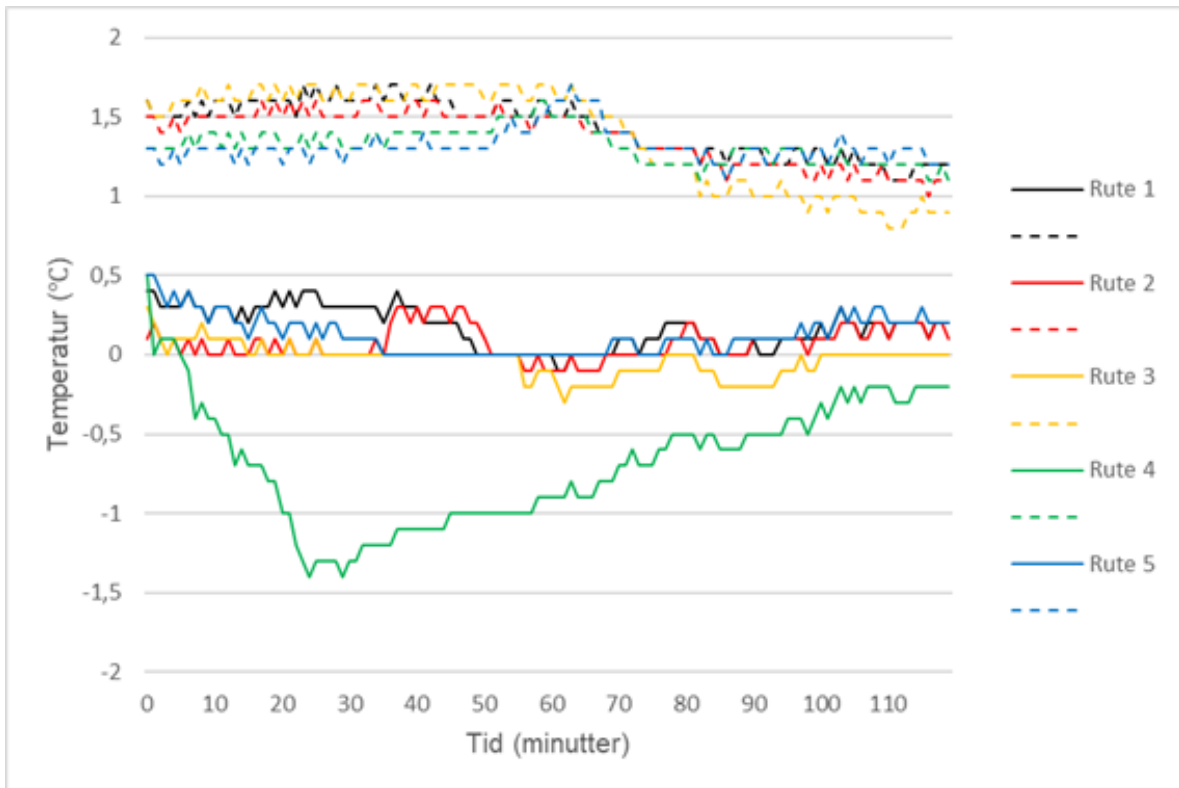


Figur 4.4: Temperaturmålinger i hver rute mellom kl. 13:19 og 15:24, 19.03.2019.

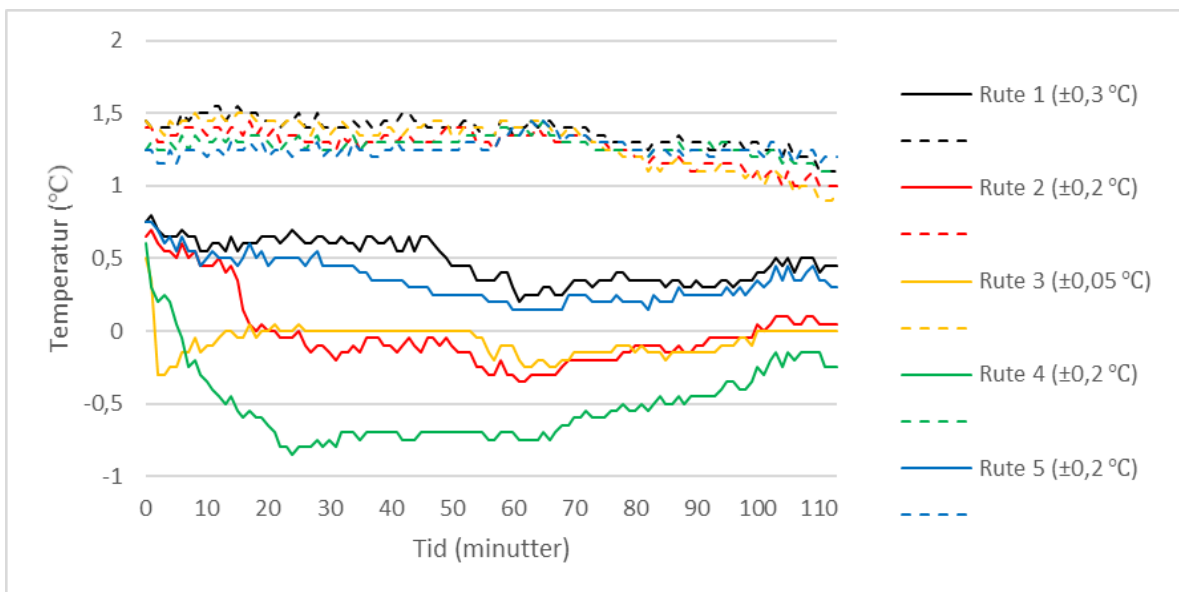
Det vises at temperatur ved 8 cm dybde holdes omtrent konstant i Figur 4.5 og 4.6, mens temperatur ved 2 cm dybde synker i ulik grad for hver rute.



Figur 4.5: Temperaturmålinger fra hver rute mellom kl. 14:03 og 15:53, 21.03.2019.



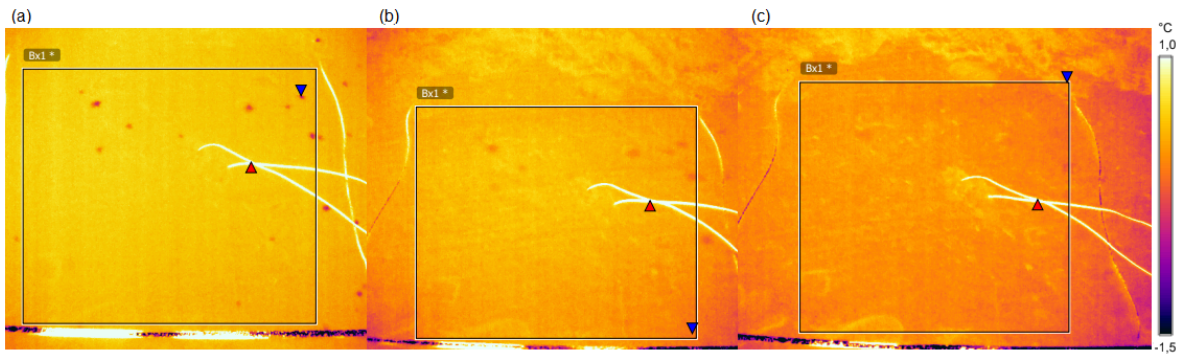
Figur 4.6: Temperaturmålinger fra hver rute mellom kl. 14:52 og 16:51, 28.03.2019.



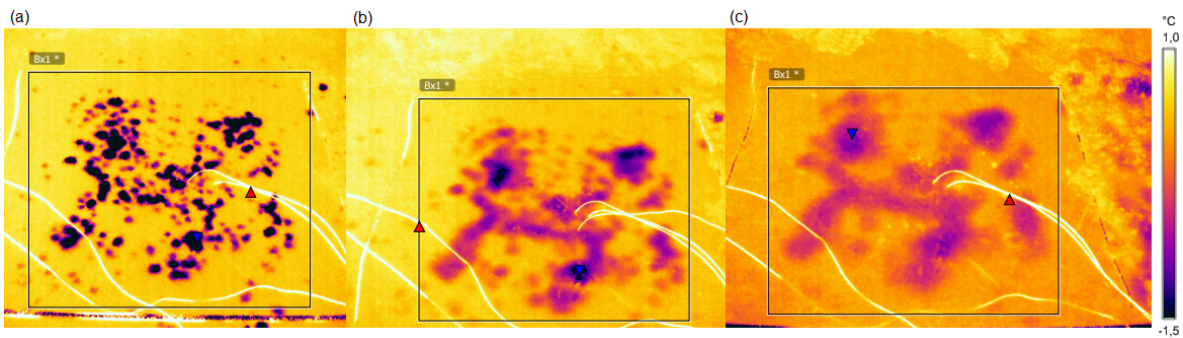
Figur 4.7: Gjennomsnitt av temperaturmålinger i hver rute, 21.03 og 28.03. Heltrukken linje indikerer temperatur ved 2 cm dybde og stiplet linje indikerer temperatur ved 8 cm dybde.

4.3.1 IR-bilder

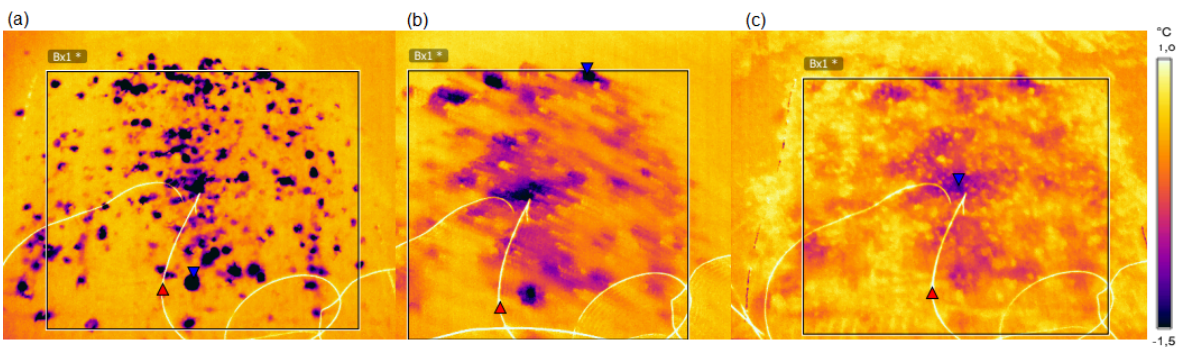
Figur 4.8-4.12 viser IR-bilder tatt av hver rute etter 5, 60 og 120 minutter, fra felttest gjennomført 21.03.2019. Det vises kalde, lokale temperaturer rundt hvert individuelle saltkorn i starten, etter hvert innstilles en mer fast temperatur i hele ruta. Mørkere områder indikerer lavere temperatur, ned til $-1,5\text{ °C}$. IR-bildene viser hvor saltkornene befinner seg og kan dermed brukes til å sammenligne de ulike metodene for saltspredningen.



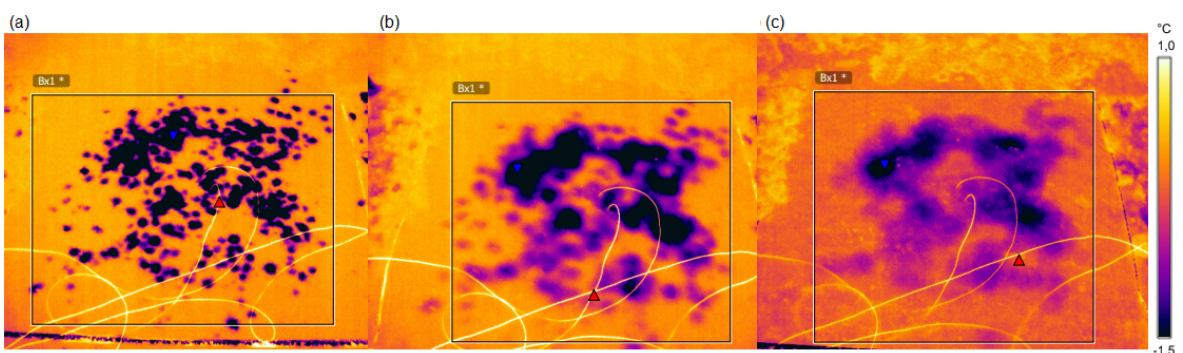
Figur 4.8: IR-bilder av rute 1 etter a) 5, b) 60 og c) 120 minutter fra felttesting gjennomført 14:03-15:53, 21.03.2019.



