



# Vinterdrift av høytrafikkerte veger ved lave temperaturer

Litteraturundersøkelse

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 568



**Tittel**

Vinterdrift av høytrafikkerte veger ved lave temperaturer

**Undertittel**

Litteraturundersøkelse

**Forfatter**

Åsmund Holen

**Avdeling**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

**Seksjon**

Vegteknologi

**Prosjektnummer**

603816

**Rapportnummer**

Nr. 568

**Prosjektleder**

Kai Rune Lysbakken

**Godkjent av**

Øystein Larsen

**Emneord**

vinterdrift, salting, lave temperaturer, høytrafikkert vegnett

**Sammendrag**

Denne rapporten tar for seg en litteraturundersøkelse som er gjort i delprosjekt Vinterdrift av høytrafikkerte veger ved lave temperaturer under Etatsprogram Vinterdrift (EVI).

**Title**

Winter maintenance of high traffic volume roads in low temperatures

**Subtitle**

Literature study

**Author**

Åsmund Holen

**Department**

Traffic Safety, Environment and Technology Department

**Section**

Vegteknologi

**Project number**

603816

**Report number**

No. 568

**Project manager**

Kai Rune Lysbakken

**Approved by**

Øystein Larsen

**Key words**

winter maintenance, salting, low temperature conditions, high traffic volume roads

**Summary**

In the Norwegian Public Road Administration (NPRA) research and development program Winter Maintenance, in subproject Winter maintenance of highly trafficked roads at low temperatures, a literature survey is conducted on the topic of winter maintenance of highly trafficked roads at low temperatures.



**Vinterdrift av høytrafikkerte veger  
ved lave temperaturer**

## **Litteraturundersøkelse**

---

ViaNova Plan og Trafikk AS  
Mars 2017

<b><i>Oppdragsrapport</i></b>	
<b>Vinterdrift av høytrafikkerte vegger ved lave temperaturer</b> <b>Litteraturundersøkelse</b>	
Oppdragsgiver	Statens vegvesen Vegdirektoratet
Oppdragsgivers referanse	Navn Kai Rune Lysbakken <a href="mailto:kai-rune.lysbakken@vegvesen.no">kai-rune.lysbakken@vegvesen.no</a>  Statens vegvesen Vegdirektoratet Abelsgate 5 7033 Trondheim  Telefon: 02030
Rapport-type	Oppdragsrapport
Prosjektnr./navn	VN PT – 20515
Rapportdato	2017-03-15
Oppdragsansvarlig	Åsmund Holen <a href="mailto:asmund.holen@vianova.no">asmund.holen@vianova.no</a>
Utarbeidet av	Åsmund Holen <a href="mailto:asmund.holen@vianova.no">asmund.holen@vianova.no</a>
Oppdragsgruppe	Åsmund Holen Marte Granden Johnny M Johansen
Rapportens formål	Denne rapporten oppsummerer resultater fra litteraturundersøkelse knyttet til kjemikaliebruk ved lave temperaturer fra delprosjekt <i>Vinterdrift av høytrafikkerte vegger ved lave temperaturer</i> under <i>Etatsprogram Vinterdrift (EVI)</i> .
<b>ViaNova Plan og Trafikk AS</b> Leif Tronstads plass 4 Postboks 434, 1302 SANDVIKA E-post: <a href="mailto:vnpt@vianova.no">vnpt@vianova.no</a> Tlf: 67 81 70 00	

## Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>Summary</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Utførelse av litteratursøk</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Vinterdrift ved lave temperaturer - funn i litteratur</b> .....	<b>9</b>
3.1 <i>Aktuelle referanser</i> .....	9
3.1.1 Snow removal at extreme temperatures.....	10
3.1.2 Improving the Freight Transportation Roadway System during Snow Events: A Performance Evaluation of Deicing Chemicals.....	12
3.1.3 Highway Winter Maintenance Operations at Extremely Cold Temperatures	15
3.1.4 Wet pavement anti-icing – A physical mechanism .....	17
3.1.5 Improving the Performance of Road Salt on Anti-Icing .....	17
3.1.6 Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By- Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products .....	17
3.1.7 Håndbog Tømidler Drift (Tømiddelhåndboken).....	21
3.2 <i>Aktuelle temperaturområder for kjemikalier fra øvrige referanser</i> .....	22
<b>4. Andre kilder</b> .....	<b>23</b>
4.1 <i>Svar fra Snow-Ice-list og erfaringer fra MTO</i> .....	23
4.2 <i>Direkte søk mot noen vegforvaltningers web-sider</i> .....	24
4.2.1 Massachusetts Department of Transportation.....	24
4.2.2 Minnesota Department of Transportation.....	25
4.2.3 Ministry of Transportation - Ontario.....	25
<b>5. Sand befuktet med saltløsning</b> .....	<b>25</b>
<b>6. Konklusjoner</b> .....	<b>27</b>
<b>7. Referanser</b> .....	<b>28</b>
<b>Vedlegg – Litteraturoversikt</b> .....	<b>30</b>

## Sammendrag

I Etatsprogram vinterdrift (EVI) under delprosjektet Vinterdrift av høytrafikkerte vegger ved lave temperaturer er det gjennomført en litteraturundersøkelse innenfor temaet vinterdrift av høytrafikkerte vegger ved lave temperaturer.

Studiet er basert på følgende litteratursøk:

- Søk i databasene til Statens vegvesens bibliotek
- Søk i Google Scholar
- Forespørsel til medlemmer av SNOW-ICE Listserv (universitetet i Iowa)
- Informasjon fra vegforvaltningene i Ontario, Massachusetts og Minnesota
- Rapporter fra andre kilder som ble identifisert under arbeidet

Søket ga etter en grovsortering etter sannsynlig relevans for temaet 37 referanser. Disse ble gjennomgått og innholdet ble nærmere beskrevet. Denne gjennomgangen identifiserte 7 referanser som ble ansett som direkte relevante med innhold knyttet til vinterdrift ved lave temperaturer. Disse 7 referansene, som stammer fra USA, Canada, Danmark og Norge, utgjør hovedgrunnlaget for studiens konklusjoner.

Studien viser at det gis sprikende anbefalinger for kjemikaliebruk ved lave temperaturer. Noen kilder anbefaler at laveste temperatur for kjemikaliebruk er  $-9$  -  $-11^{\circ}\text{C}$  og anbefaler bruk av sand ved lavere temperaturer. Andre kilder beskriver bruk av kjemikalier ned til  $-18^{\circ}\text{C}$ . I noen svært kalde områder beskrives krav til at saltløsningen må ha eutektisk temperatur helt ned til  $-35^{\circ}\text{C}$ , dvs. atskillig lavere enn eutektisk temperatur for NaCl, for å unngå at saltløsningen fryser på lagringstank. Dette kan oppnås ved å bruke  $\text{MgCl}_2$  eller  $\text{CaCl}_2$  som befuktningssvæske (eutektisk temperatur på hhv  $-33^{\circ}\text{C}$  og  $-50^{\circ}\text{C}$ ).

Det gis advarsler om at bruk av  $\text{MgCl}_2$  og  $\text{CaCl}_2$  kan gi glatt veg (fuktig vegbane, fare for tilfrysing pga disse saltenes hygroskopiske egenskaper) og disse stoffene bare bør brukes ved lav luftfuktighet.

NaCl er omtalt som det mest kostnadseffektive kjemikaliet i flere kilder.

Landbruksbaserte produkter rapporteres i noen kilder å ikke ha virkning i form av at det senker frysepunkt for saltblandingen, mens andre kilder angir at slike produkter senker frysepunktet for NaCl-løsninger. Det gis også motstridende anbefalinger mht bruk ved lave temperaturer, fra at de ikke bør brukes ved temperatur under  $-11^{\circ}\text{C}$  til informasjon om at produktene fungerer ved lavere temperaturer.

I rapporten «Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By-Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products» av Fay et.al ved Montana State University rapporteres det at agro-baserte produkter både i blanding med NaCl-løsning, og i form av produkter som ikke blandes med NaCl-løsning, har følgende egenskaper:

- lavere frysepunkt enn ren NaCl-løsning
- forsinket tilfrysing ved snøvær eller fallende temperatur og dermed gir bedre friksjon på vegen
- effektive også ved lavere temperatur enn  $-15^{\circ}\text{C}$
- reduserer binding mellom dekkeoverflate og snø/is (bedre brøyting)
- gir lenger varighet av tiltakene bl.a. pga større viskositet
- noen produkter har også bedre smeltekapasitet enn NaCl-løsning

Rapporten bygger på en omfattende lab-undersøkelse kombinert med bred erfaringsinnhenting gjennom litteraturstudium og nasjonal spørreundersøkelse. Dette arbeidet framstår som så grundig at det pr i dag er grunn til å tillegge resultatene vekt når det skal vurderes effekter av agrobaserte produkter ved lave temperaturer.

Arbeidet og resultatene viser at det er interessant å gå videre med nye undersøkelser knyttet til funnene om at agro-baserte stoffer har egenskaper som gir lenger varighet av tiltak og muligheter for bruk ved lavere temperaturer. I slike undersøkelser bør det tas med i betraktningen at det kan være annet saltinnhold ( $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ) i agro-mixene som bedrer frysepunkt og smeltekapasitet, mens karbohydratinnholdet er det som øker viskositeten og bidrar til forlenget varighet på vegen.

## Summary

In the Norwegian Public Road Administration (NPRA) research and development program "Winter Maintenance", in subproject "Winter maintenance of highly trafficked roads at low temperatures", a literature survey is conducted on the topic of winter maintenance of highly trafficked roads at low temperatures.

