



# HØGSKOLEN I SØR-TRØNDELAG

Avdeling for teknologi  
Program for kjemi og materialteknikk  
Studieretning Bioteknologi/kjemi

## LITTERATURPROSJEKT

Rapportens tittel:

**Salting i skianlegg**

Utarbeidet av: Heidi Bostad Pallin

Veileder :

Alex Klein-Paste og Lene Østby

Prosjektstart:

31.08.11

Prosjektslutt:

17.10.11

## 1 Forord

Temaet i denne litteraturoppgaven er salting i skianlegg. Skianlegg, både langrennstadioner og alpinanlegg, har jeg benyttet meg mye av gjennom oppveksten min. I tillegg har snø fasinert meg. Dette var mye av grunnen til at jeg ville skrive en litteraturoppgave om dette teamet, da jeg syntes det virket spennende.

Jeg retter en stor takk til min veileder fra NTNU, Alex Klein-Paste, som har stått på og vært behjelpelig. Uten hans hjelp ville denne oppgaven vært umulig å skrive, da det er svært lite litteratur å finne på egen hånd. Takker også for at jeg fikk være deltagende i et lærerikt møte som ble holdt på NTNU, i forbindelse med salting i skianlegg.

Jeg vil også takke min veileder fra HiST, Lene Østby, som har stilt seg til rådighet. Det var også hennes fortjeneste at jeg fikk muligheten til å samarbeide med NTNU om denne oppgaven.

*Heidi Bostad Pallin*

## 2 Sammendrag

### Salting av skianlegg

I et skianlegg er det mye som står på spill. Snøen og snøkvaliteten er anleggets viktigste ressurs. For at et skianlegg skal være attraktivt for besøkende, er man avhengig av gode snøforhold. Ved bruk av kjemikalier kan man kontrollere snøens hardhet dersom meteorologene melder mildere temperaturer. Salting av snø er en viktig faktor i et skianlegg, da mildt vær kan føre til våt sørpesnø i bakkene og vanskelige kjøreforhold.

Det finnes ulike typer kjemikalier som kan tilsettes snølaget for å få en hardere effekt, men det er noen forutsetninger for en optimal virkning. Salt blir tilsatt snøen for å senke temperaturen i det øverste laget, noe som fører til at snøstyrken øker.

Snøkornenes vanninnhold og lufttemperaturen er vesentlige faktorer som spiller inn på effekten av saltet. I litteraturen ble tilsetning av NaCl og  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  testet ut ved ulike snøtyper og forskjellige lufttemperaturer. Det ble funnet at NaCl gir best virkning på våt snø (5 % vanninnhold) og varm luft (1,3 °C), mens  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  gir best resultat i tørr snø (1 % vanninnhold) og kald luft (0,3 °C).  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  resulterte i høyere snøstyrke enn NaCl.

Grunnen til at temperaturen synker i en blanding av salt og snø, er en sammenheng mellom en frysepunktdepresjon av vannet og den endoterme faseovergangen fra is til vann. Dette fører til at varme stiger oppover i snøen fra de nederste snølagene, noe som medfører at snøkornene i de nederste lagene fryser sammen. Dette resulterer i at snølaget styrkes og blir hardere.

### 3 Abstract

The use of salt in pistes

The use of snow and its quality is an important asset for pistes. It is important that the costumers are pleased with the offer. However, when the meteorological conditions make it difficult to achieve the perfect snow cover, it is possible to apply snow hardeners. These snow hardeners make it possible to control the strength of the snow cover.

There are different kinds of snow hardeners that can be used to increase the snow strength. Salt can be applied to decrease the temperature in the upper snow layer. This will increase the strength of the snow cover. But there are several factors that have an impact on the effect of the salt, for instant the snow-watercontent of the grains and the temperature in the air. NaCl and  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  were tested on different kinds of snow layers and temperatures. On the one hand, NaCl used as a snow hardener in wet snow with a high snow-watercontent (5 %) and warm air (1, 3 °C), would give the best results. On the other hand,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  in dry snow with a low snow-watercontent (1 %) and cold air (0, 3 °C), would give the best result.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  would make the snow cover increase in strength compared to NaCl.