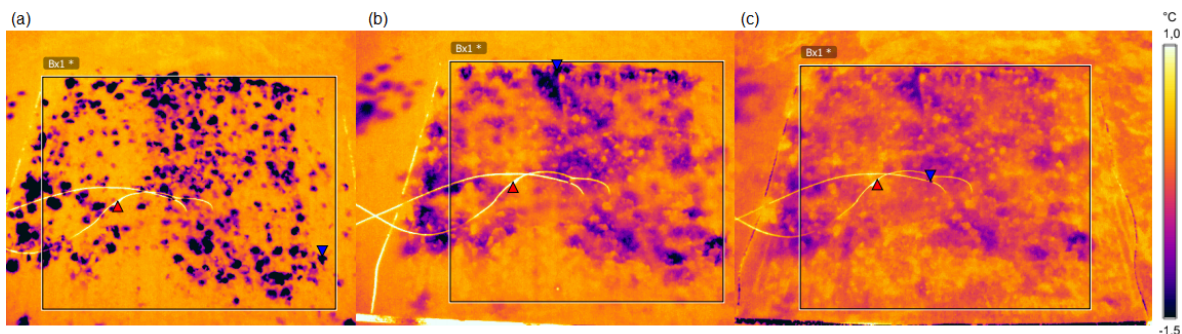
Figur 4.9: IR-bilder av rute 2 etter a) 5, b) 60 og c) 120 minutter fra felttesting gjennomført 14:03-15:53, 21.03.2019.



Figur 4.10: IR-bilder av rute 3 etter a) 5, b) 60 og c) 120 minutter fra felttesting gjennomført 14:03-15:53, 21.03.2019.



Figur 4.11: IR-bilder av rute 4 etter a) 5, b) 60 og c) 120 minutter fra felttesting gjennomført 14:03-15:53, 21.03.2019.



Figur 4.12: IR-bilder av rute 5 etter a) 5, b) 60 og c) 120 minutter fra felttesting gjennomført 14:03-15:53, 21.03.2019.

4.4 Tester på ulike mengder havsalt

Tabell 4.4 og 4.5 viser måling av vanninnhold og tetthet ved start av testing og fryse- dybde ved endt test. Værdata er hentet fra yr.no og Nilsbyen værstasjon. Bøttene har et areal på $572,5 \text{ cm}^2$, påførte saltmengder (3, 6 og 12 g) tilsvarer 50, 100 og 200 g/m^2 .

Tabell 4.4: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 10:04-13:02, 21.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet (kg m^{-3})	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$3,6 \pm 1,2$	776 ± 79	10,4
2 (6 g)	$4,6 \pm 0,4$	690 ± 60	13,4
3 (12 g)	$4,6 \pm 1,9$	676 ± 139	7,50
Lufttemperatur, start og slutt		4,5 °C og 5,6 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		79% og 61%	

Tabell 4.5: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 20:05-22:30, 28.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet (kg m^{-3})	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$3,5 \pm 1,2$	659 ± 89	9,40
2 (6 g)	$5,9 \pm 0,9$	683 ± 73	11,0
3 (12 g)	$3,9 \pm 1,4$	493 ± 54	17,1
Lufttemperatur, start og slutt		8,3 °C og 6,8 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		58% og 67%	

Figur B.1 og B.2 i Vedlegg B viser temperaturmålinger ved 2 cm, 6 cm, 10 cm og 14 cm dybde for tilsats av 3 g, 6 g og 12 g havsalt, fra tester utført 21.03.2019 og 28.03.2019. Temperaturnedsettelse øker med økende saltmengde, minimumstemperatur nås etter 20-40 minutter.

4.5 Tester på ulike mengder ammoniumnitrat

Tabell 4.6 og 4.7 viser måling av vanninnhold og tetthet ved start av testing og fryse- dybde ved endt test. Værdata er hentet fra yr.no og Nilsbyen værstasjon. Bøttene har et areal på $572,5 \text{ cm}^2$, påførte saltmengder (3, 6 og 12 g) tilsvarer 50, 100 og 200 g/m^2 .

Tabell 4.6: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 18:15-21:20, 23.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet ($kg\ m^{-3}$)	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$7,3 \pm 1,2$	761 ± 14	7,20
2 (6 g)	$4,0 \pm 0,7$	687 ± 138	8,40
3 (12 g)	$6,0 \pm 0,6$	789 ± 69	11,2
Lufttemperatur, start og slutt		1,5 °C og 0,5 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		80% og 90%	

Tabell 4.7: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 17:25-20:00, 28.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet ($kg\ m^{-3}$)	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$6,2 \pm 0,9$	727 ± 60	8,80
2 (6 g)	$2,8 \pm 0,9$	543 ± 47	12,2
3 (12 g)	$3,8 \pm 1,1$	647 ± 110	15,3
Lufttemperatur, start og slutt		11,1 °C og 8,3 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		51% og 58%	

Figur B.3 og B.4 i Vedlegg B viser temperaturmålinger ved 2 cm, 6 cm, 10 cm og 14 cm dybde for tilsats av 3 g, 6 g og 12 g hagegjødning, fra tester utført 23.03.2019 og 28.03.2019. Liten temperaturnedsettelse som ikke viser direkte sammenheng med saltmengde, minimumstemperatur nås etter omtrent 2 timer.

4.6 Tester på ulike mengder urea

Tabell 4.8 og 4.9 viser måling av vanninnhold og tetthet ved start av testing og frysedybde ved endt test. Værdata er hentet fra yr.no og Nilsbyen værstasjon. Bøttene har et areal på $572,5\ cm^2$, påførte saltmengder (3, 6 og 12 g) tilsvarer 50, 100 og $200\ g/m^2$.

Tabell 4.8: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 13:58-17:00, 23.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet ($kg\ m^{-3}$)	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$4,2 \pm 1,2$	586 ± 20	10,2
2 (6 g)	$4,0 \pm 1,0$	707 ± 91	11,4
3 (12 g)	$6,0 \pm 1,7$	810 ± 35	16,0
Lufttemperatur, start og slutt		1,3 °C og 1,6 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		80% og 85%	

Tabell 4.9: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 10:48-13:45, 28.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet ($kg\ m^{-3}$)	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$6,4 \pm 1,0$	726 ± 82	11,0
2 (6 g)	$7,1 \pm 0,9$	725 ± 29	13,1
3 (12 g)	$6,3 \pm 0,9$	681 ± 87	14,8
Lufttemperatur, start og slutt		7,3 °C og 10,4 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		81% og 70%	

Figur B.5 og B.6 i Vedlegg B viser temperaturmålinger ved 2 cm, 6 cm, 10 cm og 14 cm dybde for tilsats av 3 g, 6 g og 12 g urea, fra tester utført 23.03.2019 og 28.03.2019. Rask temperaturnedsettelse på under 20 minutter.

4.7 Tester på ulike mengder kalsiumklorid

Tabell 4.10 og 4.11 viser måling av vanninnhold og tetthet ved start av testing og frysedybde ved endt test. Værdata er hentet fra yr.no og Nilsbyen værstasjon. Bøttene har et areal på $572,5 \text{ cm}^2$, påførte saltmengder (3, 6 og 12 g) tilsvarer 50, 100 og 200 g/m^2 .

Tabell 4.10: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 9:52-13:00, 23.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet (kg m^{-3})	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$5,5 \pm 2,1$	743 ± 59	9,70
2 (6 g)	$4,9 \pm 0,8$	797 ± 40	10,5
3 (12 g)	$6,2 \pm 1,3$	727 ± 62	13,5
Lufttemperatur, start og slutt		2,6 °C og 0,7 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		80% og 89%	

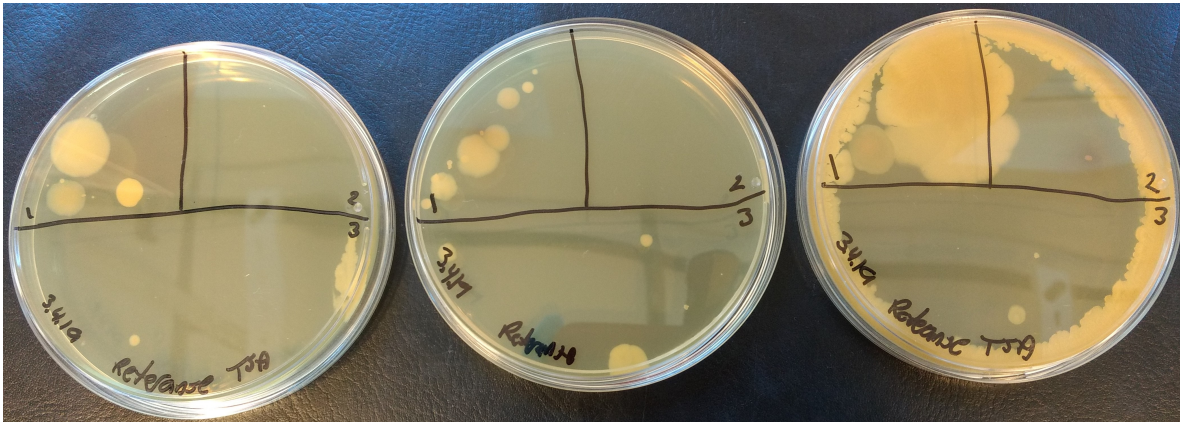
Tabell 4.11: Data og observasjoner ved start og slutt av test, kl. 7:40-10:30, 28.03.2019

Bøtte (mengde salt)	Vanninnhold (%)	Tetthet (kg m^{-3})	Frysedybde (cm)
1 (3 g)	$6,6 \pm 0,8$	662 ± 62	10,2
2 (6 g)	$5,9 \pm 2,3$	728 ± 55	10,5
3 (12 g)	$6,2 \pm 1,3$	680 ± 52	13,3
Lufttemperatur, start og slutt		5,9 °C og 7,3 °C	
Luftfuktighet, start og slutt		84% og 81%	

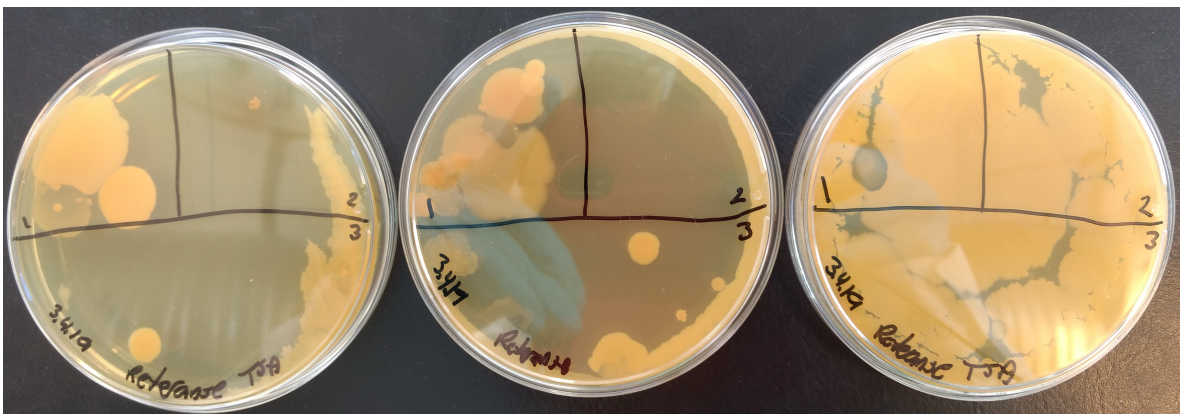
Figur B.7 og B.8 i Vedlegg B viser temperaturmålinger ved 2 cm, 6 cm, 10 cm og 14 cm dybde for tilsats av 3 g, 6 g og 12 g kalsiumklorid, fra tester utført 23.03.2019 og 28.03.2019. Viser noe sammenheng mellom temperaturnedsettelse og saltmengde, minimumstemperatur nås etter 20-40 minutter.