The study is based on the following literature:

- Search in databases at NPRA library
- Search with Google Scholar
- Request to members of SNOW-ICE Listserv (University of Iowa)
- Information from road administrations in Ontario, Massachusetts and Minnesota
- Reports from other sources that were identified during work

The search gave 37 references, with a fair degree of relevance to the topic. These references were reviewed and the contents were described. This review identified 7 references that were considered directly relevant to the topic with contents closely related to winter maintenance at low temperatures. These 7 references, which originate from the US, Canada, Denmark and Norway, constitute the basis for the study's conclusions.

The study shows contradictory recommendations for the use of chemicals at low temperatures. Some sources recommend that the lowest temperature for chemical use is  $-9$  to  $-11^{\circ}\text{C}$  and recommends the use of sand at lower temperatures. Other sources allow the use of chemicals down to  $-18^{\circ}\text{C}$ . In extremely cold regions, described requirements are that the brine must have eutectic temperatures down to  $-35^{\circ}\text{C}$ , ie considerably lower than the eutectic temperature of NaCl, in order to avoid that the brine will freeze in the storage tank. This can be achieved by using  $\text{MgCl}_2$  or  $\text{CaCl}_2$  brine as wetting agent (eutectic temperature of respectively  $-33^{\circ}\text{C}$  and  $-50^{\circ}\text{C}$ ).

Warnings are given that use of  $\text{MgCl}_2$  and  $\text{CaCl}_2$  can provide slippery roads (wet roadway, danger of freezing because of the hygroscopic properties) and these chemicals should only be used when air humidity is low.

NaCl is referred to as the most cost effective chemical in several sources.

Agricultural products are reported in some sources to have no effect in lowering the freezing point of the salt brine, but other sources indicate that such products lowers the freezing point of NaCl solutions. It is also given contradictory recommendations regarding the use at low temperatures, from that such products should not be used at temperatures below  $-11^{\circ}\text{C}$  and to that the products work at lower temperatures.

In the report entitled "Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By-Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products" by Fay et.al at Montana State University, it is reported that agro-based products both in mixture with NaCl brine, and as products not mixed with NaCl brine, have the following characteristics:

- lower freezing point than NaCl brine
- delayed freezing by snow precipitation or falling temperatures and thus providing better friction on the road
- effective at lower temperatures than  $-15^{\circ}\text{C}$



- reduces bond between asphalt surface and snow/ice (gives improved effect of plowing)
- longer duration of the measures taken, among other things due to its higher viscosity
- some products also have better melting capacity than NaCl solution

The report is based on extensive lab-examination combined with a broad experience collected through literature study and national survey. These efforts appear to be so thorough that there is reason to ascribe the results weight when determining the effects of agro-based products used at low temperatures. The work and results show that it is interesting to go ahead with new investigations relating to the findings that the agro-based compounds have properties which provide longer duration on the road and a potential for use at lower temperatures. Anyway, it should be taken into account that it may be the chloride content (from  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$  e.g.) in the agro-mixtures that lower the freezing point and improves the melting capacity, while the carbohydrate content increases the viscosity and thus the longevity on the road.

## 1. Innledning

Etatsprogram vinterdrift (EVI) er et fireårig forsknings- og utviklingsprogram som ble startet opp i januar 2013. Programmet er delt inn i fire arbeidspakker:

1. Salting og kjemikalier
2. Friksjon og vegbaneforhold
3. ITS og beslutningsstøtte
4. Metodeutvikling

Delprosjekt *Vinterdrift av høytrafikkerte veger ved lave temperaturer* inngår i Etatsprogram vinterdrift under arbeidspakke 1.

Høytrafikkerte veger driftes om vinteren blant annet med bruk av NaCl. Ved høye trafikkmengder har sand begrenset effekt og vil normalt ikke være et alternativ for friksjonsforbedring. NaCl har begrensninger med hensyn til temperatur. Normalt temperaturområde for bruk av salt sies ofte å være ned til -10 til -12°C. På høytrafikkerte veger er det dermed i vinterdriften en utfordring i perioder med lave temperaturer. Dette notatet dokumenterer en begrenset litteraturundersøkelse innenfor temaet anti-ising ved lave temperaturer.

I arbeidet med *Vinterdrift av høytrafikkerte veger ved lave temperaturer* inngår også:

- "beste praksis"-undersøkelse (spørreundersøkelse og dybdeintervjuer)
- case-studie av vinterdrift på en strekning
- felt-/driftsforsøk for utprøving av «funn» fra øvrige deloppgaver (ikke gjennomført ennå)

Alle deloppgavene skal ved prosjektperiodens slutt rapporteres i en sluttrapport for *Vinterdrift av høytrafikkerte veger ved lave temperaturer* som omfatter resultatene fra arbeidene/undersøkelsene som er gjort både i Norge og Sverige.

## 2. Utførelse av litteratursøk

Statens vegvesens bibliotek gjorde et litteratursøk i sine databaser med følgende søkeord:

- Deicing + low temperatures
- Antiicing + low temperatures  
(Det brukes både deicing og de-icing, antiicing og anti-icing)
- Winter maintenance + low temperatures
- Snow and ice control + low temperatures
- Calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>) + low temperatures
- Magnesium chloride (MgCl<sub>2</sub>) + low temperatures
- SafeCote + low temperatures
- Caliber + low temperatures
- Agricultural By-Products + low temperatures
- Salt additives + low temperatures
- Additives to salt + low temperatures

Dette resulterte i treff på 14 referanser.

Søket ble supplert med egne søk i Google Scholar med følgende søkestreng:

*road OR highway deicing OR "anti icing" "winter maintenance" "low temperature" "calcium chloride" OR cacl OR "magnesium chloride" OR mgcl OR agricultural OR caliber OR safecote*

Dette søket ble avgrenset til å omfatte kilder ikke eldre enn fra 2008.

I tillegg ble også andre aktuelle rapporter som vi ble oppmerksomme på mens arbeidet pågikk, lagt til som referanser.

Søkeresultatene ble videre grovsortert etter sannsynlig relevans før de til sammen 37 referansene som virket å være relevante ble studert nærmere.

### 3. Vinterdrift ved lave temperaturer - funn i litteratur

#### 3.1 Aktuelle referanser

Av de 37 referansene som ble plukket ut først, viste det seg at det var få som allikevel var veldig relevante ift undersøkelsen vår, om bruk av kjemikalier ved lave temperaturer. Disse er vist i følgende tabell, og det mest relevante innholdet er beskrevet i etterfølgende avsnitt.

<b>Tittel (utg. år)</b>	<b>Utgiver</b>	<b>Forfattere</b>
Snow removal at extreme temperatures (2013)	Montana State University.	Michelle Akin, Jiang Huang, Xianming Shi, David Veneziano, Dan Williams
Improving the Freight Transportation Roadway System during Snow Events: A Performance Evaluation of Deicing Chemicals (2012)	University of Nebraska	Christopher Y Tuan, Barbara Gerbino-Bevins
Highway Winter Maintenance Operations at Extremely Cold Temperatures (2013)	Western Transportation Institute ved Montana State University	Xianming Shi, Jiang Huang, Dan Williams, Michelle Akin og David Veneziano
Wet pavement anti-icing – A physical mechanism (2013)	NTNU	Alex Klein-Paste og Johan Wåhlin
Improving the Performance of Road Salt on Anti-Icing (2014)	NTNU	Wibeke Lende
Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By-Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products (2015)	Minnesota Department of Transportation	Anburaj Muthumani, Laura Fay, Xianming Shi, Dave Bergner
Håndbog Tømidler, Drift (utkast des. 2015)	Vejdirektoratet Danmark	Freddy Knudsen m. fl.

De øvrige 30 referansene har fått en kort innholdsbeskrivelse, se Vedlegg – Litteraturoversikt.

### 3.1.1 Snow removal at extreme temperatures

Rapporten er utarbeidet av Michelle Akin, Jiang Huang, Xianming Shi, David Veneziano og Dan Williams fra Western Transportation Institute ved Montana State University for Clear Roads Program ledet av Minnesota Department of Transportation.

Rapporten inneholder en oppsummering av beste praksis for de ulike vinterdriftsstrategiene brøyting, kjemikaliebruk og strøing med sand ved snøfall ved lave temperaturer (extremely cold winter storms). Oppsummeringen stammer fra funn i en omfattende litteraturstudie og spørreundersøkelse som var grunnlag for rapporten.