The reason why the temperature in a solute of salt and snow decreases is because of the freezing point depression and the endothermic transition from ice to water. Warmth rises from the lower layers in the snow and the snow grains freezes together. Because of the freezing grains the strength in the snow cover increases.

## Innholdsfortegnelse

1	Forord.....	2
2	Sammendrag.....	3
3	Abstract.....	4
4	Innledning.....	6
5	Teori.....	7
5.1	Hva skjer med snøen ved tilførsel av salt?.....	8
5.2	Kjemikalier.....	10
5.3	Hypoteser.....	11
5.4	Forsøk med ulike kjemikalier.....	11
6	Diskusjon.....	14
7	Konklusjon.....	15
8	Litteraturreferanser.....	16

## 4 Innledning

Snø og snøkvalitet spiller en viktig rolle i et skianlegg. For at et skirenn skal kunne gjennomføres er man avhengig av at snøen holder seg stabil. Dette er ikke alltid like enkelt da det er flere faktorer som spiller inn på snøens kvalitet. Blant annet snøens tetthet, bindingene mellom snøkornene, temperaturen i snøen og i omgivelsene, og vanninnholdet i snøkornene.

Ulike metoder for å gjøre snøens overflate hard er et omdiskutert tema, der mye fortsatt er uklart, både innenfor mekanismen og hvilke reaksjoner som er aktuelle i de ulike prosessene. Ved å tilføre salt til snøen vil man kunne få en hardere overflate. Forskjellige typer salter kan brukes ved ulike behov. Det mest brukte saltet er NaCl, noe som skyldes enkel i bruk, og lett tilgjengelig.

Hensikten med oppgaven var å utføre litteratursøking for å få oversikt over eksisterende studier og dagens forståelse for hvordan salt kan brukes som et hardningsmiddel i skianlegg. Det er fortsatt mange spørsmål knyttet til bruken av salt som et kjemikalie for å styrke snølaget. Blant annet hvordan det virker, i hvilket tidsrom det bør tilføres, og når man bør tilføre de ulike typer av saltene.

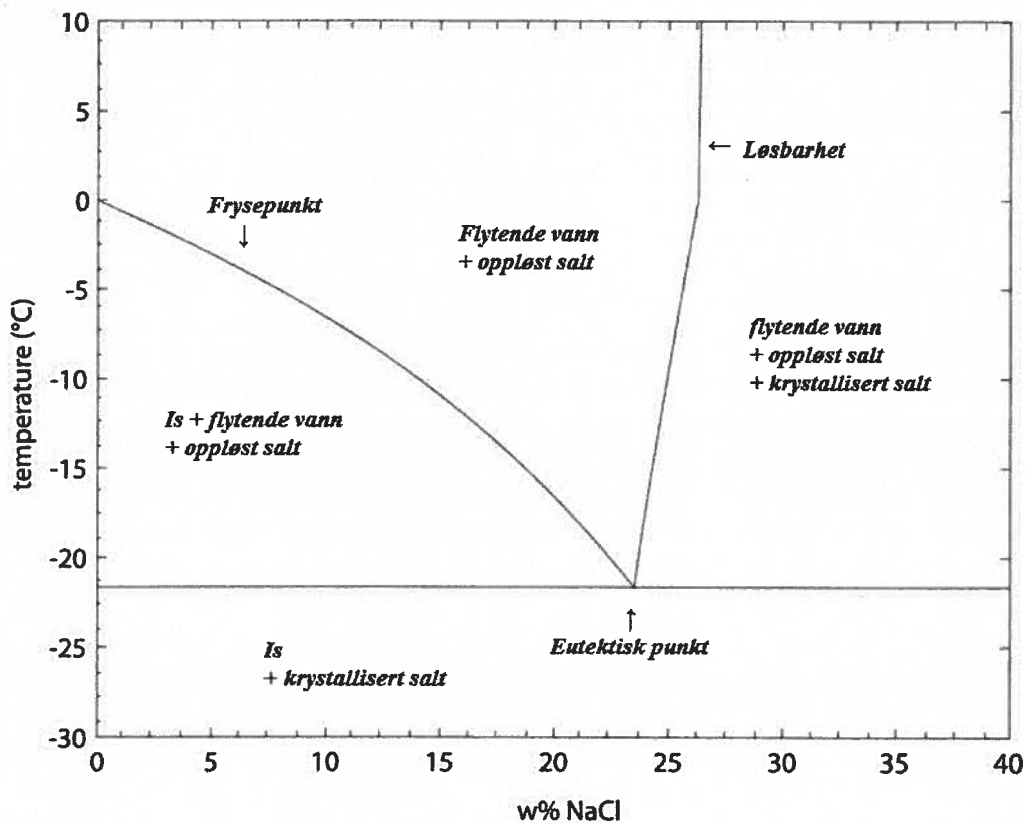
I litteratursøkingen ble det benyttet internett, databaser (science direct, scifinder og google scholar) og søking i innholdsfortegnelse av konferanse "snow engineering". På internett og databaser ble søkeordene "snow hardeners", "salt and snow", "Artificial snow", "hardening", "snow preparation", "salt" og "preparation of pistes" benyttet. På grunn av at lite tilgjengelig litteratur, ble det utgitt noen forskningsrapporter fra veileder som kunne disponeres. Det er derfor benyttet få kilder i litteraturoppgaven.