4.8 Mikrobiologisk testing

Følgende figurer viser vekst av mikroorganismer fra jordprøve på ulike medier beskrevet i Tabell 3.1. Figurene viser vekst etter 48 og 144 timer. Det ble tillaget 4 paralleller av hvert medium, flere av disse ble kontaminert og dermed er bare de to platene med best vekst tatt med i resultatene. For referansemediet er de tre beste platene tatt med, men plate til høyre i Figur 4.13-4.14 var noe kontaminert i starten og fikk fort mer vekst enn de andre to. Isolerte kolonier dyrket på platene til venstre har vokst omtrent 100% mellom 48 og 144 timer, vekst er basert på diameter til isolerte kolonier.

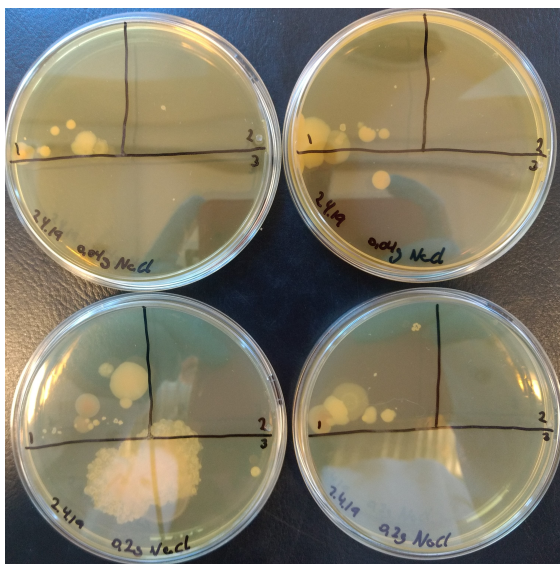


Figur 4.13: Referanseplater med ren TSA etter 48 timer.

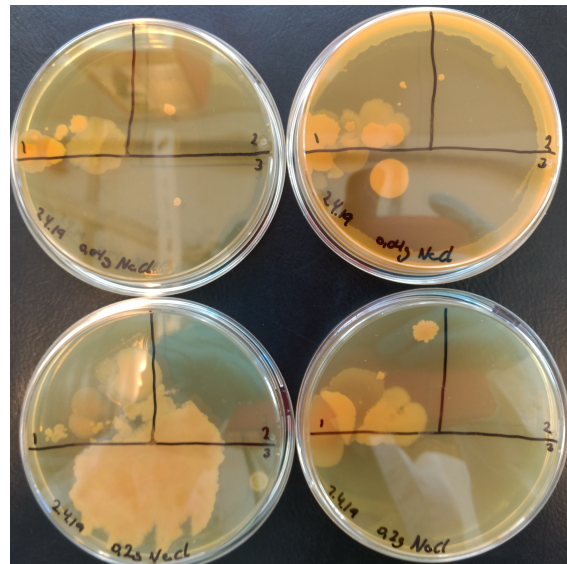


Figur 4.14: Referanseplater med ren TSA etter 144 timer.

Figur 4.15-4.16 viser oppdyrkede mikroorganismer ved tilstedeværelse av natriumklorid, plate nederst til venstre var noe kontaminert i starten. Isolerte kolonier viser vekst på omtrent 100% mellom 48 og 144 timer.

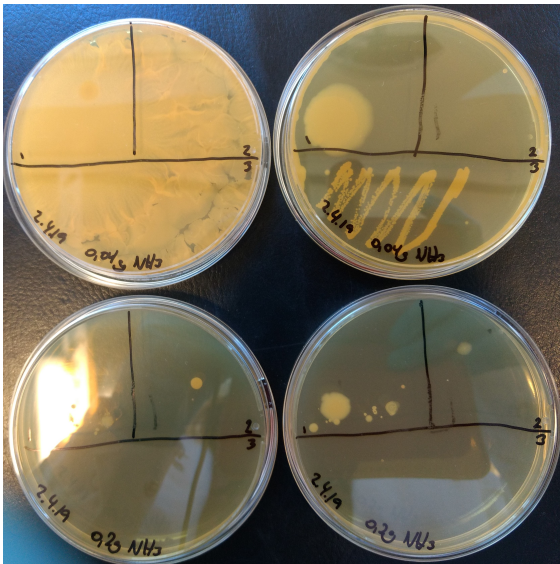


Figur 4.15: Plater med TSA og havsalt etter 48 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ havsalt, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ havsalt.

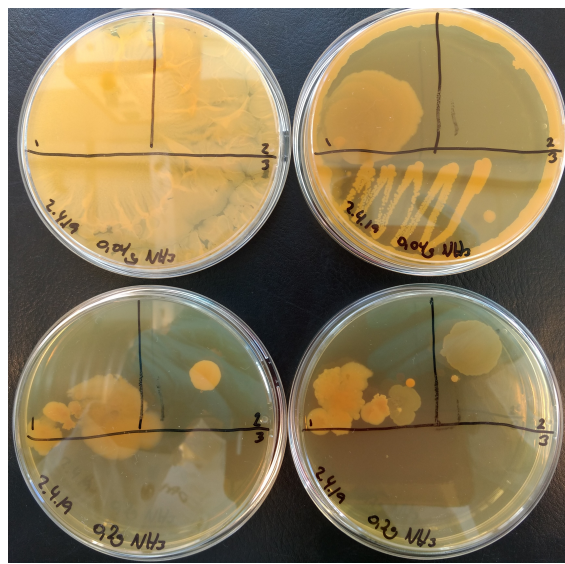


Figur 4.16: Plater med TSA og havsalt etter 144 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ havsalt, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ havsalt.

Figur 4.17-4.18 viser oppdyrkede mikroorganismer ved tilstedeværelse av ammoniumnitrat, plate øverst til venstre var kontaminert i starten. Resterende plate med $0,2 \text{ g L}^{-1}$ salt (øverst til høyre) viser litt vekst mellom 48 og 144 timer, men inneholder allerede mange kolonier etter 48 timer, plater med 1 g L^{-1} salt viser vekst på over 100% mellom 48 og 144 timer.

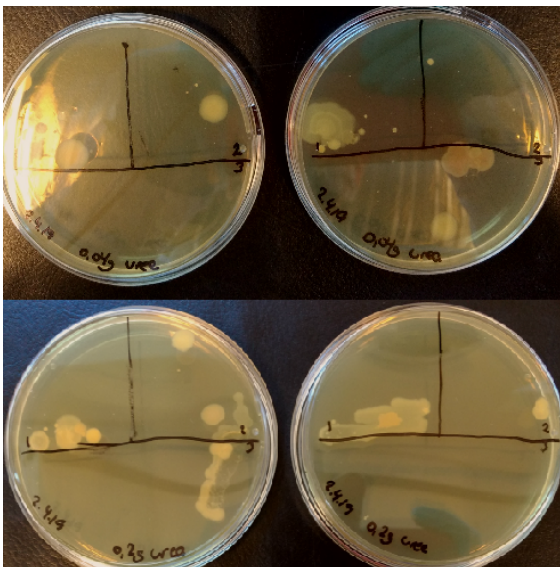


Figur 4.17: Plater med TSA og ammoniumnitrat etter 48 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ ammoniumnitrat, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ ammoniumnitrat.

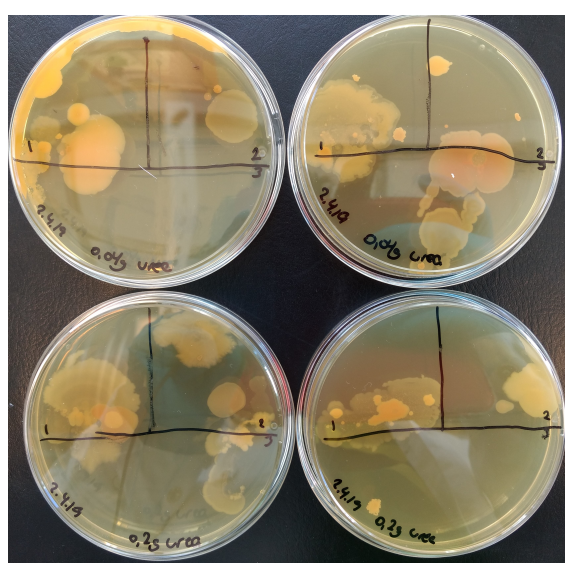


Figur 4.18: Plater med TSA og ammoniumnitrat etter 144 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ ammoniumnitrat, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ ammoniumnitrat.

Figur 4.19-4.20 viser oppdyrkede mikroorganismer ved tilstedeværelse av urea. Alle plater viser omtrent 100% mer vekst mellom 48 og 144 timer.

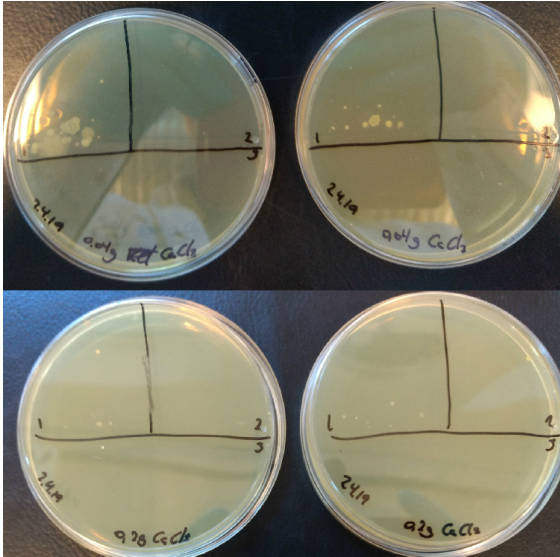


Figur 4.19: Plater med TSA og urea etter 48 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ urea, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ urea.

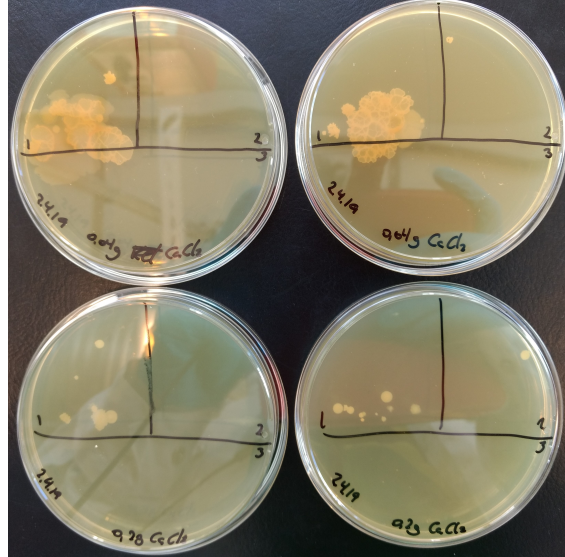


Figur 4.20: Plater med TSA og urea etter 144 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ urea, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ urea.