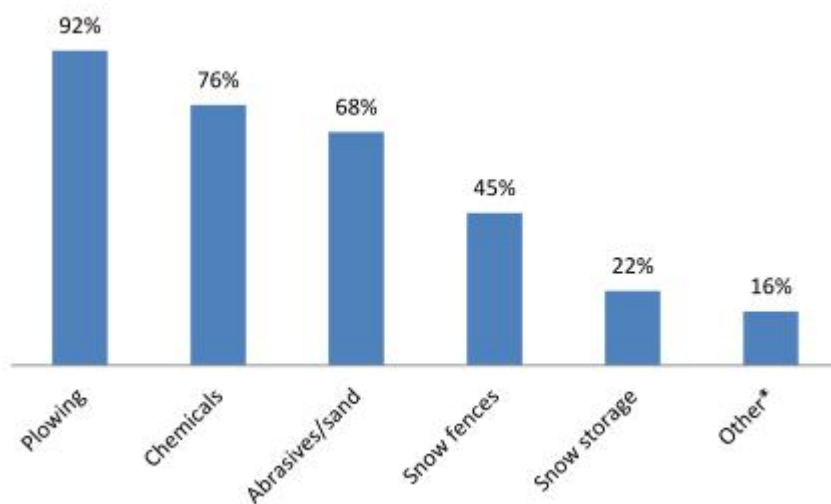
I litteraturstudien presenteres en tabell som sammenligner eutektisk temperatur for fem aktuelle kjemikalier med effektive temperaturer funnet i ulike rapporter:

Kjemikalie (eutektisk konsentrasjon, eutektisk temperatur)	Effektiv temperatur	Kilde
Natriumklorid, NaCl (23,2 %, -21,1 °C)	-9,4 °C	Anonymous (2003)
	-10 °C	Yehia S, Tuan Y. (1998)
	-8 °C	Norem, H. (2009)
	-10 °C	Zhang, J., Das, D.K., Peterson R (2009)
Magnesiumklorid, MgCl <sub>2</sub> (21,6 %, -33,3 °C)	-20 °C	Resource Concepts Inc. (1992)
	-15 °C	Anonymous (2003)
	-15 °C	Yehia S, Tuan Y. (1998)
	-15 °C	Anonymous (2003)
Kalsiumklorid, CaCl <sub>2</sub> (30 %, -51,1 °C)	-28,9 °C	Anonymous (2003)
	-25 °C	Yehia S, Tuan Y. (1998)
	-25 °C	Shi X, Fay L, Yang Z, Nguyen TA, and Liu Y (2009)
Kaliumacetat, KAc (50 %, -60 °C)	-26,1 °C	Anonymous (2003)
	-32,2 °C	Myhra, Tony (2012)
Kalsiummagnesiumacetat, CMA (33 %, -10 °C eller granulært, -28 °C)	-10 °C	Resource Concepts Inc. (1992)
	- 5 °C	Shi X, Fay L, Yang Z, Nguyen TA, and Liu Y (2009)

Spørreundersøkelsen har mange likhetstrekk med den som er gjennomført i dette prosjektet og har som mål å undersøke hvilke metoder og utfordringer som finnes knyttet til snøfall ved lave temperaturer. I denne undersøkelsen har de definert lave temperaturer (extreme temperatures) til under 15°F (- 9,4°C). Spørreundersøkelsen ble sendt ut til aktuelle personer tilknyttet vinterdrift i hele USA.

Fra spørreundersøkelsen er de mest relevante resultatene for dette prosjektet gjengitt i de neste avsnittene:

Spørsmålet om hvilke strategier som blir brukt under ekstremt kalde vinterstormer ga dette resultatet som vist i figuren (hentet fra rapporten) under:



Hvilke kjemikalier som blir brukt for ulike strategier ved snøfall ved lave temperaturer er vist i tabellen (hentet fra rapporten) under, sammen med hvilket kjemikalie som blir vurdert som mest kostnadseffektivt for de ulike strategiene. Tabellen viser antall respondenter.

	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	KAc	CMA	Urea	Agro-based products	Other
<i>Anti-Icing</i>								
chemicals you use	45	33	19	4	1	0	12	15
the most cost-effective	32	18	5	2	0	0	6	14
<i>Deicing</i>								
chemicals you use	62	43	31	5	0	0	15	16
the most cost-effective	43	24	13	1	0	0	9	11
<i>Pre-wetting Salt</i>								
chemicals you use	37	36	23	0	1	0	11	13
the most cost-effective	28	18	13	0	0	0	9	13
<i>Pre-wetting Sand</i>								
chemicals you use	22	23	13	1	0	0	6	10
the most cost-effective	17	12	7	1	0	0	4	10

Svarene viser at NaCl er mest brukt til anti-ising og de-ising, mens også et høyt antall bruker MgCl<sub>2</sub> og CaCl<sub>2</sub> til disse formålene. Som befuktningssvæske til både salt og sand er det like mange som bruker både NaCl og MgCl<sub>2</sub>. Ved vurdering av hvilket kjemikalie som er mest kostnadseffektivt får NaCl høyest score for alle strategiene. Høy andel av de som har listet opp andre kjemikalier holder disse som de mest kostnadseffektive. Av de som har lagt til en kommentar sammen med dette svaret refererer 11 av 32 til saltløsning, mens flere andre har blandinger av ulike produkter.

Selv om 89 respondenter besvarte spørsmålet om hvilke typer kjemikalier som blir brukt ved snøfall ved lave temperaturer svarer 63 av 88 respondenter på et senere spørsmål at de har hatt problemer med at kjemikalier eller sandstrøing ikke fungerer ved snøfall ved lave temperaturer. De fleste kommentarene til dette spørsmålet går på at kjemikaliene ikke fungerer ved så lave temperaturer. Flere beskrev i tillegg at selv om de visste at kjemikaliene var ineffektive etter forholdene var det politisk uakseptabelt å ikke salte. Noen beskrev at dersom de hadde saltet og deretter opplevde at temperaturene falt, måtte de fortsette å salte. To beskrev at kjemikalier vil fungere, men at det er behov for langt høyere doseringer.

Mange respondenter peker på at anti-isingstiltak ikke burde benyttes ved så lave temperaturer. Snø som kommer ved slike lave temperaturer inneholder veldig lite fuktighet og anti-isingstiltak kan derfor føre til at snøen fester seg til vegoverflaten langt tidligere enn den ellers ville ha gjort.

I rapportens kapittel om kjemikaliebruk er denne tipslisten vist:

«Tips for bruk av kjemikalier ved lave temperaturer»

- Påføring av kjemikalier tidlig kan føre til overforbruk
- Begrens bruken av kjemikalier til tid med dagslys eller stigende temperaturer etter snøværet
- Hvis kjemikalier er nødvendig under snøvær, prøv befuktning av salt eller sand med lavtemperaturprodukter ( $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$  eller landbruksbaserte produkter)
- Forsøk å bruke abrasiver (sand) oppå salt for å gi veggrep og gi saltet tid til å jobbe

Og i konklusjonen kommer denne oppsummeringen:

«Strategier for snøvær ved veldig lave temperaturer»

- Brøyting
- Bruk befuktet sand (står ikke spesifisert om det er befuktning med vann eller saltløsning)
- Kjemikalier (nye kostnadseffektive kjemikalier med lavtemperaturytelse utvikles fortsatt)

Bortsett fra hoveddefinisjonen i spørreundersøkelsen om at snøfall ved lave temperaturer (extremely cold winter storms) betyr temperatur under  $15^{\circ}F$  ( $-9,4^{\circ}C$ ), samt enkelte kommentarer fra respondenter, er det ingen øvrig kategorisering eller konkretisering av temperaturområder.

### 3.1.2 Improving the Freight Transportation Roadway System during Snow Events: A Performance Evaluation of Deicing Chemicals

Rapporten er fra et Cooperative Research Project utarbeidet av Christopher Y. Tuan og Barbara Gerbino-Bevins ved University of Nebraska-Lincoln sponset av U.S. Department of Transportation Research and Innovative Technology Administration

Rapporten består av en litteraturstudie, flere laboratorieforsøk samt en studie av data fra sanntidssystemene til brøyte-/strøbilene i Nebraska.

Formålet med studien er å finne beste praksis for normale deisingstiltak basert på rangering av hvor godt ulike kjemikalier fungerer. Optimal befuktning (væske/tørrstoff) og total påføringsmengde vil avhenge av vær- og føreforhold.

Følgende fem forskjellige laborietester er utført: SHRP Ice Melting Capacity Test, Shaker Test, Friction Test, Sunlight Test og Refreeze Test. Testene ble utført med følgende kjemikalier  $NaCl$ ,  $MgCl$ ,  $CaCl$ , CMA, KAc, KF og mais/bete i noen ulike styrker og kombinasjoner.

For større snøhendelser på dagtid ble bilder av vegen vurdert i sammenheng med hvilke tiltak som var utført og vær- og føreforhold som var tilfelle.

Noen konklusjoner:

- KAc har en del gode egenskaper alene, men er veldig dyrt, men ved blanding med andre kjemikalier overføres lite av disse egenskapene samtidig som massen blir veldig klebrig og uhåndterlig og kan føre til propp i systemet.
- Beet Juice blandet i NaCl i forhold 15/85 kan hjelpe saltet i form av at det holder seg bedre på vegen og særlig ved direkte sollys pga den mørke fargen.

Ut fra resultater fra arbeidet er tabellen under utarbeidet for anbefaling av kjemikaliebruk ved ulike vær- og temperaturforhold. Fra litteraturodelen av rapporten er imidlertid utsagnet om at kjemikalier for av-isings formål vanligvis ikke brukes ved lavere temperaturer enn 12°F (-11,1°C) videreført.