Oppgaven går ut på å finne mekanismen og reaksjonene som skjer når salt blir tilført snøen.

## 5 Teori

Ved preparasjon i skianlegg må man alltid sørge for at det øverst "baselaget" i snøen er hardt. Det er derfor viktig at det er en homogen overflate, slik at snølaget ikke blir ødelagt. For å holde snølaget hardt tilføres ulike kjemikaler til snøen. Disse kjemikaliene bør tilføres med eksakt mengde for å få lavest mulig temperatur i snøen og derav best resultat for styrken av snølaget. [1]

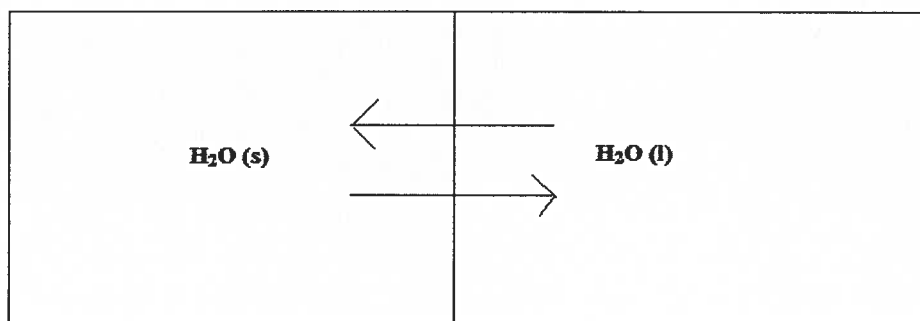
Et av de mest brukte saltene er natriumklorid, NaCl. Ved tilførsel av NaCl blir snøens frysepunkt senket. Dette er på grunn av at saltet og snøvannet får kolloidative egenskaper. Som vist på figur 1 ser man fasediagrammet for NaCl i H<sub>2</sub>O. Ved 0 °C vil rent vann fryse til is, men på grunn av salttilførselen senkes frysepunktet til blandingen til -21,3 °C. I det eutektiske punktet vil den flytende blandingen gå over til to faste faser, i dette tilfellet is og krystallisert salt. Det er på dette tidspunktet at snølaget blir styrket.



Figur 1 Fasediagram for NaCl i H<sub>2</sub>O [6]

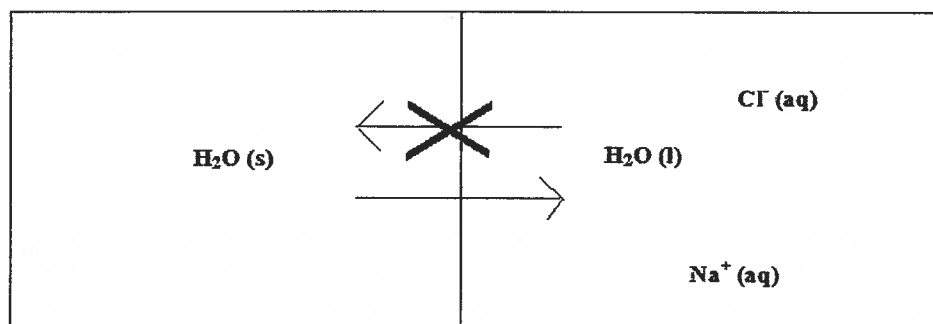
## 5.1 Hva skjer med snøen ved tilførsel av salt?