Figur 4.21-4.22 viser oppdyrkede mikroorganismer ved tilstedeværelse av kalsiumklorid. Få kolonier sammenlignet med andre medier, men oppdyrkede, isolerte kolonier viser vekst på opp mot 400% mellom 48 og 144 timer.



Figur 4.21: Plater med TSA og kalsiumklorid etter 48 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ kalsiumklorid, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ kalsiumklorid.



Figur 4.22: Plater med TSA og kalsiumklorid etter 144 timer. Øverst: $0,2 \text{ g L}^{-1}$ kalsiumklorid, nederst: $1,0 \text{ g L}^{-1}$ kalsiumklorid.

5 Diskusjon

5.1 Hvilken saltemetode gir best effekt?

Som nevnt i delkapittel 2.1.5 er optimal snøtetthet for langrennsløyper rundt 400 kg m^{-3} [14][15]. Tabell 4.1 viser at snøtettheten ved oppstart av felttest 19.03 var $400\text{-}500 \text{ kg m}^{-3}$ og i tillegg til at vanninnholdet i snøen var ganske lavt vil man vanligvis ikke benytte seg av salting siden disse forholdene er allerede bra egnet til skigåing. En ser videre i Figur 4.1 at hardheten til snøen ikke får store endringer som følge av salting ved disse forholdene. Temperaturmessig vises det derimot i Figur 4.4 at saltingen har ønsket effekt da overflatetemperaturen (2 cm dybde) synker som følge av salting, bare at snøen allerede er fryst slik at en ikke oppnår noe ved å senke temperaturen.

Fra Tabell 4.2 og 4.3 vises det at snøens tetthet ved testing 21.03 og 28.03 var ganske mye høyere, som nok skyldes av at vanninnholdet også var høyere, med 6-8%. Som følge av vanninnholdet var snøen myk og våt og egnet seg dårlig til skigåing, målet for dette prosjektet er å vurdere effekten av salting ved slike forhold. Det ble valgt å benytte 20 g salt per kvadratmeter snø for disse testene fordi 10 g/m^2 er en ofte brukt mengde [19], men såpass lite salt var vanskelig å fordele jevnt utover rutene. Figur 4.2 og 4.3 viser en bra hardhetsøkning etter salting, med høyest hardhet oppnådd i rute 3 hvor saltet ble raket inn i snøen for å simulere salting foran maskiner som pakker inn snøen (for eksempel snøscooter med riktig utstyr eller en tråkkemaskin [19]). Disse hardhetsmålingene er uansett upresise målinger siden hardheten ble funnet å variere stort innenfor samme rute, sannsynligvis på grunn av dårlig spredning av saltet; snøen vil være hardere i områder med flere saltkorn. Det vises også at snøen blir fryst i løpet av 30 minutter og at hardheten ikke forandres i noen særlig grad etter dette uavhengig av metode.

Temperaturen i snølaget synker som sagt etter salting, og i Figur 4.7 vises det gjennomsnittet av temperaturmålinger fra tester gjennomført 21.03 og 28.03 (Figur 4.5 og 4.6), test gjennomført 19.03 er utelukket siden en ikke vil salte ved disse forholdene som nevnt tidligere. Det kan da vises at salting og raking utført i rute 3 senker temperaturen raskest og at vanning og salting utført i rute 4 gir lavest temperatur. Som nevnt i delkapittel 2.1.5 gjennomgår snølaget kontinuerlig metamorfose som bestemmes av temperaturgradienten til snølaget, der en temperaturgradient på mer enn $10 \text{ }^\circ\text{C m}^{-1}$ resulterer i lav tetthet og en svak overflate [16]. Dette viser seg å stemme siden temperaturgradienten i referanseruta ligger på omtrent $16\text{-}17 \text{ }^\circ\text{C m}^{-1}$ i følge Figur 4.7, overflaten i denne ruta ble aldri noe hardere. Temperaturgradienten har derimot ikke noe betydning når det saltes og overflatetemperaturen synker til under $0 \text{ }^\circ\text{C}$ slik at snøen fryser, selv om dette ikke forklarer situasjonen i rute 5. Overflatetemperaturen i denne ruta faller ikke under $0 \text{ }^\circ\text{C}$, men overflaten blir fortsatt hard, denne temperaturen er forsåvidt bare målt i ett punkt i ruta og temperaturforskjeller kan oppstå innenfor samme rute som følge av måten saltet ble fordelt utover.

Ut fra disse resultatene kan det virke som at salting og påfølgende innpakking av snøen er den mest effektive metoden for salting. Eventuelt vanning og salting, men da bør snøen ikke forberedes mekanisk som gjort i rute 5. Resultatene fra dette prosjektet er uansett ganske unøyaktige på grunn av diverse faktorer, blant annet været. Nedbør, skygge, vind og lufttemperatur endret seg fort og medførte nokså forskjellige forhold alle tre dagene disse testene ble gjennomført, som videre har resultert i lav grad av overensstemmelse mellom spesielt temperaturgrafene. For å minimere usikkerheten rundt dette burde testene bli gjentatt enda flere ganger for å kunne samle resultater ved lignende vær-situasjoner.

Flere faktorer som påvirker nøyaktigheten til resultatene kommer fra utførelsen av selve testene, hovedsaklig påføringen av saltet. Figur 4.8-4.12 viser IR-bilder tatt fra felttest 21.03, etter 5, 60 og 120 minutter. Det vises med mørkere farger at temperaturen synker

raskt akkurat der individuelle saltkorn befinner seg mens resten av ruta ikke opplever den samme temperaturendringen. Temperaturen jevner seg ut etter hvert som testen pågår, men det er fortsatt tydelige temperaturforskjeller innad i rutene. Dette påvirker både hardhetsmålinger og temperaturmålinger siden fryseeffekten ikke er jevnt fordelt utover ruta. IR-bildene viser videre at spredning av salt for hånd gir ganske dårlig utspredning (Figur 4.9 og 4.11), ihvertfall over et såpass lite område, raking derimot gir jevnere utspredning (Figur 4.10 og 4.12). Instrumentene som ble benyttet for målinger kommer også med egne usikkerheter, som kommer frem i tabeller og figurer i kapittel 4 der måleverdier viser usikkerheter på over 20%. Flere målinger i hver rute kunne sannsynligvis gi et mer presist resultat.

Ved avslutning av hver test etter to timer hadde alle saltede ruter blitt hard nok til å bære full kroppsvekt; det var mulig å gå over rutene uten å synke ned i snøen, som viser at salting ihvertfall fungerer. Om en metode er bedre enn de andre er derimot vanskelig å si ut fra oppnådde resultater. For et mer definitivt svar bør denne testen gjentas flere ganger, i tillegg til flere hardhetsmålinger den første halvtimen for å sammenligne hvor raskt snøen fryser avhengig av metode. Det ville å vært en fordel med flere temperatursensorer i hver rute for å unngå lokale temperaturforskjeller.

5.2 Sammenligning av testede salter

Saltmengder ble bestemt til 3, 6 og 12 g per bøtte (areal $572,5 \text{ cm}^2$), dette tilsvarer ca. 50, 100 og 200 g/m^2 (Utrekning 1 i Vedlegg C). Disse mengdene ble valgt med utgangspunkt i ofte brukte mengder ($10\text{-}100 \text{ g/m}^2$) for å teste om mer salt gir bedre effekt. Aalberg sin veiledning nevner natriumklorid, ammoniumnitrat, urea og kalsiumklorid som vanlige salter i forbindelse med skianlegg og derfor er disse testet her [19]. Fra delkapittel 2.2 vil mindre saltkorn virke raskere enn større saltkorn, dermed burde urea senke temperaturen raskest da dette saltet har minst diameter på saltkornene, se Vedlegg A. På samme måte burde ammoniumnitrat bruke lengst tid på å virke, men også være lengst, på grunn av størst diameter. Temperaturgrafer i Vedlegg B viser at disse påstandene stemmer, ihvertfall at urea virker raskest. Snø saltet med urea når minimumstemperatur i løpet av 20 minutter (Figur B.5 og B.6), og etter dette punktet går temperaturen fort oppover igjen. Ammoniumnitrat derimot behøver flere timer for å nå minimumstemperaturen, dette er i tillegg det saltet som resulterer i høyest minimumstemperatur på over $-1 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figur B.3 og B.4). Om ammoniumnitrat varer lengst med tanke på temperatur kan ikke fastslås ut fra disse resultatene fordi testene ikke varte lenge nok.

Havsalt og kalsiumklorid vises å ha lignende effekt, minimumstemperaturen blir nådd etter ca. 20-40 minutter og temperaturen holder seg ganske stabilt på dette nivået gjennom hele testen (Figur B.1, B.2, B.7 og B.8). Da disse saltene har lignende kornstørrelse gir det mening at de vil ha lignende effekt når en ser på hvor fort saltene virker og varighet. NaCl og CaCl_2 har ulik molar masse på henholdsvis $58,4 \text{ g mol}^{-1}$ og $110,0 \text{ g mol}^{-1}$ som nevnt i delkapittel 2.2.1 og 2.2.3 [24]. Ligning 1 og 2 i delkapittel 2.1.5 gir en sammenheng mellom stoffmengde og frysepunktnedsettelse, og siden NaCl har en molekylvekt på nesten det dobbelte av CaCl_2 vil for eksempel 50 g NaCl senke frysepunktet til vann omtrent dobbelt så mye som 50 g CaCl_2 løst opp i lik mengde vann ville gjort [18]. Resultatene støtter denne teorien da havsalt resulterer i omtrent dobbel så lav temperatur i overflatelaget, usikkerheter tatt i betrakning.

Det vises ikke et åpenbart mønster i temperaturgrafene i Vedlegg B med tanke på hvor mye salt som er benyttet ved hver test. Det logiske ville vært at større mengder salt fører til lavere temperaturer siden flere partikler fører til større frysepunktnedsettelse, men med unntak av kalsiumklorid virker det tilfeldig hvilken mengde som fører til lavest temperatur. Målingene for kalsiumklorid viser mest likheter der 200 g/m^2 (tilsats av 12 g salt) resulterer i lavest temperatur ved begge testene (Figur B.7 og B.8), men det er fortsatt ikke åpenbart hvorfor 100 g/m^2 (tilsats av 6 g salt) resulterer i dårligst

temperaturnedgang her. Tabeller i delkapittel 4.4-4.7 viser uansett at fryseeffekten øker med økende saltmengde for alle saltene, altså at snøen blir fryst dypere. I delkapittel 2.2 nevnes det at mer enn 100 g salt per m^2 ikke vil gi bedre effekt [19], denne påstanden stemmer ikke ut fra disse resultatene. Det er mulig at frysedybden har en sammenheng med hvor lenge snølaget holder seg hardt, men saltingen ble ikke testet lenge nok slik at det kreves videre testing for å finne noen nøyaktig sammenheng.

Tabell 2.1 viser innkjøpspriser for aktuelle salter per 25 kg, havsalt er klart billigst og av den grunn er havsalt det mest brukte saltet. På grunn av at havsalt trenger litt tid for å gi maksimal effekt kan det være aktuelt å benytte en blanding av havsalt og for eksempel urea for å oppnå rask, bra og langvarende effekt. Ved blanding av salter kan det gjøres videre testing for å finne et optimalt blandingsforhold, men 50/50 kan være et greit utgangspunkt. Som sagt ble ikke saltingen testet lenge nok til å gi noe svar på hvor mye salt som bør benyttes.

Samme feilkilder som beskrevet i delkapittel 5.1 gjelder også for disse testene, der den viktigste er lokale temperaturforskjeller rundt saltkornene. Flere temperaturmålinger ved hver dybde kunne kanskje ført til en mer tydelig sammenheng mellom saltmengde og temperaturnedgang.