	Temperaturområde °C			
Vær- og føreforhold	> 0	0 - -6,7	-6,7 - -11,1	< -11,1
<b>Regn</b>	Bruk lite eller ingen behandling med mindre temperaturen forventes å falle. I så fall preventivt tiltak med veisalt mindre enn 28 kg/feltkm (9 g/m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup> .	Preventivt tiltak med veisalt befuktet med 30-37 l/tonn NaCl, og dosering mindre enn 28 kg/feltkm (9 g/m <sup>2</sup> ). Under strøingen er ikke befuktning nødvendig.	Not applicable.	Bruk sand befuktet med 30-37 l/tonn. Befuktning kan være med vann eller NaCl for å hjelpe å feste strømateriallet.  Bruk av MgCl <sub>2</sub> eller CaCl <sub>2</sub> kan føre til glatte forhold.  Ikke bruk beet-juice i løsning med mindre det er en solrik dag.
<b>Regn som fryser</b>			Bruk veisalt befuktet med 30-37 l/tonn NaCl. Bruk av MgCl <sub>2</sub> eller CaCl <sub>2</sub> kan forårsake glatt føre.	
<b>Sludd</b>			Dersom det må anvendes løsning må nye tiltak gjøres hver 1,5-2 time for å hindre tilfrysing.	
<b>Is</b>	Hvis ikke tiltaket er innledet med noen av de ovennevnte, strø preventivt med flytende NaCl 45-120 l/feltkm (18-47 g/m <sup>2</sup> ). Deretter strøing med veisalt befuktet med 30-37 l/tonn NaCl.			
<b>Lett snø (mindre enn 1,3 cm/t)</b>	Hvis ikke snøværet har vært innledet med regn, regn som fryser på bakken eller sludd, kan NaCl-løsning brukes både preventivt og etter snøværet, samt under snøværet.		Bruk veisalt befuktet med 30-37 l/tonn NaCl. Bruk MgCl <sub>2</sub> eller CaCl <sub>2</sub> hvis luftfuktigheten er lav. Hvis løsning må brukes, må det suppleres hver 1,5- 2 timer for å hindre tilfrysing. Beet-Juice kan brukes i direkte sollys.	
<b>Moderat til mye snø (mer enn 1,3 cm/t)</b>	Preventivt tiltak med løsning NaCl 45-120 l/feltkm (18-47 g/m <sup>2</sup> ). Beet-Juice/NaCl kan brukes. Bruk veisalt under og etter snøværet. Befuktning er ikke nødvendig under snøværet.			
<b>Hard snø</b>	Bruk veisalt dersom nødvendig.	Bruk veisalt befuktet med 30-37 l/tonn NaCl.	Bruk veisalt befuktet med 30-37 l/tonn. MgCl <sub>2</sub> eller CaCl <sub>2</sub> hvis luftfuktigheten er lav.	
	En mix av befuktningvæske med 15/85 Beet-Juice/NaCl er anbefalt på solfylte dager.			
<b>Vind &gt; 7 m/s</b>	Strøtiltak kan gjøre at drivsnø fester seg til vegen. Beet-Juice er IKKE anbefalt på overskyede dager.			Ingen tiltak

For de vær-og føresituasjonene som inngår i tabellen, er anbefalingene om annen kjemikaliebruk enn NaCl ganske forsiktige, og det er få situasjoner der annet enn NaCl anbefales. MgCl<sub>2</sub> og CaCl<sub>2</sub> anbefales bare ved lav luftfuktighet, og Beet Juice anbefales bare på dager med solskinn hvis temperaturen er lavere enn -7°C. Det advares faktisk om at MgCl<sub>2</sub> og CaCl<sub>2</sub> kan føre til glatte forhold ved temperaturer lavere enn -11°C, og ved noen vær-situasjoner/føreforhold ved temperatur i området -7 - -11°C.

<sup>1</sup> Dosering er omregnet fra mengde pr *lanemile* til mengde pr m<sup>2</sup> basert på antagelse om 3 m spredebredde.



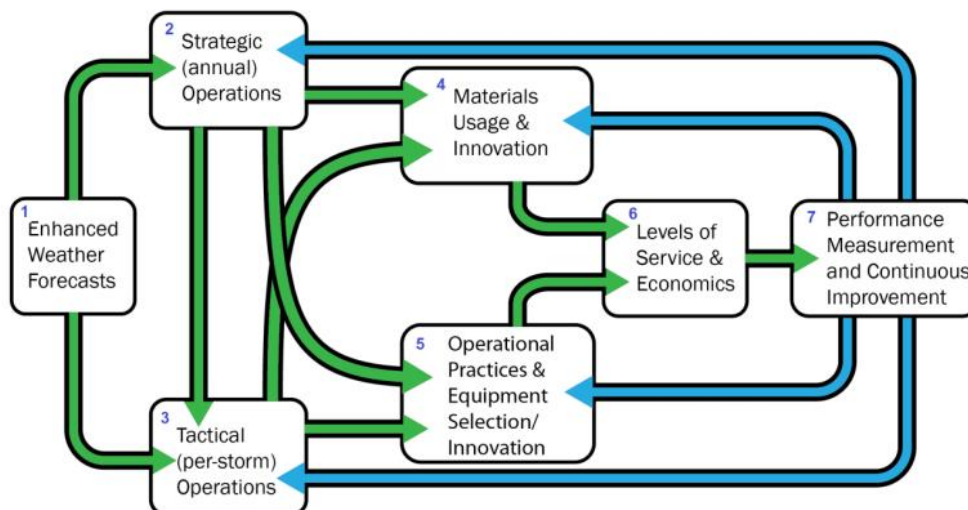
### 3.1.3 Highway Winter Maintenance Operations at Extremely Cold Temperatures

Dette er et "paper" som er utarbeidet av Xianming Shi, Jiang Huang, Dan Williams, Michelle Akin og David Veneziano fra Montana State University, utgitt i forbindelse med International Symposium of Climatic Effects on Pavement and Geotechnical Infrastructure august 2013 i Fairbanks, Alaska.

Paperet presenterer en oppsummering av relevant informasjon innenfor temaet, både om tradisjonelle og om noe mer innovative metoder.

Anslagsvis står 20 % av de verste vinterstormene for 80 % av de totale kostnadene i vinterdriften. Informasjonen kan særlig være viktig for områder som tidligere aldri opplevde dette men pga klimaendringer nå rammes av snøfall ved lave temperaturer (ekstremt kalde vinterstormer).

Figuren under illustrerer forbindelser mellom komponenter og prosesser for vinterdriften og definerer prosjektets omfang.



Tabellen oppsummerer de viktigste funnene for beste praksis som dette prosjektet har funnet for å bekjempe snøfall ved lave temperaturer.

Component in FIG. 1	Winter Maintenance Tool	Best Practices	Benefits	Comments
#1	Weather forecasting	Improved spatial resolution and usage; Integrated observational data; Customized weather service	Optimal resource allocation; Timely response and planned staffing	Pre-, during and post-storm; Especially crucial for proactive practices
#2	Snow storage	Store the snow adjacent to the roadside or remove it to dedicated snow storage areas; use mobile snow melters	Reduce snow drifting	Consider snow storage in the planning process of road design or reconstruction
#4	Chemical usage (for deicing above 0°F and anti-icing with liquids above 10°F or with prewet solids above 15°F)	Combine chemical usage with plowing; Use prewet salt; Use some agro-by products and their blends	Cost-effective solution	Apply the right type and amount of materials in the right place at the right time
#5	Plowing	Wider front plows; trailer plow ( <i>TowPlow</i> ); Reversible plow and switchable wing mounting	Minimal environmental damage	Improved plowing efficiency and equipment versatility, reduced run-up collisions, and improved visibility for the plow operator
#5	Abrasive usage	Prewetting with hot water (vs. liquid deicer); Heated sand	Reduce bounce and scatter; Improve friction even with vehicular traffic	Typically used at pavement temperatures below 12°F and on roads with low traffic and low LOS
#5	Pavement innovations	Heated pavement technologies (geothermal heating and conductive pavement)	Reduce or eliminate the need for using chemicals, abrasives, or mechanical removal; Improve agency preparedness	Suitable for some key site locations; Some technical or economic barriers remain

Det er komponent nr 4 i figur og tabell som omhandler bruk av kjemikalier og er interessant i denne undersøkelsen. Aktuell kjemikaliebruk for vinterdrift ved (ekstremt) lave temperaturer er angitt slik:

- de-ising: bruk kjemikalier når temperatur > -18°C
- anti-ising: bruk kjemikalier i form av løsning når temperatur > -12°C eller som befuktet salt når temperatur > -9°C

Det angis videre at beste praksis er å kombinere brøyting og kjemikaliebruk i form av befuktet salt og agro-baserte blandinger. Dette gir den mest kostnadseffektive løsningen når strøing gjøres med "riktig materiale og mengde utstrødd på riktig sted til rett tid".

Om strøsand angis at typisk bruk er i form av befuktet med varmt vann ved temperatur lavere enn  $-11^{\circ}\text{C}$ , og på veier med lav trafikk og med lavt standardnivå.

### 3.1.4 Wet pavement anti-icing – A physical mechanism

Dette er en artikkel som er utarbeidet av Alex Klein-Paste og Johan Wåhlin ved NTNU, og publisert i "Cold Regions Science and Technology" nr 96 (2013).

Artikkelen beskriver at anti-ising med kjemikalier i tillegg til å senke frysepunkttemperaturen på våt vegbane slik at den ikke fryser, også har en nyttig effekt ved at is som dannes av saltløsning er vesentlig svakere enn is av rent vann.

Is som dannes av en saltløsning med så lav temperatur at fasediagrammet viser tilfrysing, vil være så svak at den kan brytes opp av trafikken. Nødvendig saltinnhold for å oppnå tilstrekkelig svekkelse av isen er konservativt estimert til  $0.4 \cdot$  saltinnhold for aktuell temperatur fra fasediagrammet.

Et av grunnlagene for artikkelen viser tilstrekkelig svekkelse av isen til at akseptabel friksjon oppnås allerede ved 3 % NaCl-innhold selv ved så lav temperatur som  $-20^{\circ}\text{C}$ .

### 3.1.5 Improving the Performance of Road Salt on Anti-icing

Dette er en masteroppgave utført våren 2014 ved NTNU av Wibeke Lende. Norsk tittel er Forbedring av ytelse til vegsalt ved anti-ising.

Masteroppgaven er et lab-forsøk hvor frosset saltløsning (NaCl) tilsatt 3% Safecote ble testet mht isens styrke. Løsningsblandingen ble testet i lab med samme metode som i lab-forsøket som inngikk i arbeidet til Klein-Paste og Wåhlin (2013). Testene ble gjort ved ulike temperaturer, ned til  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Resultatene fra lab-forsøket til Lende sammenlignet med lab-forsøket til Klein-Paste og Wåhlin viste at tilsetning av Safecote ikke bidro til svekkelse av isen.