Som vist på figur 2, vil faseovergangen mellom blandingen av snø og rent vann være i likevekt ved 0 °C. Det vil si at det kreves like mye varme for at reaksjonen for  $\text{H}_2\text{O}(\text{s})$  skal gå over til  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ , som det produseres ved at reaksjonen for  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  går til  $\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ . [4]



Figur 2 Likevekten mellom  $\text{H}_2\text{O}(\text{s})$  og  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  ved 0 °C.

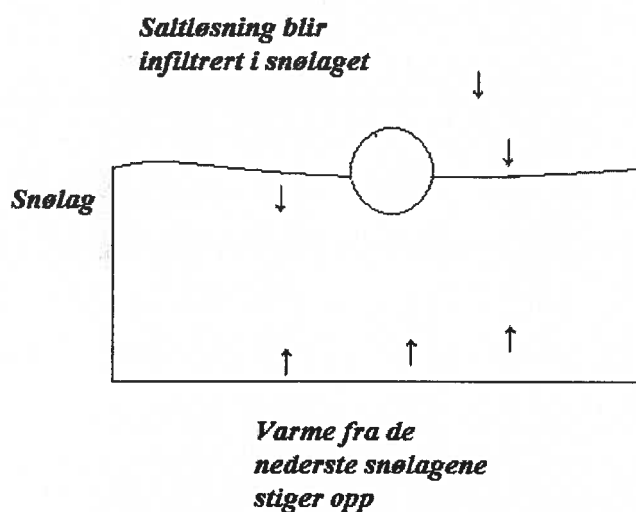
Ved tilførsel av salt til snøen oppstår det en frysepunktdepresjon. Saltets ioner blir løst opp og fordelt i vannet. På grunn av at frysepunktet i blandingen av salt og snø senkes, vil ikke  $\text{H}_2\text{O}$  i flytende form kunne gå over til  $\text{H}_2\text{O}$  i fast form, som vist på figur 3. Reaksjonen der  $\text{H}_2\text{O}(\text{s})$  går over til  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  vil derimot kunne fortsette å gå, selv om salt blir tilsatt. Denne faseovergangen er endoterm og krever varme for å kunne gå. [4]



Figur 3 Likevekten til vannet forskyves etter tilførsel av saltet. Det er kun den endoterme reaksjonen for  $\text{H}_2\text{O}(\text{s})$  til  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  som går. Dette skyldes frysepunktnedsettelse ved tilførsel av saltet.



Som vist på figur 4, vil den endoterme faseovergangen mellom  $H_2O$  (s) og  $H_2O$  (l) få tilført varme fra de nederste lagene i snøen. Varme stiger oppover i snømatrixen og tilfører reaksjonen den varmen den trenger for å kunne gå. De nederste snølagene vil ikke inneholde salt på dette tidspunktet, noe som medfører at snøtemperaturen synker etter avgitt varme. Snøkornene i de nederste snølagene vil derfor fryse sammen og danne et hardt snølag. På grunn av at saltet blir tilført snøen i det øverste snølaget, vil denne delen inneholde en høy konsentrasjon av saltløsningen. Men, på grunn av at det skjer en frysepunktnedsettelse ved tilførselen av saltet, vil ikke dette laget kunne fryse ved de samme temperaturene som de nederste snølagene, da denne saltløsningen har et frysepunkt på  $-21,3$  °C. [4] I følge litteraturen vet man ikke sikkert hva som skjer med det øverste snølaget etter tilførsel av salt, men i følge Schneebeli [4] vil det øverste laget fryse til is etter en stund.



**Figur 4** Ved tilførsel av salt vil varme fra de nederste snølagene stige oppover i snømatrixen. Grunnen til det er at den endoterme reaksjonen mellom  $H_2O$  (s) og  $H_2O$  (l) krever varme.