5.3 Miljøpåvirkninger av salting

Inkuberingstemperatur for jordprøvene ble valgt til 25 °C basert på tidligere eksperimenter og anbefalinger for dyrkning av jordbakterier [41]. Jordprøven ble hentet fra en sti forbi Moholt kirkegård, Trondheim, som benyttes som skiløype om vinteren. Dette ble valgt fordi jorden herfra burde tilsvare jord hvor salt fra skianlegg ender opp om våren. Saltkonsentrasjon i mediene ble bestemt med utgangspunkt i en antagelse om at et snølag er 10 cm dypt, som tilsvarer 100 L snø per kvadratmeter. Ved metodetest beskrevet i delkapittel 3.2.1 ble det benyttet 20 g salt per kvadratmeter, som tilsvarer en saltkonsentrasjon på $0,2 \text{ g L}^{-1}$, andre saltkonsentrasjon ble valgt til 1 g L^{-1} som tilsvarer 100 g salt per kvadratmeter som også er blitt benyttet i praksis (Utregning 2 i Vedlegg C) [19]. Noen plater ble kontaminert før inokulering og kan ignoreres, tre av disse er uansett tatt med i resultatene for å få minst to paralleller av hvert medium. Dette gjelder referanseplate til høyre i Figur 4.13-4.14, plate med havsalt nederst til venstre i Figur 4.15-4.16, og plate med ammoniumnitrat øverst til venstre i Figur 4.17-4.18. Det ble ikke gjennomført noen tester for saltenes påvirkning på planter da slikt ville tatt lenger tid enn tilgjengelig, så teori i delkapittel 2.4 er eneste kilde for dette. Det nevnes at blant annet 100 mM *NaCl* er påvist å forårsake skader på sensitive planter [38], for tester utført gjennom dette prosjektet er $0,2 \text{ g L}^{-1}$ NaCl brukt som utgangspunkt, dette tilsvarer en molar konsentrasjon på ca. 3 mM. Slike nivåer er altså en god del lavere enn skadelig konsentrasjon. Andre forsøk er utført på miljøeffekten av saltbruk i skiløyper som viser at mengden salt som vanligvis blir benyttet ikke har en tydelig påvirkning på vegetasjon i nærmiljøet [42].

Ut fra resultatene i delkapittel 4.8 vises det at ammoniumnitrat (Figur 4.17-4.18) resulterer i lignende vekst som i referansemediet (Figur 4.13-4.14), dette gir mening med tanke på at gjødsel brukes for å tilføre næringsstoffer nødvendig for mikrobiell vekst. Urea (Figur 4.19-4.20) som et annet nitrogengjødsel var heller ikke forventet å inhibere vekst i noen særlig grad, og igjen er vekstforskjellen mellom 48 og 144 timer på omtrent samme nivå som referansemediet. Natriumklorid og kalsiumklorid er mer tradisjonelle salter som kan påvirke mikroorganismer på en negativ måte, Figur 4.15-4.16 og 4.21-4.22 viser noe dårligere vekst enn resten av mediene. Disse observasjonene baserer seg på hvordan oppdyrkede kolonier endrer seg over tid, ikke hvor mye vekst (antall kolonier) på hvert medium. Inokuleringsteknikken som ble benyttet (utstrykningsplatemetode) er ikke den best egnede metoden når total vekst på et medium skal analyseres, mer avgjørende resultater kan oppnås ved å tilføre et bestemt volum av jordløsningen til platene slik at enkeltkolonier oppstår.

Det er benyttet ganske lave saltkonsentrasjoner for dette forsøket, men som nevnt i delkapittel 2.4 skal det ikke mye salt til før dyrkede mikroorganismer er definert som halofile og i vanlig jord er det sannsynligvis relativt få halofile mikroorganismer [36]. Så selv om inokuleringen er en viktig feilkilde, både med tanke på kontaminering og dårlig påføring av prøve, gir disse resultatene mening i forhold til teori og hva som var forventet. Det vises uansett at mikroorganismer kan oppdyrkes ved alle de testede saltkonsentrasjonene, så basert på disse resultatene burde ikke bruk av vanlige mengder salt forårsake særlig skade på naturen, men dette er et område som kan forskes mer på.

6 Konklusjon

Ut fra resultatene som ble oppnådd gjennom denne undersøkelsen kan det virke som at salting og videre mekanisk behandling av snøen er den mest optimale metoden for salting av skiløyper. Denne metoden førte til lavest temperatur i snølaget, men med tanke på hardhet er det ikke store forskjeller fra metode til metode. Snøen ble hard nok til å bære full kroppsvekt uavhengig av metode, en kan dermed ikke med sikkerhet si at dette virkelig er den beste metoden, eller om det i det hele tatt har noen betydning hvordan det saltes. Videre testing bør utføres for å minimere grad av usikkerhet, faktorer som bør tas ekstra hensyn til er værforholdene og påføring av saltet.

Ved sammenligning av saltene kan det konkluderes med at kalsiumklorid er minst egnet siden det kreves større mengder for å oppnå tilsvarende effekt som for eksempel natriumklorid, i tillegg til at kalsiumklorid vises å inhibere mikrobiell vekst i større grad enn resten av saltene. En optimal løsning kan være en blanding av havsalt og urea med tanke på pris og effekt; miljøpåvirkningen av disse saltene er minimal og blandingen burde føre til både rask og stor temperaturnedgang.

7 Referanser

- [1] Dolnick, S. «A Mad Dash for Salt Rescues Olympic Slopes». I: *The New York Times* (2014).
- [2] Petrenko, V.F. & Whitworth, R.W. *Physics of Ice*. Oxford University Press, 1999.
- [3] URL: https://d2jmvrsizmvf4x.cloudfront.net/LLjX16txS0m2JA0afMCO_shape_of_water_molecules.jpg (sjekket 11.02.2019).
- [4] Tro, N.J. *Chemistry: A Molecular Approach*. 4. utg. Pearson Education, 2017.
- [5] Pauling, L. «The Structure and Entropy of Ice and of Other Crystals with Some Randomness of Atomic Arrangement». I: *Journal of the American Chemical Society* 57 (1935), s. 2680–2684.
- [6] Ludlam, F.H. «The Physics of Ice Clouds and Mixed Clouds». I: *Compendium of Meteorology*. American Meteorology Society, 1951, s. 192–198.
- [7] Doesken, N.J. & Judson, A. *The Snow Booklet*. Colorado State University: Department of Atmospheric Science. 1997.
- [8] Nakaya, U. «The Formation of Ice Crystals». I: *Compendium of Meteorology*. American Meteorology Society, 1951, s. 207–220.
- [9] Libbrecht, K.G. «The Physics of Snow Crystals». I: *Reports on Progress in Physics* 68 (2005), s. 855–895.
- [10] Hallet, J. «How Snow Crystals Grow». I: *American Scientist* 72 (1984), s. 582–589.
- [11] Roebber, P.J., Bruening, S.L., Schultz, D.M. & Cortinas Jr, J.V. «Improving Snowfall Forecasting by Diagnosing Snow Density». I: *Weather and Forecasting* 18 (2003), s. 264–287.
- [12] Judson, A. & Doesken, N.J. «Density of Freshly Fallen Snow in the Central Rocky Mountains». I: *American Meteorology Society* 81 (2000), s. 1577–1588.
- [13] Power, B.A, Summers, P.W. & D'Avignon, J. «Snow Crystal Forms and Riming Effects as Related to Snowfall Density and General Storm Conditions». I: *Journal of the Atmospheric Sciences* 21 (1964), s. 300–305.
- [14] Fauve, M. & Rhyner, H. *Preparation of alpine ski pistes*. Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research. 2002.
- [15] Howard, R. & West, G. *University of British Columbia: Snow Sports Weather*. URL: https://www.eoas.ubc.ca/courses/atasc113/snow/learning_goals-snow.html (sjekket 04.02.2019).
- [16] Colbeck, S.C. «The Layered Character of Snow Covers». I: *Reviews of Geophysics* 29 (1991), s. 81–96.
- [17] Perla, R. & Glenne, B. «Skiing». I: *Handbook of Snow: Principles, processes, management & use*. Pergamon Press Canada Ltd., 1981, s. 707–740.
- [18] Atkins, P. & de Paula, J. *Physical Chemistry for the Life Sciences*. W. H. Freeman company, 2006.
- [19] Aalberg, J. *Salting av langrennsløyper*. Norges Skiforbund. 2015.
- [20] Feistel, R. & Wagner, W. «A New Equation of State for H_2O Ice Ih». I: *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 35 (2006), s. 1021–1047.
- [21] Campbell, D. *Snow Hardening Products for the Preparation of Race Surfaces for Alpine Skiing*. Presentasjon laget for FIS. 2011.
- [22] Rixen, C. & Schneebeli, M. *Effects of snow hardeners on the snow cover of ski runs*. Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research. 2010.
- [23] Anderson, G. & Martin, R. *Seawater Composition*. URL: <https://www.marinebio.net/marinescience/02ocean/swcomposition.htm>. (Sjekket 10.02.2019).

- [24] Blackman, A.G., Grahan, L.R., Aylward, G. & Findlay, T. *Aylward and Findlay's SI chemical data*. 7. utg. John Wiley & Sons Australia, Ltd., 2014. ISBN: 9780730302469.
- [25] *San Francisco Bay Salt Ponds*. URL: <https://www.cargill.com/page/sf/sf-bay-salt-ponds> (sjekket 10.02.2019).
- [26] *Nitrogen fertilizers - Manufacturing process of Nitrogen fertilizers*. URL: <http://guichon-valves.com/faqs/nitrogen-fertilizers-manufacturing-process-of-nitrogen-fertilizers> (sjekket 26.03.2019).
- [27] The National Programme on Technology Enhanced Learning. *Ammonium Nitrate*. URL: <https://nptel.ac.in/courses/103107086/module2/lecture5/lecture5.pdf> (sjekket 08.02.2019).
- [28] *Urea Production and Manufacturing Process*. URL: <https://www.icis.com/explore/resources/news/2007/11/07/9076560/urea-production-and-manufacturing-process> (sjekket 26.03.2019).
- [29] *Calcium Chloride Production*. URL: http://www.tetrachemicalseurope.com/resources/calcium_chloride_production.aqf (sjekket 26.03.2019).
- [30] *Manufacturing of sodium carbonate by solvay process*. URL: <https://worldofchemicals.com/440/chemistry-articles/manufacturing-of-sodium-carbonate-by-solvay-process.html>. (Sjekket 26.03.2019).
- [31] Killham, K. & Prosser, J.I. «The Bacteria and Archaea». I: *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 4. utg. Academic Press, 2015. Kap. 3, s. 41–76.
- [32] Torsvik, V., Goksøyr, J. & Daae, F.L. «High Diversity in DNA of Soil Bacteria». I: *Applied and Environmental Microbiology* 56 (1990), s. 782–787.
- [33] Talaro, K.P. & Chess, B. *Foundations in Microbiology*. 9. utg. McGraw-Hill Education, 2015.
- [34] Morris, S.J. & Blackwood, C.B. «The Ecology of the Soil Biota and their Function». I: *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 4. utg. Academic Press, 2015. Kap. 10, s. 273–309.
- [35] Shrivastava, P. & Kumar, R. «Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation». I: *Saudi Journal of Biological Sciences* (2014), s. 123–131.
- [36] Ollivier, B., Caumette, P., Garcia, J.L. & Mah, R.A. «Anaerobic bacteria from hypersaline environments». I: *Microbiology Reviews* 58 (1994), s. 27–38.
- [37] Bano, A. & Fatima, M. «Salt tolerance in Zea mays (L). following inoculation with Rhizobium and Pseudomonas». I: *Biology and Fertility of Soils* 45 (2009), s. 405–413.
- [38] Munns, R. «Comparative physiology of salt and water stress». I: *Plant, Cell & Environment* 25 (2002), s. 239–250.
- [39] Zhu, J.K. «Salt and Drought Stress Signal Transduction in Plants». I: *Annual Review of Plant Biology* 53 (2002), s. 247–273.
- [40] White, P.J. & Broadley, M.R. «Chloride in Soils and its Uptake and Movement within the Plant: A Review». I: *Annals of Botany* 88 (2001), s. 967–988.
- [41] Classen, A.T., Boyle, S.I., Haskins, K.E., Overby, S.T. & Hart, S.C. «Community-level physiological profiles of bacteria and fungi: plate type and incubation temperature influences on contrasting soils». I: *FEMS Microbiology Ecology* 44 (2003), s. 319–328.
- [42] Leidemark, I. *Saltanvändning i skidbackar*. Avsluttende arbeid i miljøvitenskap ved Mittuniversitetet i Östersund, Sverige. 2014.