### 3.1.6 Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By-Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products

Formålet med dette prosjektet var å gjøre undersøkelser for å forstå de kjemiske eller fysikalske prosessene som forklarer effektiviteten til agro-baserte produkter<sup>2</sup>. Det ble gjennomført litteraturundersøkelse, spørreundersøkelse og lab-forsøk. Rapporten er utarbeidet av Anburaj Muthumani, Laura Fay, Dave Bergner og Xianming Shi ved Western Transportation Institute, Montana State University, og er finansiert av Clear Roads Pooled Fund.

Fra litteraturundersøkelsen ble det konstatert at nylige studier har vist forbedret ytelse av agro-baserte produkter knyttet til vinterdrift, samtidig som kjemikaliene utsetter

---

<sup>2</sup> Prosjektet omfattet også produkter av typen CCM, komplekse klorider blandet med naturlige mineralprodukter, men resultatene fra undersøkelsene av disse rapporteres ikke her.

infrastrukturen og omgivelsene for mindre belastninger. Men allikevel har få undersøkelser vært rettet mot å studere virkemåten og årsaken til at disse stoffene virker bedre.

Fra spørreundersøkelse framkom disse trekkene:

- Noen respondenter foretrekker å bruke ikke-kloridholdige agro-baserte produkter ved lave temperaturer ( $< -7^{\circ}\text{C}$ )
- Lengre varighet av tiltaket var en av de uttalte fordelene ved å bruke agro-baserte produkter

Det ble gjennomført lab-forsøk av 8 agro-baserte produkter (løsninger) hvor 4 skulle blandes med NaCl-løsning og de resterende 4 skulle brukes «som levert» fra produsent (ikke blandes med NaCl-løsning).

Tema i lab-undersøkelsene var å undersøke:

- Frysepunktnedsettelse og forbedring av smeltekapasitet

Funn:

De 4 stoffene som ble blandet med NaCl-løsning fikk et signifikant lavere frysepunkt enn bare NaCl-løsning, men smeltet ikke mer is enn NaCl-løsning.

De 4 stoffene som ble brukt «som levert» (ikke blandet med NaCl-løsning) fikk et signifikant lavere frysepunkt enn bare NaCl-løsning, og smeltet også mer is enn NaCl-løsning.

Om frysepunktnedsettelse:

Frysepunktet til blandingene ble undersøkt med den standardiserte testmetoden ASTM D1177-07 som går ut på å sakte kjøle ned en løsning og logge temperaturen til løsningen ved nedkjølingen. Under kjøleprosessen røres væsken kontinuerlig. Frysepunktet til løsningen er fastsatt å være knekkpunktet i et temperatur-tid diagram mellom temeperaturkurven ved nedkjøling og temperaturkurven når frysing pågår. For en uorganisk saltløsning framstår dette knekkpunktet tydelig, men for blandinger av uorganiske saltløsninger og sukkerstoffer får man ikke samme tydelige knekkpunkt. Scott Koefod ved Cargill Inc. har tidligere satt spørsmålsteget ved om det oppstår en reell frysepunktnedsettelse ved tilsetning av sukkerstoffer til uorganiske saltløsninger slik som påvist med denne ASTM D1177-07 testmetoden, eller om det heller er forsinket tilfrysing siden han ved labundersøkelser har funnet at smeltekapasiteten til blandinger av salter og agrobaserte tilsetningsstoffer er mindre enn for saltløsningen uten tilsetningsstoffene (Koefod 2008).

Om smeltekapasitet:

Smeltekapasiteten til blandingene ble undersøkt med «Modifisert SHRP issmeltingstest» som er en justering av den standardiserte testmetoden SHRP H-205.2 (for løsninger), men med modifikasjoner iht Akin og Shi, 2012. Metoden går ut på å tilsette testkjemikaliet i løsningsform til isen i en prøveskål ved en fastlagt temperatur med en kalibrert sprøyte. Ved faste tider (10, 20, 30 45 og 60 min) suges all væske (testløsning og smeltet is) tilbake i sprøyta og måles. På denne måten bestemmes hvor mange g is som smeltes pr ml tilsatt testløsning i løpet av 1 time, og målt smeltekapasitet til testkjemikaliet i løpet av en time blir da fastlagt. Modifikasjonene i metoden

er endringer i størrelse på prøveskåler og mengder is og kjemikalier som testes. Denne testmetoden er omdiskutert pga det er påvist stor spredning i måleresultatene med samme type kjemikalier utført av ulike organisasjoner (Nilsen, Klein-Paste, Wählin 2016).

Beskrivelsene i rapporten er dessuten unøyaktig mht hvordan forsøket er gjennomført da mange av størrelsene som oppgis gjelder for den opprinnelige SHRP testmetoden, men øvrig tekst henviser til at det er en modifisert SHRP test som er utført.

- Svekkelse av binding mellom is/snø og vegdekket

Funn:

Bindingen mellom is/snø og vegdekket ble for alle agro-baserte stoffene signifikant svakere enn for bare NaCl-løsning ved alle temperaturforholdene når det ble brukt preventivt. Tilsetning av agro-baserte produkter øker viskositeten til løsningen som medfører at løsningen ikke så lett blander seg med snøen/isen som ren NaCl-løsning, og mer løsning blir igjen på overflaten og bidrar til dårligere binding mellom snø/is og vegoverflaten enn med bruk av bare NaCl-løsning, og snøen lar seg da lettere brøyte bort.

Om lab-metoden:

Lab-forsøket undersøkte forskjeller i binding mellom komprimert snø og asfaltdekket på et tett asfaltdekke som var preventivt behandlet med de ulike prøvekjemikalierne. Bindingen mellom snø og asfaltdekket ble målt ved å måle skjærkraften som måtte til for å løsne et prøvestykke av snø, 5x5 cm, fra asfaltdekket.

Snøen var lab-produsert og hadde en densitet på 0,3 g/cm<sup>3</sup> før komprimering. Komprimering av snøen ble gjort med å først påføre en statisk last i 5 minutter, og deretter trafikklast fra 500 passeringer av et lett personbilhjul belastet med en masse på 285 kg.

Dette er en ikke-standardisert metode som det forventes å være knyttet usikkerheter til både når det gjelder prøveproduksjon, preparering, gjennomføring og måling, men relative forskjeller mellom ulike prøvekjemikalier bør allikevel være relevante ift formålet med undersøkelsen.

- Forlenge varighet/virkningsperioden av et strøtiltak

Funn:

Agro-baserte produkter holder seg lenger på vegoverflaten etter simulering av gjentatte brøytetiltak enn NaCl-løsning ved preventiv utlegging av kjemikalier. Varigheten avhenger av hvor mye av løsningen som løser seg opp i snøen før hvert brøytetiltak. Agro-baserte produkter tenderer til å løse seg mindre opp i snø enn NaCl-løsning brukt preventivt.

Om lab-metoden:

Varighet til kjemikaliet ble vurdert ved å gjenta testen av binding mellom vegdekket og den komprimerte snøen som beskrevet i det forrige punktet. Forsøket ble gjentatt ved å fjerne all snøen fra asfaltprøvestykket, deretter legge på nytt snølag uten at mer kjemikalie tilføres asfaltdekket, og deretter komprimere og utføre skjærtesten på nytt som i forrige punkt. Dette ble gjentatt 3 ganger, og etter hvert forsøk ble den «brukte» snøen samlet opp og analysert mht innhold av restprodukter i snøen dels med måling av klorid-konsentrasjon og dels med UV/VIS-spektroskopi.

- Forebygge isdannelse/tilfrysing

Funn:

Det er en tendens til at agro-baserte produkter gir bedre friksjon på veien ved snøvær ved lave temperaturer, ved  $-15^{\circ}\text{C}$ , men også ved gjentatte snøvær ved høyere temperaturer,  $-9^{\circ}\text{C}$  og  $-4^{\circ}\text{C}$ . Agro-baserte produkter forsinket isdannelseprosessen i forhold til når NaCl-løsning brukes.

Om lab-metoden:

Friksjon ble målt ved å bruke en fjærvekt til å dra en gummikloss over asfaltprøvestykket etter fjerning av snøen som beskrevet i de to foregående punktene.

- Absorbering av sollys

Funn:

Ved temperaturer lavere enn  $-15^{\circ}\text{C}$  hadde mørkfargede agro-baserte produkter større smeltekapasitet enn lysere agro-baserte produkter og NaCl-løsning. (effekten er mindre relevant for norske forhold pga vesentlig mindre energi i solinnstrålingen midtvinters enn det er nord i USA som ligger på ca  $50^{\circ}\text{N}$ , Oslo er på omtrent  $60^{\circ}\text{N}$ ).