## 5.2 Kjemikalier

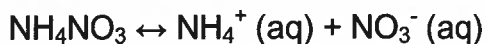
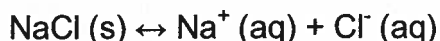
Ved tilførsel av ulike kjemikalier i snø er det en del forutsetninger man må ta hensyn til, da de ulike kjemikaliene har forskjellig virkemåte. Som vist i tabell 1, ser man at de ulike kjemikalienes sluttemperatur varierer, noe som gjør at de egner seg til forskjellig bruk. De mest brukte kjemikaliene i forbindelse med salting i skianlegg er natriumklorid (NaCl), kalsiumklorid (CaCl) og ulike nitrogenforbindelser som ammoniumnitrat (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). [2]

Tabell 1 Sluttemperaturen til snø ved ulike saltblandinger. [1]

Blanding	Forhold	Slutt temperatur (°C)
NaCl/is (-1 °C)	33:100	- 21,3
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /vann (13,6 °C)	60:100	- 26,8
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> /is (0 °C)	14:100	- 13,6
CaCl * 6H <sub>2</sub> O/is (0 °C)	81:100	- 21.5
CaCl * 6H <sub>2</sub> O/is (0 °C)	143:100	- 55

Disse kjemikaliene har forskjellig innvirkning på snølagets hardhet. Faktorer som spiller inn er lufttemperatur, snøens vanninnhold og konsentrasjonen av saltløsningen. Salter som NaCl og NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> har den effekten i en blanding med is eller vann at temperaturen i snøen senkes. Men denne endringen vil ikke være konstant. En kort periode etter tilførsel av saltet vil temperaturen i snøen begynne å stige. Dette fører til at snøens hardhet gradvis avtar, og snølaget blir mykere. Dersom dette skjer under et skirenn, kan det få store konsekvenser. I en skikonkurranse bør kjemikalet NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> tilføres 3-6 timer før start for at det skal være optimale forhold i løypa. For å få best effekt av kjemikallet på snølaget bør snøen være tørr og luften varm. "PTX312 speedy" og "Bretzelsalt" er to kjemikalier som begge inneholder NaCl. Disse stoffene bør derimot tilføres snøen like før et skirenn, da de har en kortvarig virkning på snøens hardhet. Snøen bør ved tilførsel av disse saltene ha et høyt vanninnhold. [4].

Den kjemiske dissosiasjonsreaksjonen for NaCl og NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> er:



### 5.3 Hypoteser

Det finnes ulike hypoteser om hvilken innvirkning salt har på snøen. Schneebeilis [4] hypoteser kan deles inn i tre deler:

1) *"Tilførselen av ulike kjemikalier på overflaten av snø med definerte kornstørrelser, vanninnhold og temperaturer, fører til forskjellig effekt på snøens temperatur og til sist endringer i snøstyrken". [4]*

2) *"Virkningen av et kjemikalie avhenger av mengde som blir tilført snølaget, i tillegg til lufttemperatur og de termiske forskjellene til sammensetningen". [4]*

3) *"Tilførsel av vann etter at et kjemikalie er påført snølaget vil ha en virkning på snøens hardhet". [4]*

Flere forsøk ble gjennomført på bakgrunn av de ulike hypotesene, og det ble funnet at temperaturen i snøen etter tilførsel av ulike kjemikalier holdt seg omtrent like i alle forsøkene. Snøtemperaturen uten kjemisk tilsetning holdt seg på 0 °C. [4]

### 5.4 Forsøk med ulike kjemikalier

Kjemikalier ble påført tørr snø (1 % vanninnhold), i en romtemperatur på -4 °C. Ved NaCl tilførsel kunne man registrere at temperaturen i snølaget minket, noe som resulterte i en høyere kuldeeffekt i snøen. Det samme ble gjort med NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, men sammenlignet med NaCl ble ikke temperaturendringene like store. NaCl hadde et lite maksimum observert 60 minutter etter at snølaget ble påført kjemikalie. Hardheten i

snøen nådde da en dybde mellom 4-6 cm. 6 timer senere ble to andre maksimum registrert, disse maksimumene var i en snødybde på 6 cm og 10 cm. Både PTX312 og Esco Bretzelsalt er to kjemikalier som begge inneholder NaCl. Ved tilførsel av en høy dose av PTX312 ( $120 \text{ g/m}^2$ ) i våt snø (5 % vanninnhold) kunne man registrere at temperaturen i snølaget sank. I tillegg fikk snølaget et lavere temperaturminimum enn tilsvarende mengde Esco Bretzelsalt. [4].