Vedlegg A Bilder av aktuelle saltkorn



Figur A.1: Viser korn av havsalt, kornstørrelse på ca. 1-5 mm der de større kornene er flate.



Figur A.2: Viser korn av ammoniumnitrat, kornstørrelse på ca. 2-5 mm der alle kornene er runde.



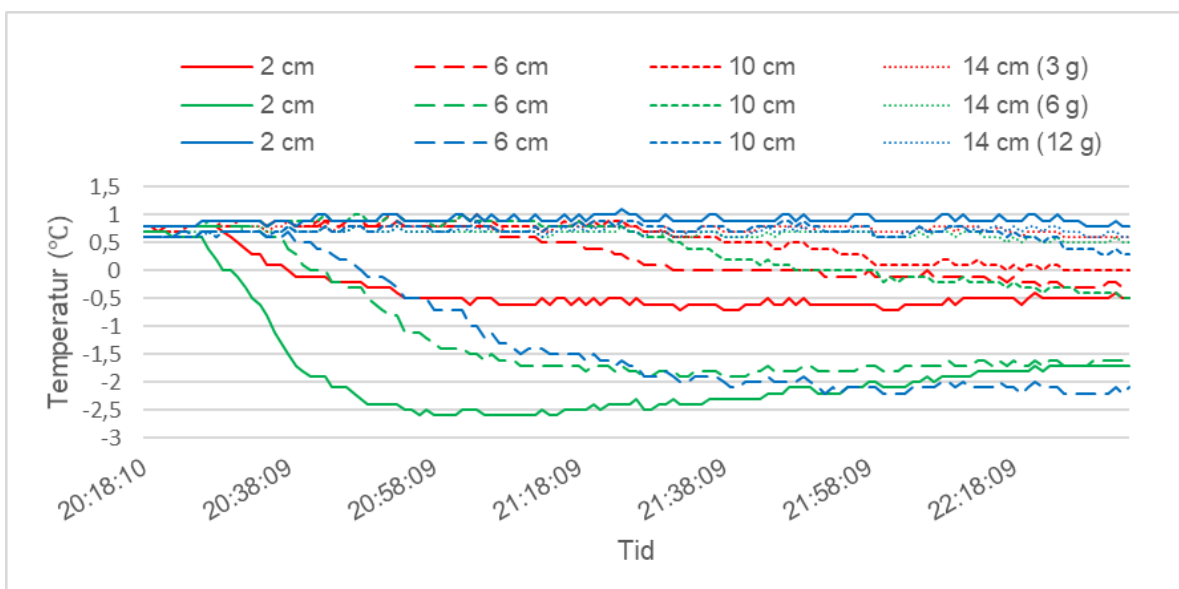
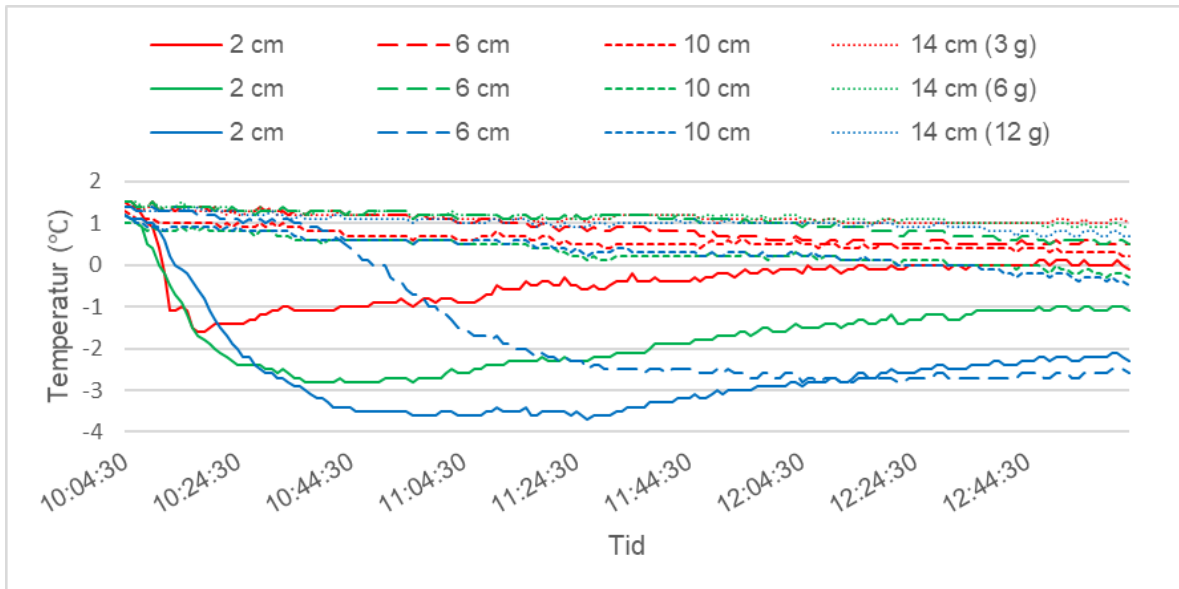
Figur A.3: Viser korn av urea, kornstørrelse på ca. 1 mm der alle kornene er runde.

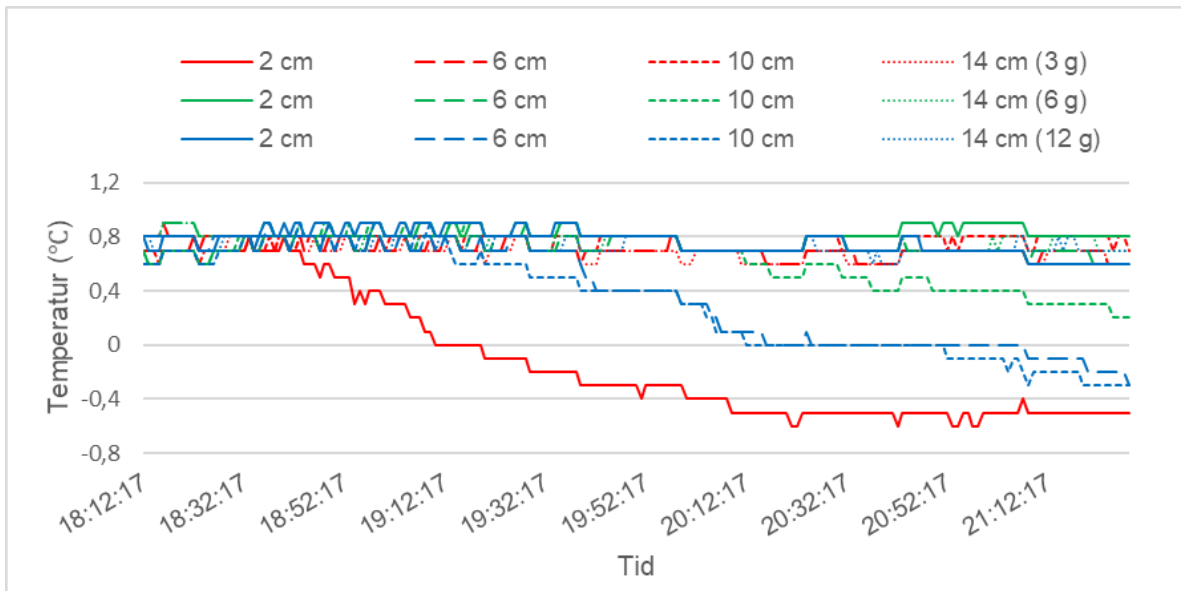


Figur A.4: Viser korn av kalsiumklorid, kornstørrelse på ca. 1-5 mm der alle kornene er flate.

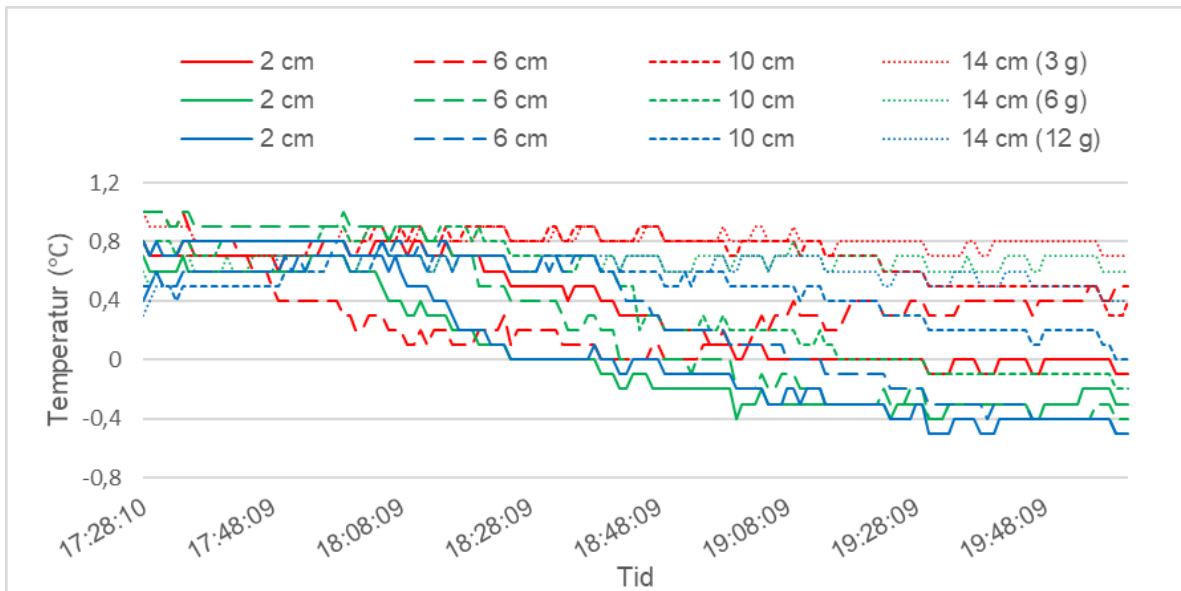
Vedlegg B Temperaturgrafer for mengdetester

Følgende figurer viser temperaturmålinger fra test av mengde salt; havsalt, ammoniumnitrat, urea og kalsiumklorid. Rød linje indikerer tilsats av 3 g salt, grønn linje indikerer tilsats av 6 g salt og blå linje indikerer tilsats av 12 g salt.