For begge gruppene med agro-baserte produkter (4 som blandes med NaCl-løsning og 4 som brukes som de er) som ble testet, ble det funnet at de:

- forsinket tilfrysing ved snøvær og/eller fallende temperatur ift ren NaCl-løsning
- de kan være effektive ved temperaturer under  $-15^{\circ}\text{C}$
- reduserer binding mellom is/snø og vegoverflaten mer enn ved bruk av ren saltløsning ved alle temperaturer som ble testet ( $-4$ ,  $-9$  og  $-15^{\circ}\text{C}$ ) som medfører at snø/is lettere lar seg brøyte
- har lenger varighet enn tiltak med ren NaCl-løsning ved lave temperaturer og senker frysepunktet mer enn NaCl-løsning, noe som gjør dem mer effektive enn NaCl-løsning ved lave temperaturer

Følgende 8 produkter var med i lab-undersøkelsen:

Produkt	Innhold	Blandingsforhold med NaCl-løsning	Råstoff/laget av
Beet 55	NaCl: 17.2%	30 (70% saltl.øsn.)	Sukkerbeter
Boost <sup>TM</sup> SB	NaCl: 18.8%; CaCl <sub>2</sub> : 2.3%	20 (80% saltl.øsn.)	Melasse med NaCl-løsning
Snow Melt <sup>®</sup>	Glycerin: 15 - 20% Polyether Polymer: 10 - 20% Sodium Lactate: 4 - 10% Sorbitol: 2-4% Sodium Formate: 1 - 4% 1, 2 - Butanedoil: 1 - 4%	30 (70% saltl.øsn.)	Mais
Geomelt <sup>®</sup> 55	NaCl: 18.1%	30 (70% saltl.øsn.)	Sukkerbeter
Apogee <sup>TM</sup>	Glycerin: % ukjent (Proprietary)	brukes ublandet	Glycerin
Boost <sup>TM</sup> CCB	Molasses: % ukjent CaCl <sub>2</sub> : % ukjent (Proprietary)	"	Melasse med CaCl <sub>2</sub> -løsning
Ice Ban <sup>®</sup> 305	Ice Ban Concentrate: 10 - 20%; MgCl <sub>2</sub> (30% Solution): 80 - 90%	"	Mais

ThermaPoint IB 7/93	CaCl <sub>2</sub> : 93% OBFE (Organic based performance enhancer (Proprietary)): 7%	"	Lignin
------------------------	---	---	--------

Denne rapporten bygger på omfattende lab-undersøkelser kombinert med en bred erfaringsinnhenting gjennom litteraturstudium og nasjonal spørreundersøkelse. Arbeidet framstår som grundig, og det pr i dag er grunn til å tillegge resultatene vekt når effekter av agrobaserte produkter ved lave temperaturer skal vurderes. Det må allikevel bemerkes at noen av lab-testene som er benyttet og som er viktige grunnlag for rapportens konklusjoner er påpekt å være unøyaktige pga kjente feilkilder med metodene (ASTM D1177-07 og SHRP H-205.2). I tillegg er det benyttet egenutviklede ikke-standardiserte metoder som må antas å ha usikkerheter knyttet til seg. Allikevel antas lab-metodene å kunne gi god indikasjon på de relative forskjellene mellom kjemikaliene som har vært testet, og kan være med på å underbygge rapportens konklusjoner. Med denne rapporten framstår agro-baserte stoffer som et positivt bidrag i vinterdriften gjennom at de innehar egenskaper som gir lenger varighet av tiltak og muligheter for bruk ved lavere temperaturer.

Usikkerhetene knyttet til lab-undersøkelsene viser at det er behov for ytterligere undersøkelser av egenskapene til denne typer stoffer. En antagelse kan være at det er annet saltinnhold (MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>) i agro-mixene som bedrer frysepunkt og smeltekapasitet, mens karbohydratinnholdet er det som øker viskositeten og bidrar til bedret varighet på vegen. Det kan være riktig å ta hensyn til denne antagelsen både ved design og evaluering av ytterligere undersøkelser av agro-baserte stoffer.

### 3.1.7 Håndbog Tømidler Drift (Tømiddelhåndboken)

Tømiddelhåndboken til Vejdirektoratet i Danmark er under revisjon. Vi har imidlertid fått tilsendt et utkast fra desember 2015.

I Tømiddelhåndboken er det et kapittel om "Strategi for effektiv glatførebekjempelse ved meget lave temperautrer". Meget lave temperaturer er presisert til å være temperatur -10°C og lavere. Hvis de kjemikaliene som normalt brukes ikke er tilstrekkelig effektive i situasjoner med meget lav temperatur, er det angitt 3 kjemikalier og 1 tilsetningsstoff som kan benyttes. De aktuelle kjemikaliene er magnesiumklorid, kalsiumklorid og kaliumformiat 50%. Det aktuelle tilsetningsstoffet som angis er Safecote (for preventive tiltak).

**Om MgCl<sub>2</sub> oppgis** at det kan:

- brukes ned til -20°C
- også brukes i blanding med NaCl
- brukes både til anti-ising og de-ising (preventivt og etter at det har blitt glatt)

**Om CaCl<sub>2</sub> oppgis** som for MgCl<sub>2</sub> at det kan:

- brukes ned til -20°C
- også brukes i blanding med NaCl
- brukes både til anti-ising og de-ising (preventivt og etter at det har blitt glatt)

**Om kaliumformiat** (50% løsning) oppgis at det:

- kan brukes ned til -14°C
- bør kun brukes som preventivt tiltak

**Om Safecote** oppgis at det er et tilsetningsstoff til kloridholdige kjemikalier som egner seg særdeles godt ved preventiv salting. På grunn av sin tykke konsistens og klebrige masse er det i stand til å forbli på veggen i lang tid.

Tilsetning av Safecote til NaCl-løsning gjør at blandingen får en lavere frysepunkttemperatur enn NaCl-løsningens opprinnelige. I en blanding av 90% NaCl-løsning og 10% Safecote er frysepunktet oppgitt til  $-27,1^{\circ}\text{C}$ .

Temperaturgrensene som er oppgitt i denne rapporten er teoretiske og har forutsetninger om en viss mengde fuktighet på veggen. Teoretisk doseringer er utregnet for fuktighet på veggen tilsvarende 0,1 mm nedbør (målt som vann).

### 3.2 Aktuelle temperaturområder for kjemikalier fra øvrige referanser

I spørreundersøkelsene<sup>3</sup> som er gjennomført i USA varierer de ulike områdenes erfaringer og praksis enormt fra at en kun kan bruke kjemikalier/NaCl ned til  $-4^{\circ}\text{C}$  til  $-20^{\circ}\text{C}$  uten at det er noen klar sammenheng med f.eks trafikkmengde.

Noen rapporter skriver hvilket temperaturområde ulike kjemikalier kan benyttes i vinterdriften, men uten å vise til kilde for hvor disse grensene er hentet fra.

Fra (Gustafsson, Blomqvist, Hafner 2012):

- NaCl fungerer godt ned til  $-10^{\circ}\text{C}$
- $\text{MgCl}_2$  og  $\text{CaCl}_2$  fungerer ned til  $-25^{\circ}\text{C}$

Fra (Evans, Booth, Jordan and Cleave 2011):

- NaCl som befuktningssvæske ned til  $-10^{\circ}\text{C}$
- For lavere temperaturområder har de testet og anbefaler disse befuktningssvæskene:  $\text{MgCl}_2$ , Safecote tilsatt i NaCl,  $\text{CaCl}_2$  og Safecote tilsatt i NaCl eller Eco-Thaw tilsatt i NaCl. Det er ikke oppgitt noen minimumtemperatur.

Fra (Fay, Honarvarnazari, Jungwirth, Muthumani, Cui, Shi, Bergner and Venner 2015):

- NaCl (både tørt og som løsning) kan brukes ned til  $-9,5^{\circ}\text{C}$
- $\text{MgCl}_2$  (både tørt og som løsning) kan brukes ned til  $-20,5^{\circ}\text{C}$
- $\text{CaCl}_2$  (både tørt og som løsning) kan brukes ned til  $-26^{\circ}\text{C}$
- Organisk framstilte og landbruksbaserte produkter kan brukes som tilsetning for å redusere salters korrosivitet og få dem til å holde seg lenger på veggen, men det er ingen bevis på at de setter ned frysepunktet.

---

<sup>3</sup> Referanse nr 15, 17, 30 og 33 i Vedlegg - Litteraturoversikt



Fra (Zhang, Das and Peterson 2009):

Table 1. Cost of deicing chemicals and their temperature range and application rate [1, 6, 12, 13].

Deicing Chemical	Temperature Range	Application Rate	Approximate Cost in Volume	Approximate Cost in Area
Sodium chloride (NaCl)	-10°C to 1°C (14°F to 34°F)	13 to 68 g/m <sup>2</sup> (170 to 890 lb/12 ft lane-mile)	\$29/m <sup>3</sup> (\$26/ton)	\$0.0003/m <sup>2</sup>
Calcium chloride (CaCl <sub>2</sub> )	-25°C (-13°F)	Use along with sodium chloride in U.S.	\$294/m <sup>3</sup> (\$267/ton)	\$0.03/m <sup>2</sup>
Salt mixed with calcium chloride (NaCl and CaCl <sub>2</sub> )	-17°C to 0°C (0°F to 32°F)	21–50 l/m <sup>3</sup> salt (5 to 12 gal/ton)	\$108/m <sup>3</sup> (\$98/ton)	\$0.01/m <sup>2</sup>
Magnesium chloride (MgCl <sub>2</sub> )	-15°C (5°F)	8 to 11 g/m <sup>2</sup> (100 to 150 lb/12 ft lane-mile)	Not available	\$0.0002/m <sup>2</sup>
Calcium magnesium acetate (CMA)	-5°C to 0°C (23°F to 32°F)	15 to 39 g/m <sup>2</sup> (200 to 500 lb/12 ft lane-mile)	\$738/m <sup>3</sup> (\$670/ton)	\$0.004/m <sup>2</sup>
Potassium acetate (KAc)	50% to 35% concentration solution freezes at -60°C to -30°C (-76°F to -22°F)	0.9 to 9.1 gal/1000 ft <sup>2</sup>	Not available	Not available

Om saltløsning:

– noen kilder mener saltløsning ikke kan brukes ved lave temperaturer fordi løsningen vil fryse (Russ, Mitchell and Richardson 2008: ikke kaldere enn -6,7°C), andre sier saltløsning er det eneste en kan få til å fungere ved slike lave temperaturer.