$\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Amnitra) ble tilført som kjemikalie i tørr snø med en lufttemperatur på  $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ti minutter før tilførsel av kjemikaliet var snøens motstandskraft uavhengig av dybde, men 30 minutter etter tilførsel av  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  hadde snøens motstandskraft økt med en dybde på 2 cm. Dette var ved tilførsel av kjemikaliet uten vanntilførsel. Snøens maksimale styrke ble observert etter 60 minutter og 120 minutter, der det ble målt en dybde på 6-8 cm i snølaget. Snøstyrkens maksimum ble nådd etter 3 timer. Etter at  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  hadde virket i 6 timer ble det observert to maksimum i snøens motstandskraft. Det ene maksimumet var mellom 1-5 cm dypt, og det andre maksimumet mellom 6-10 cm dypt. Vann ble deretter påført snølaget etter at  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  hadde begynt å virke. Sammenlignet med snøens hardhet før tilsats av vann, ble det påvist en liten økning i snøstyrken ved vanntilførsel. [4]

Sammenhengen mellom snøens hardhet og temperaturen i snøen, kan beskrives ved hjelp av følgende likning:

$$H = -0,28T + 1,2$$

Der H er snøens hardhet og T er temperaturen til snøen. [3]

Et annet forsøk ble utført med kjemikaliet NaCl. I forbindelse med en snøfestival i Japan i begynnelsen av mai, ble det laget en snøpyramide. På grunn av årstiden var det varmt i været, noe som medførte at temperaturene ikke var optimale for at snøen skulle holde seg kald. Det var derfor nødvendig å tilføre kjemikalier for å unngå at snøpyramiden raste sammen. Etter tilførsel av NaCl ( $500 \text{ g/m}^2$ ) hadde hardningen av snøen et maksimum 10 minutter etter spredningen av kjemikaliet. Ti minutter senere ble hardheten i snølaget gradvis svekket. Denne styrken tilsvarte at snøen ble 50 ganger så hard som den var uten tilførselen av saltet. Etter  $3 \frac{1}{2}$  time ble NaCl

(500g/m<sup>2</sup>) på nytt tilført snøpyramiden. Hardningen av snøen hadde også nå et maksimum 10 minutter etter spredning, men denne gangen var snøen 1,6 ganger så hard som den var uten tilførsel av saltet. [3]

I et eksperiment ble NaCl (300g/m<sup>2</sup>) fordelt utover en snøblokk (20 x 20 x 20 cm) i et rom med temperaturer på -6,0 °C og 5 °C. Temperaturen til snøen ble målt med et termometer lokalisert 1 cm og 5 cm under snøblokkens overflate. Snøens hardhet ble målt med en belastningscelle. Ti minutter etter spredningen av NaCl hadde snøen en minimumstemperatur 1 cm under overflaten. Etter 10 minutter økte temperaturen gradvis i snøen. Snøtemperaturen 5 cm under overflaten holdt derimot den samme verdien i 10 minutter, før temperaturen gradvis sank til romtemperaturen på 0 °C. Hardheten var omtrent den samme for snøen med temperaturer på -6,0 °C og 5 °C. Snøens hardhet hadde også her et maksimum 10 minutter etter spredning, før hardheten avtok. [3]

Forsøkene viser at vanninnholdet i snøen og lufttemperaturen har en merkbar innvirkning på løsningsens evne til å fordele seg i snøen. Dersom man tilsetter en høyere dose (120 g/m<sup>2</sup>) av kjemikaliet vil dette medføre en økning i løsningsens konsentrasjon, som igjen vil være merkbar i snøens dybde. I tillegg har vanninnholdet i snøkornene en innvirkning på infiltreringens dybde. Dersom det er våt snø (5 % vanninnhold) og varm luft (1,3 °C) vil løsningen trenge lengre ned i snølagene enn i tørr snø (1 % vanninnhold) og kald luft (0,3 °C), der det meste av løsningen blir akkumulert i de øverste snølagene. [4]