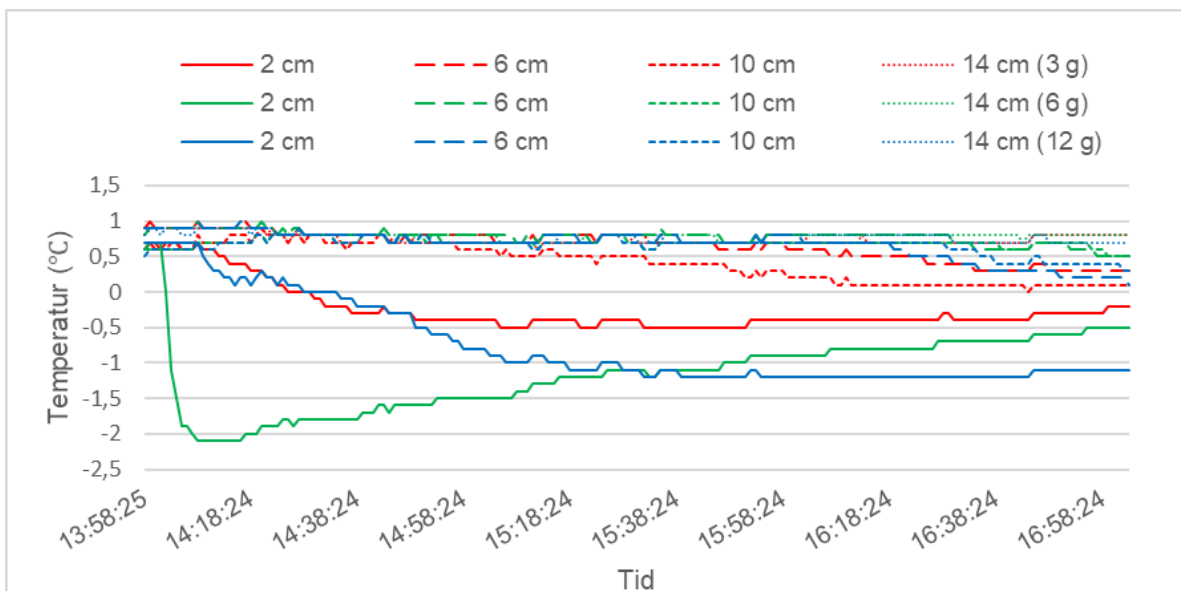




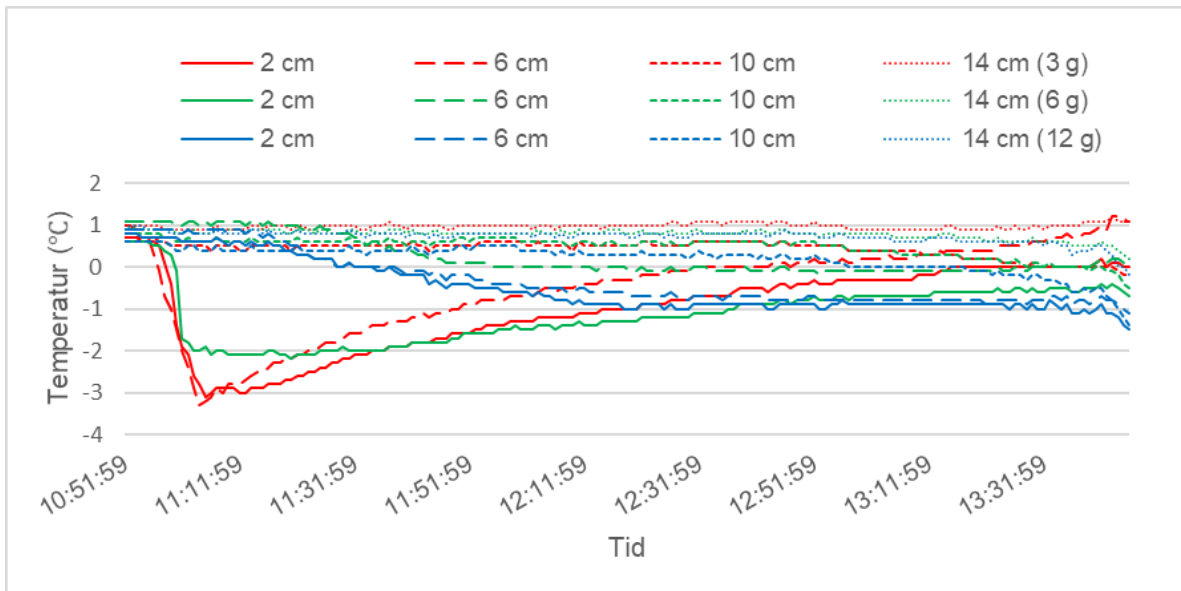
Figur B.3: Temperaturmålinger fra første test av mengde salt: Ammoniumnitrat (23.03.2019)



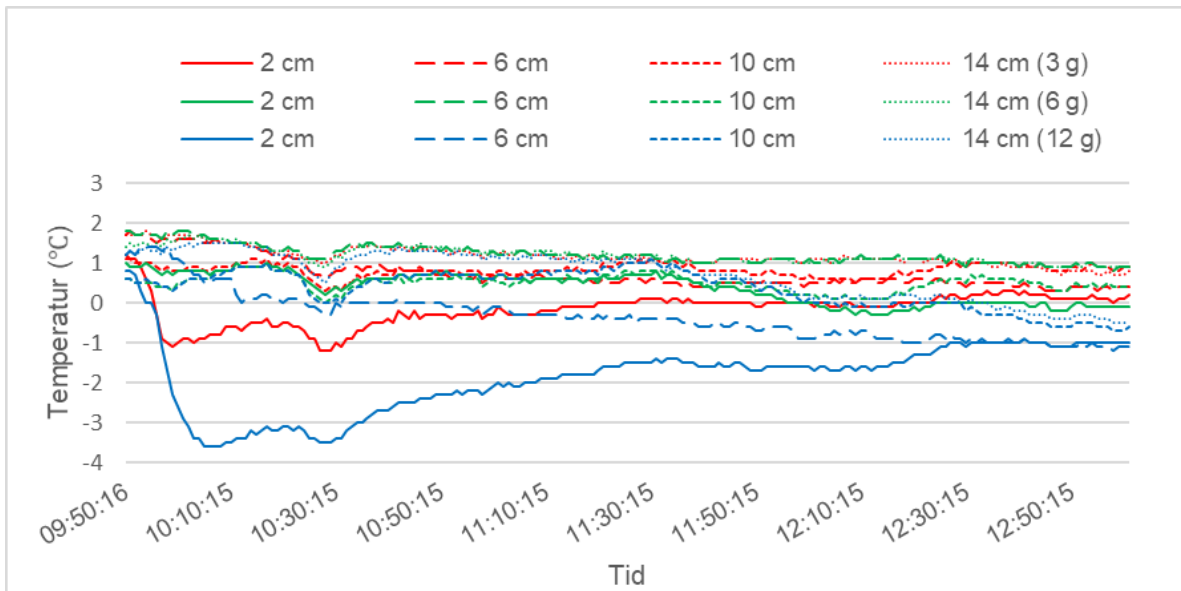
Figur B.4: Temperaturmålinger fra andre test av mengde salt: Ammoniumnitrat (28.03.2019)



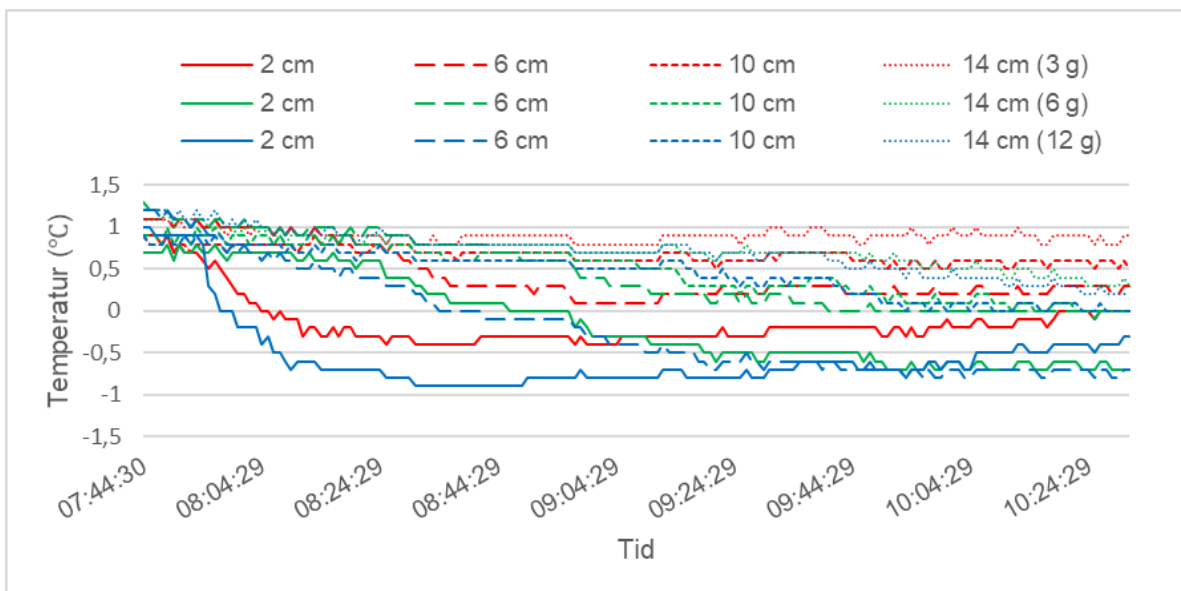
Figur B.5: Temperaturmålinger fra første test av mengde salt: Urea (23.03.2019)



Figur B.6: Temperaturmålinger fra andre test av mengde salt: Urea (28.03.2019)



Figur B.7: Temperaturmålinger fra første test av mengde salt: Kalsiumklorid (23.03.2019)



Figur B.8: Temperaturmålinger fra andre test av mengde salt: Kalsiumklorid (28.03.2019)

Vedlegg C Utregninger

Saltemengder for mengdetester (1):

$$50 \text{ g/m}^2 \cdot 0,05725 \text{ m}^2 = 2,6 \text{ g} \approx 3 \text{ g}$$

$$100 \text{ g/m}^2 \cdot 0,05725 \text{ m}^2 = 5,3 \text{ g} \approx 6 \text{ g}$$

$$200 \text{ g/m}^2 \cdot 0,05725 \text{ m}^2 = 10,6 \text{ g} \approx 12 \text{ g}$$

Saltkonsentrasjoner i dyrkningsmedium (2):

$$10 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 100000 \text{ cm}^3 = 100 \text{ L}$$

$$20\text{g}/100\text{L} = 0,2 \text{ g/L}$$

$$100\text{g}/100\text{L} = 1,0 \text{ g/L}$$

Vedlegg D Populærvitenskapelig artikkel

Salting av skiløyper

Av: Daniel Korneliussen

Flere grener under de Olympiske Leker i Sochi i 2014 sto i fare for å bli avlyst grunnet dårlige snøforhold. Redningen kom i form av 24 tonn med sveitsisk salt [1].

Salt har nemlig den effekten på snø at hardheten til overflaten øker, slik at snø som slush eller pulversnø kan bli mulig å kjøre på igjen. Alle har opplevd våt og tung snø i skiløypene når våren kommer og lufta blir varmere - et mareritt. Spesielt når det gjelder konkurranser.

Salt fryser snø!

Men hvorfor salter man skiløyper? Man salter jo veiene om vinteren for å fjerne snø og is, i løypene vil man derimot beholde snøen så lenge som mulig. Når salt løses opp i vann, som snø består utelukkende av, senkes frysepunktet slik at vannet fryser til is ved lavere temperaturer. Eller sett på en annen måte: Isen smelter ved lavere temperaturer. Dette gjør at isen som dukker opp på veiene en mandags morgen i november kan smelte ved for eksempel $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

Greit, men hvordan blir snøen i skiløyper hardere hvis den bare smelter? Det er nemlig det den ikke gjør, sett bort fra et lite lag på toppen forsåvidt. At å smelte noe som helst krever varme er ganske kjent allmennkunnskap, skal du smelte jern trenger du en ovn på over $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Heldigvis snakker vi ikke om jern nå, vi snakker om snø. Sett at du har strødd salt utover skiløypa, den dårlige snøen smelter nå ved temperaturer under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Og som sagt tar denne smelteprosessen varme fra et eller annet sted, men hvor? Vi har jo ikke en ovn tilgjengelig.