Om landbruksbaserte produkter:

– ingen tydelige resultater fra laboratorietester.

Hovedvekten av rapportene omtaler imidlertid ikke hvilket temperaturområde ulike kjemikalier er egnet for bruk i.

## 4. Andre kilder

### 4.1 Svar fra Snow-Ice-list og erfaringer fra MTO

Det ble også sendt en henvendelse med forespørsel om dokumenterte erfaringer og rapporter om temaet til medlemmer av SNOW-ICE lista som administreres av universitetet i Iowa (mailadresse: snow-ice@list.uiowa.edu). Dette er en e-mail basert tjeneste som brukes til å stille spørsmål knyttet til vinterdrift. Registrerte medlemmer kan sende inn spørsmål, og det er åpent for alle til å melde seg på lista for å motta alle mail med spørsmål, svar og kommentarer.

Følgende spørsmål etter rapporter eller andre dokumenterte erfaringer ble sendt til Snow-Ice lista og dermed videresendt til alle medlemmene (ukjent antall):

*We work for the Norwegian Public Roads Administration trying to establish “best practice” for maintaining bare pavement conditions on high volume roads in periods with low temperatures, e.g. -12°C (10°F) and lower.*

*In Norway many problem situations in these periods occur on days without precipitation, but due to air temperature drop below the dew point temperature, thin ice and frost will freeze on the surface. The most used method for anti-icing with temperatures down to  $-12^{\circ}\text{C}$  is use of pre-wetted NaCl.*

*Has anyone any reports or other documentation that describe experiences or tests for maintaining bare pavements in such periods?*

De fire som responderte på spørsmålet var alle tilknyttet selskap som drev med salg av produkter/løsninger for vinterdriften. Det kom ingen svar som inneholdt nyheter mht dokumenterte erfaringer og rapporter.

I en tidligere fase av etatsprogrammet EVI fikk Kai Rune Lysbakken informasjon fra Max Perchanok ved The Ministry of Transportation of Ontario (MTO) i Canada om hvilke retningslinjer de har for salting ved lave temperaturer:

*MTO tillater NaCl ned til  $-18^{\circ}\text{C}$  ved solskinn eller høy trafikk, men brukes generelt ikke under  $-12^{\circ}\text{C}$  hvis det ikke er solskinn.*

*Entreprenørene står fritt til å velge hvilken type befukningsvæske de ønsker så lenge den oppfylder fastsatte krav mht miljø og korrosjon. De fleste bruker  $\text{MgCl}_2$  eller  $\text{CaCl}_2$  med antikorrosjonstilsetninger, ettersom de har hatt erfaringer med at NaCl fryser i tankene når temperaturene over flere dager kan ligge under  $-20^{\circ}\text{C}$ . De bruker relativt lav andel med befuktning, 5 % er normal anbefaling, mens noen entreprenører har valgt å øke det til 10-15 %. Til anti-isingstiltak brukes de samme kjemikalierne som brukes som befukningsvæske.*

*Dersom de ikke har fått fjernet all snø og temperaturen blir lavere enn  $-18^{\circ}\text{C}$  går en over til å strø med steinmaterialer også på høytrafikkerte vegger. Noen entreprenører bruker en høyere andel salt blandet med strøsand enn det som kreves for å hindre tilfrysing i temperaturområdet der en må gå over fra salting til sandstrøing.*

## 4.2 Direkte søk mot noen vegforvaltningers web-sider

Noen vegforvaltninger viser på sine hjemmesider retningslinjer for vinterdriften. Noen trekk som er relevante for denne undersøkelsen fra vegforvaltningene i Massachusetts, Minnesota og Ontario er gjengitt i de etterfølgende avsnittene.

### 4.2.1 Massachusetts Department of Transportation

Massachusetts Department of Transportation har en egen side nettside med retningslinjer for materialbruk (Massachusetts DoT – Material Application Guidelines, 2016).

Ved vegbanetemperatur lavere enn  $-9,4^{\circ}\text{C}$  sier retningslinjene at strøing med sand er anbefalt tiltak sammen med brøyting.

Ved høyere temperatur,  $-9$  til  $-4^{\circ}\text{C}$  skal kjemikalier brukes i forkant av nedbør og etter brøyting.

- Som preventivt tiltak angis spredning av  $\text{CaCl}_2$ -løsning med 20-30 gal/lanemile som tilsvarer 47-70 liter/km (ca 20-30 g/m<sup>2</sup>).

- Deretter ved behov brukes befuktet salt med CaCl<sub>2</sub>-løsning som befuktningssvæske. Det brukes 8-10 gal løsning pr tonn, dvs 3-4% løsning. Total dosering er angitt til 240 lbs/lanemile (ca 23 g/m<sup>2</sup>).

#### 4.2.2 Minnesota Department of Transportation

Minnesota Department of Transportation har også publisert en guide for Anti-Icing (Mn/DoT Anti-Icing Guide, 2010). I denne guiden vises følgende nedre grenser for "praktisk" minimumstemperatur for bruk av kjemikalier for anti-ising:

Kjemikalie	Praktisk/Effektiv minimumstemp. (vegbanetemp. °C)	Eutektisk frysepkt (lab, °C)	Konsentrasjon
NaCl	-9 (-9 er ønskelig)	-21	23,3%
LCS (Liquid Corn Salt)	-12 (-9 er ønskelig)		10% Liquid Corn og 90% NaCl-løsn.
MgCl <sub>2</sub>	-18 (-12 er ønskelig)	-33	21,6%
CaCl <sub>2</sub>	-18 (-12 er ønskelig)	-51	29,8%
CMA	-7	-27	32,5%
KAc	-18	-60	49%

Det er lavere praktisk minimumstemperatur for MgCl<sub>2</sub> og CaCl<sub>2</sub> enn oppgitt i andre kilder, mens det for NaCl er i samme temperaturområde som gitt i andre kilder.

#### 4.2.3 Ministry of Transportation - Ontario

Ministry of Transportation Ontario har i sin Maintenance Manual en beste-praksis prosedyre for bruk av befuktet salt (MBP-705). Denne sier at befuktningssgrad skal være 5%. Dosering avhenger av værforhold og dekketemperatur som vist i tabellen:

	Vegbanetemperatur (°C)		
	0 - -5	-5 - -10	-10 - -18
<b>Tilfrysing (frost)</b>	8 g/m <sup>2</sup>	12 g/m <sup>2</sup>	12 g/m <sup>2</sup>
<b>Lett snøvær</b>	12 g/m <sup>2</sup>	17 g/m <sup>2</sup>	22 g/m <sup>2</sup>
<b>Kraftig snøvær</b>	22 g/m <sup>2</sup>	22 g/m <sup>2</sup>	28 g/m <sup>2</sup>
<b>Regn som fryser på bakken</b>	22 g/m <sup>2</sup>	28 g/m <sup>2</sup>	28 g/m <sup>2</sup>

Det stilles krav til befuktningssvæskens eutektiske temperatur, varierende fra -20 til -35°C avhengig av geografi/distrikt. Dette gjøres primært for at løsningen ikke skal fryse på lagringstankene i kalde perioder.

## 5. Sand befuktet med saltløsning

Gjennom noen av referansene som er undersøkt har det kommet fram informasjon om at sand befuktet med saltløsning er en type tiltak som benyttes steder for å bedre friksjonen i perioder når temperaturen er så lav at kjemikalier normalt ikke benyttes.

I de to følgende referansene fra eksisterende litteraturliste er det beskrevet noe om befuktning av sand med saltløsning:

*Highway Winter Operations at Extremely Cold Temperatures, 2013:*

- I et snøvær som varte 7-8 timer ved lav temperatur i 2011 i Maine var erfaringen at sand befuktet med 70/30 blanding av saltløsning og Ice B'Gone var mer kostnadseffektivt enn andre metoder (3 ulike saltdoseringer og tidlig salting etterfulgt av sandstrøing).
- Varm sand eller sand befuktet med kjemiske løsninger eller varmt vann kan redusere mye av materialetapet ved at sandkornene ikke spretter av veien eller blir spredt av trafikken som ellers ved sandstrøing, og dermed bidra til bedre friksjon.

*Snow Removal at Extreme Temperatures, 2013:*

- Problemet med sanding er at sandkornene har en tendens til å sprette mot vegbanen og spres både under påføring og som følge av trafikken biltrafikk hvis strøsandene ikke er befuktet løsning av kjemikalier eller varmt vann.
- Tips for bruk av kjemikalier ved ekstreme temperaturer:  
Hvis det blir nødvendig kjemikalier under et snøvær, prøv å befukte salt eller sand med lav temperatur produkter ( $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$  eller agro-baserte produkter).  
Prøv å bruke sand på toppen av salt til å gi trekraft og gi salt tid til virke.
- Befuktning av sand med kjemikalier bidrar til at sand holder seg fast på veien, på samme måte som befuktning med varmt vann.

De etterfølgende referansene er funnet gjennom enkle google-søk med søkeordene "abrasives, pre-wet, salt brine" og lignende.