## 6 Diskusjon

Ved å sammenligne forsøkene gjort med de ulike kjemikaliene, framkommer det at NaCl gir best resultat i våt snø og varm luft, mens  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  gir best resultat i tørr snø og kald luft. [4] Grunnen er at de ulike kjemikaliene reagerer forskjellig ved kontakt med vann og luft. I forsøkene utført av Schneebeli [4] er det flere faktorer man bør ta hensyn til. Dette er forsøk som er utført i laboratorier der temperaturen er konstant under hele prosessen. I tillegg har snøen som forsøkene blir utført på et kjent vanninnhold i snøkornene. Dersom disse forsøkene blir utført i et skianlegg med skiftende temperaturer og snøforhold, kan utslagene bli noe annerledes i forhold til kjemikalienes hardhetseffekt. Forholdene vil da ikke lenger være optimale for det aktuelle kjemikaliet, noe som kan påvirke resultatet.

I og med at det er lite litteratur å finne om det aktuelle temaet, blir det meste av teorien basert på få kilder. Dette kan sees på som en feilkilde, da det ikke er mulighet for sammenligning mellom ulike teorier og forsøk fra de forskjellige kildene. Rapporten fra Schneebeli [4] blir derfor brukt en del under litteraturoppgaven, da denne var mest utfyllende og beskrivende. Denne rapporten omfatter i tillegg store deler av temaet for litteraturoppgaven.

I forbindelse med et møte arrangert på NTNU der temaet var salting av skianlegg, kom det frem hvordan saltingen skjer i praksis. Kjemikalet, som i dette tilfellet var NaCl, ga best resultat ved tilførsel på grovkornet snø. Snøkorn som er grovkornet inneholder større mengde vann enn finkornet snø. [6] Dette viser at forsøkene utført av Schneebeli [4] der NaCl ble tilsatt i våt snø, stemmer godt overens med bruken av salt i praksis.

I følge Schneebeli [4] ville det øverste laget i snøen fryse til is etter tilførsel av saltet. Dette er ikke tilfellet i praksis. Ved tilførsel av NaCl i et skianlegg vil det øverste laget, som gjennomgår en frysepunktdepresjon på grunn av tilført salt, legge seg som et sørpelag over isen som er blitt fryst. Dette sørpelaget må derfor fjernes for at det harde snølaget skal komme frem. [6]

## 7 Konklusjon

Det ble benyttet ulike kjemikalier for å øke styrken i snølaget. I litteraturen ble NaCl og  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  testet ut ved ulike snøtyper og forskjellige lufttemperaturer. Det ble funnet at NaCl gir best virkning på våt snø (5 % vanninnhold) og varm luft (1,3 °C), mens  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  gir best resultat i tørr snø (1 % vanninnhold) og kald luft (0,3 °C).  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  resulterte i høyere snøstyrke enn NaCl.

## 8 Litteraturreferanser

[1] Fauve, M., Hansueli, R., Schneebeli, M: Preparation and maintenance of pistes- Handbook for practitioners, Sveits, Swiss federal institute for snow and avalanche research, 2002.

[2] Gray, D.M., Male, D.H., Handbook of snow-Principles, processes, management and use, Canada, Pergamon Press Canada Ltd., 1981, s.720

[3] Hjorth-Hansen, Holand, Løset og Norem, Snow Engineering-Recent advances and developments, Nederland, Balkema, 2000, s. 99-103

[4] Schneebeli, M., Mani, O., Michlmayr, G., Rhyner, H., Rixen, C.: Mechanism and effect of snow hardeners on the snow cover of a ski piste, Sveits, Upublisert. Utdelt av veileder

[5] Kürschner, P., Mäki-Marttunen, T., Vestergaard, S., Wandl, S.: Modelling and simulation of ice/snow melting, Nederland, 2008. Utdelt av veileder

[6] Klein-paste, Alex., NTNU, Møte, salting i skianlegg, 03.10.11