Tråkkemaskin: Et slikt kjøretøy kan benyttes til både å spre saltet og å pakke inn snøen slik at den blir enda hardere. Foto: Norges Skiforbund.

Varmen tas fra snøen som ligger under. Altså når toppen av snølaget smelter vil resten av snøen bli kaldere. Flytende vann som befinner seg inni snøen vil dermed fryse til is og resultatet er en hardere snøoverflate.

Hvorfor skjer ikke det samme på veiene?

Når Statens vegvesen kommer med saltbilene sine blir såpass mye salt strødd på veiene at det relativt lille islaget smelter totalt og renner vekk. I skiløypene benyttes det mer bestemte mengder salt slik at bare toppen av snølaget smelter. Akkurat hvor mye salt som burde benyttes i skianleggene er åpent for diskusjon, men opp gjennom årene har arrangører for vinterleker kommet frem til metoder som gjør jobben.

Dette betyr ikke at vi kan alt om salting enda, det testes fortsatt på ulike metoder, saltmengder og til og med ulike typer salt.



[1] Dolnick, S. A Mad Dash for Salt Rescues Olympic Slopes. I: *The New York Times* (2014).

[2] Feistel, R. & Wagner, W. A New Equation of State for H_2O Ice Ih. I: *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 35 (2006).

Vedlegg E Risikovurdering

C:\Users\Daniel\Documents\Bachelor\Risikovurdering

20.05.2019 Side 1 av 3

NTNU	Kartlegging av risikofylt aktivitet	Utarbeidet av	Nummer	Dato	
		HMS-avd.	HMSRV2601	22.03.2011	
HMS		Godkjent av	Side	Erstatter	
		Rektor		01.12.2006	

Enhet: Institutt for materialteknologi **Dato:** 20.05.2019

Linjeleder: Jostein Mårdalen

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): Daniel Korneliussen (student), Sondre Bergtun Auganæs (ansvarlig veileder)

(Ansv. veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)

Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess: Bacheloroppgave Daniel Korneliussen, Salting av skiløyper

Er oppgaven er rent teoretisk? (JA/NEI) Nei



"JA" betyr at veileder innestår for at oppgaven ikke inneholder noen aktiviteter som krever risikovurdering. I dette tilfellet er det ikke nødvendig å fylle ut resten av skjemaet

Er det trygt å utføre arbeidet utenfor normal arbeidstid (8-17)? (JA/NEI) Ja

Signaturer: *Ansvarlig veileder:* Sondre Bergtun Auganæs *Student:* Daniel Korneliussen

ID nr.	Aktivitet/prosess	Ansvarlig	Eksisterende dokumentasjon	Eksisterende sikringstiltak	Lov, forskrift o.l.	Kommentar
1	Provehenting					Hente jord- og snøprøve fra skiløype
2	Preparere dyrkningsmedium (TSA)		Ikke er farlig stoff eller en farlig blanding i henhold til bestemmelse (EF) nr. 1272/2008. Ikke et farlig stoff eller preparat i henhold til EF-direktiv 67/548/EØF eller 1999/45/EF.	Nitrilhansker, vernebriller		
3	Preparere dyrkningsmedium (NaCl)		H319 Gir alvorlig øyeirritasjon. H335 Kan forårsake iritasjon av luftveiene. H315 Irriterer huden. P233 Hold beholderen tett lukket. P280 Bruk vernehansker/verneklær/vernebriller/ansiktsskjerm. P302+P352 VED HUDKONTAKT: Vask med mye såpe og vann. P304+P340 VED INNÅNDING: Flytt personen til frisk luft og sørg for at vedkommende hviler i en stilling	Nitrilhansker, vernebriller		
4	Preparere dyrkningsmedium (Ammoniumnitrat)		H272 Kan forsterke brann; oksiderende. H319 Gir alvorlig øyeirritasjon. P305 + P351 + P338 VED KONTAKT MED ØYNENE: Skyll forsiktig med vann i flere minutter. Fjern eventuelle kontaktlinser dersom dette enkelt lar seg gjøre. Fortsett skyllingen.	Nitrilhansker, vernebriller		
5	Preparere dyrkningsmedium (Urea)		Ikke et farlig stoff eller en farlig blanding i henhold til bestemmelse (EF) nr. 1272/2008.	Nitrilhansker, vernebriller		
	Preparere dyrkningsmedium (Kalsiumklorid)		H319 Gir alvorlig øyeirritasjon. P280 Bruk vernehansker/verneklær/vernebriller/ansiktsskjerm. P305+P351+P338 VED KONTAKT MED ØYNENE: Skyll forsiktig med vann i flere minutter. Fjern eventuelle kontaktlinser dersom dette enkelt lar seg gjøre. Fortsett skyllingen.	Nitrilhansker, vernebriller		
6	Sterilisering av arbeidsplass (Sprit)		H225 Meget brannfarlig væske og damp. H319 Gir alvorlig øyeirritasjon. P210 Holdes vekk fra varme, varme overflater, gnister, åpen ild og andre antenneskilder. Røyking forbudt. P280 Benytt vernebriller/ansiktsskjerm. P305+P351+P338 VED KONTAKT MED ØYNENE: Skyll forsiktig med vann i flere minutter. Fjern eventuelle kontaktlinser dersom dette enkelt lar seg gjøre. Fortsett skyllingen. P337+P313 Ved vedvarende øyeirritasjon: Søk legehjelp. P501 Innhold / beholder leveres til godkjent avfallsbehandlingsanlegg.	Nitrilhansker, vernebriller		
7	Sterilisering av utstyr (Flameboy)					

8	Oppdyrking av mikroorganismer på medier			Nitrilhansker, sterilisering av arbeidsplass før og etter aktivitet		
9	Analyse av oppdyrkede mikroorganismer			Nitrilhansker, sterilisering av arbeidsplass før og etter aktivitet		
10	Målinger av snø					Temperatur, hardhet
11	Salting av snø (NaCl, ammoniumnitrat, urea, kalsiumklorid)		Se 3, 4, 5			

 HMS/IKS	<h2>Risikovurdering</h2>	Utarbeidet av	Nummer	Dato	
		HMS-avd.	HMSRV2603	04.02.2011	
		Godkjent av	Side	Erstatter	
		Rektor		09.02.2010	

Enhet: Institutt for materialteknologi Dato: 20.05.2019

Linjeleder: Jostein Mårdalen

Deltakere ved risikovurderingen (m/ funksjon):

(Ansv. veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)

Daniel Korneliussen (student), Sondre Bergtun Auganæs (ansvarlig veileder)

Risikovurderingen gjelder hovedaktivitet:

Bacheloroppgave Daniel Korneliussen, Salting av skiløyper

Signaturer: Ansvarlig veileder: Sondre Bergtun Auganæs Student: Daniel Korneliussen

ID nr.	Aktivitet/prosess fra kartleggings skjemaet	Mulig uønsket hendelse	Vurdering av sann-synlighet (1-5)	Vurdering av konsekvens				Risiko-verdi (menneske)	Kommentarer/ status Forslag til tiltak
				Menneske (A-E)	Ytre miljø (A-E)	Øk./ materiell (A-E)	Om-dømme (A-E)		
1	Provehenting	Påkjørt i skiløypa	3	A	A	A	A	A3	Være forsiktig
2	Preparere dyrkningsmedium (TSA)	Søle TSA (hud, øyne etc.)	2	A	A	A	A	A2	Ikke være alene på lab
3	Preparere dyrkningsmedium (NaCl)	Søle NaCl (hud, øyne etc.)	2	A	A	A	A	A2	Ikke være alene på lab
4	Preparere dyrkningsmedium (Ammoniumnitrat)	Søle ammoniumnitrat (hud, øyne etc.)	2	A	A	A	A	A2	Ikke være alene på lab
5	Preparere dyrkningsmedium (Urea)	Søle urea (hud, øyne etc.)	2	A	A	A	A	A2	Ikke være alene på lab
	Preparere dyrkningsmedium (Kalsiumklorid)	Søle kalsiumklorid (hud, øyne etc.)	2	A	A	A	A	A2	Ikke være alene på lab
6	Sterilisering av arbeidsplass (Sprit)	Søle sprit (hud, øyne etc.)	2	B	A	A	A	B2	Ikke være alene på lab
7	Sterilisering av utstyr (Flameboy)	Forårsake brann/brannskader	1	D	D	D	D	D1	Ikke være alene på lab, holde flameboy unna personer og brannfarlige stoffer
8	Oppdyrking av mikroorganismer på medier	Oppdyrking/infeksjon av patogene mikroorganismer	2	B	A	A	A	B2	Unngå innånding og direkte kontakt med prøver
9	Analyse av oppdyrkede mikroorganismer	Oppdyrking/infeksjon av patogene mikroorganismer	2	B	A	A	A	B2	Unngå innånding og direkte kontakt med prøver
10	Målinger av snø	Ulykke med drill	1	B	A	B	B	B1	Gjennomføre målinger i et område med få personer
11	Salting av snø (NaCl, ammoniumnitrat, urea, kalsiumklorid)	Søle salt (hud, øyne etc.)	2	A	A	A	A	A2	Ikke være alene, vaske hender

Risikoverdi = Sannsynlighet (1, 2 ...) x konsekvens (A, B ...). Risikoverdi A1 betyr svært liten risiko. Risikoverdi E5 betyr svært stor og svært alvorlig risiko.

Sannsynlighet		Konsekvens					
Verdi	Kriterier	Gradering		Menneske	Ytre miljø: Vann, jord og luft	Øk/materiell	Omdømme
1	Svært liten: 1 gang pr 50 år eller sjeldnere	E	Svært alvorlig	Død	Svært langvarig og ikke reversibel skade	Drifts- eller aktivitetsstans >1 år.	Troverdighet og respekt betydelig og varig svekket
2	Liten: 1 gang pr 10 år eller sjeldnere	D	Alvorlig	Alvorlig personskaade. Mulig uførhet	Langvarig skade. Lang restitusjonstid	Driftsstans > ½ år, aktivitetsstans opptil 1 år	Troverdighet og respekt betydelig svekket
3	Middels: 1 gang pr år eller sjeldnere	C	Moderat	Alvorlig personskaade.	Mindre skade og lang restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 mnd	Troverdighet og respekt svekket
4	Stor: 1 gang pr måned eller sjeldnere	B	Liten	Skade som krever medisinsk behandling	Mindre skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 uke	Negativ påvirkning på troverdighet og respekt
5	Svært stor :Skjer ukentlig	A	Svært liten	Skade som krever førstehjelp	Ubetydelig skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 dag	Liten påvirkning på troverdighet og respekt

MATRISSE FOR RISIKOVURDERINGER ved NTNU

KONSEKVENNS	Svært alvorlig	E1	E2	E3	E4	E5
	Alvorlig	D1	D2	D3	D4	D5
	Moderat	C1	C2	C3	C4	C5
	Liten	B1	B2	B3	B4	B5
	Svært liten	A1	A2	A3	A4	A5
		Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor
SANNSYNLIGHET						

Prinsipp over akseptkriterium. Forklaring av fargene som er brukt i risikomatrisen.

Farge	Beskrivelse
Rød	Uakseptabel risiko. Tiltak skal gjennomføres for å redusere risikoen.
Gul	Vurderingsområde. Tiltak skal vurderes.
Grønn	Akseptabel risiko. Tiltak kan vurderes ut fra andre hensyn.