*The Use of Abrasives in Winter Maintenance, Final Report of Project TR434, 2001:*

- Det blir oppgitt at en nyere metode er å befukte sand med saltløsning ved eller på tallerkenen ved strøing. Typisk befuktningssvæske er enten natriumklorid eller kalsiumklorid. Aktuell mengde tilsetning er oppgitt til omkring 38 liter løsning per tonn sand.
- I rapportens konklusjon er det forvarming av sand (til 180 gr), befuktning på tallerken med løsning (type ikke spesifisert) og befuktning med varmt vann (90 gr) som anbefales å undersøke nærmere i videre arbeid

*Winter Sanding Guidelines, 2012 (Saskatchewan)*

- I Saskatchewan:  
Befuktet sand vil feste seg bedre seg til overflaten og sanden blir mindre utsatt for å blåse av veien pga trafikken. De fleste kommunene bruker ikke strømetoder som inkluderer befuktning, men unntaket var Lloydminster og Prince Albert. Lloydminster befukter sand med 32% kalsiumklorid. Prince Albert bruker Ice Ban til befuktning av sand. Befuktning gjøres ved utstrøing, enten når det faller ned på tallerkenen, eller på selve tallerkenen. Regina har også gjennomført test med befuktning med Caliber. Mengder og doseringer som benyttes er ikke kjent.
- I andre provinser:  
Airdrie og Edmonton bruker hhv 20% og 30% calcium chloride løsninger. Brandon bruker NaCl-løsning, og Red Deer har tidligere brukt NaCl-løsning. Edmonton rapporterte om bruk av 15- 20 liter løsning pr tonn sand. Alle provins-kommunene bruker blanding av salt og sand.

## 6. Konklusjoner

Rapporter, annen litteratur og andre kilder viser sprikende anbefalinger for kjemikaliebruk ved lave temperaturer.

Variasjonsområdet er stort. Noen kilder anbefaler at laveste temperatur for kjemikaliebruk er  $-9$  (Massachusetts DOT) -  $-11^{\circ}\text{C}$  (Tuan/Berbino-Bevins, Univ. of Nebraska), og anbefaler bruk av sand ved lavere temperaturer. Andre kilder beskriver bruk av kjemikalier ned til  $-18^{\circ}\text{C}$  (Shi et.al., Montana State Univ.). Men i de kaldeste områdene beskrives krav til at saltløsningen må ha eutektisk temperatur helt ned til  $-35^{\circ}\text{C}$  (MoT Ontario), dvs atskillig lavere enn eutektisk temperatur for NaCl. Dette er for å unngå at saltløsningen fryser på lagringstank i kalde perioder. Dette kan oppnås ved å f.eks. bruke  $\text{MgCl}_2$  eller  $\text{CaCl}_2$  som befuktningssvæske, som har eutektisk temperatur på hhv  $-33^{\circ}\text{C}$  og  $-50^{\circ}\text{C}$ .

I en rapport (Tuan/Berbino-Bevins, Univ. Of Nebraska) advares det mot at bruk av  $\text{MgCl}_2$  og  $\text{CaCl}_2$  kan gi glatt veg (fuktig vegbane, fare for tilfrysing pga disse saltenes hygroskopiske egenskaper) og disse stoffene bør bare brukes ved lav luftfuktighet.

NaCl er omtalt som det mest kostnadseffektive kjemikaliet i kilder der dette er tema (Shi et.al., Montana State Univ. og Akin et.al., Montana State Univ.).

Landbruksbaserte produkter er i en av referansene rapportert å ikke ha virkning i form av at det senker frysepunkt for blandingen (Fay, Honarvarnazari, Jungwirth, Muthumani, Cui, Shi, Bergner and Venner 2015), og det er motstridende anbefalinger mht bruk ved lave temperaturer, det ikke bør brukes ved temperatur under  $-11^{\circ}\text{C}$  sier (Tuan/Berbino-Bevins, Univ. of Nebraska). I en annen rapport er et slikt produkt (Safecote) oppgitt å senke frysepunktet til NaCl-løsning avhengig av innblandingsforholdet (Tømiddelhandboken). I rapporten «Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By-Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products» av Muhtumani et.al ved Montana State University rapporteres det imidlertid om at agro-baserte produkter både i blanding med NaCl-løsning, og i form av produkter som ikke blandes med NaCl-løsning, har bedre egenskaper enn ren NaCl-løsning mht. lavere frysepunkt, forsinket tilfrysing ved snøvær eller fallende temperatur og gir dermed bedre friksjon på vegen, effektive også ved lavere temperatur enn  $-15^{\circ}\text{C}$ , reduserer binding mellom dekkeoverflate og snø/is som underletter for bedre brøyting, har lenger varighet av tiltakene bl.a. pga større viskositet og noen produkter har også bedre smeltekapasitet enn NaCl-løsning. Denne rapporten bygger på omfattende lab-undersøkelser kombinert med bred erfaringsinnhenting gjennom litteraturstudium og nasjonal spørreundersøkelse. Arbeidet framstår som så grundig at det pr i dag er grunn til å tillegge resultatene vekt når effekter av agrobaserte produkter ved lave temperaturer skal vurderes. Arbeidet og resultatene viser at det er interessant å gå videre med nye undersøkelser knyttet til funnene om at agro-baserte stoffer har egenskaper som gir lenger varighet av tiltak og muligheter for bruk ved lavere temperaturer. I slike undersøkelser bør det tas med i betraktningen at det kan være annet saltinnhold ( $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ) i agro-mixene som bedrer frysepunkt og smeltekapasitet, mens karbohydratinnholdet er det som øker viskositeten og bidrar til bedret varighet på vegen.

## 7. Referanser

Akin, Michelle; Huang, Jiang; Shi, Xianming; Veneziano, David; Williams, Dan (2013). Snow removal at extreme temperatures. Montana State University.

Akin, Michelle; Shi, Xianming (2012). Development of Standard Laboratory Testing Procedures to Evaluate the Performance of Deicers. ASTM Journal of Testing and Evaluation 40(6).

Anonymous (2003) "Effective Temperature of Deicing Chemicals" Snow & Ice Fact #20, FY03, Online [available] <http://www.saltinstitute.org/Education-Center/Snowfighterstraining/Snowfighting-training/WINOPS>, accessed November 27, 2007.

Evans M, Booth C, Jordan R and Cleave B (2011). Guidance on the use in Scotland of five alternative de-icers to salt suitable for use in lower temperatures. Transport Scotland Highways.

Fay, Honarvarnazari, Jungwirth, Muthumani, Cui, Shi, Bergner, Venner (2015). Manual of Environmental Best Practices for Snow and Ice Control. Minnesota Department of Transportation.

Gustafsson, Mats; Blomqvist, Göran; Hafner, Wolfgang (2012). Combined Use of Chemicals for Deicing and Dust Binding of Paved Roads and Surface Transportation Weather. Transportation Research Board of the National Academies.

Klein-Paste, Alex; Wåhlin, Johan (2013). Wet pavement anti-icing—A physical mechanism. Cold Regions Science and Technology.

Knudsen, Johnsen, Attrup, Dabros, Dahl, Eram m.fl. (2015). Håndbog Tømidler Drift (Udkast).

Koefod, Scott (2008). Eutectic Depressants. Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology, side 73.

Lende, Wibeke (2014). Improving the Performance of Road Salt on Anti-Icing. Institutt for bygg anlegg og transport NTNU.

Massachusetts DoT – Material Application Guidelines (2016):  
<https://www.massdot.state.ma.us/highway/Departments/SnowIce/WinterRoadTreatmentSnowRemoval/MaterialApplicationGuidelines.aspx>

Mn/DoT Anti-Icing Guide (2010)  
<http://www.dot.state.mn.us/maintenance/pdf/research/AntiIcingGuide8Full.pdf>

Muthumani, Anburaj; Fay, Laura; Bergner, Dave; Shi, Xianming (2015). Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By-Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products. Western Transportation Institute, Montana State University

Myhra, Tony (2012) "Deicing and Anti-Icing Decisions for Runways and Ramps" Presented at FAA Alaskan Region Airports Conference, Anchorage, AK, May 8–9, 2012, [http://www.faa.gov/airports/alaskan/airports\\_news\\_events/2012\\_conference/index.cfm?print=go](http://www.faa.gov/airports/alaskan/airports_news_events/2012_conference/index.cfm?print=go)

Nilssen, Kine; Klein-Paste, Alex; Wåhlin, Johan (2016). Accuracy of Ice Melting Capacity Tests. Transportation Research Record No 2551, s. 1-9.

Nixon, Wilfrid A. (2001). The Use of Abrasives in Winter Maintenance, Final Report of Project TR434. University of Iowa.

Norem, H. (2009). "Selection of Strategies for Winter Maintenance of Roads Based on Climatic Parameters". Journal of Cold Regions Engineering. Vol. 23, No. 4, pp. 113-135.

Stantec (2012). Winter Sanding Guidelines. Communities of Tomorrow, Saskatchewan.

Resource Concepts Inc. (1992) Survey of: Alternative Road Deicers Technical Report, Nevada Department of Transportation and California Department of Transportation, FHWA-SA-95-040.

Russ, Andrew; Mitchell, Gayle; Richardson, Wallace (2008). Decision tree for pretreatments for winter maintenance. Transportation Research Board of the National Academies.

Shi X, Fay L, Yang Z, Nguyen TA, and Liu Y. Corrosion of deicers to metals in transportation infrastructure: Introduction and recent developments. Corrosion Reviews, 2009, 27(1-2): 23-52.

Shi, Xianming; PE; Huang, Jiang; Williams, Dan; Akin, Michelle; PE; Veneziano, David (2013). Highway Winter Maintenance Operations at Extremely Cold Temperatures. International Symposium of Climatic Effects on Pavement and Geotechnical Infrastructure 2013.

Tuan, Christopher Y; Gerbino-Bevins, Barbara (2012). Improving the Freight Transportation Roadway System during Snow Events: A Performance Evaluation of Deicing Chemical. University of Nebraska.

Yehia S; Tuan Y. 1998. Bridge Deck Deicing, Proc. Crossroads 2000 – 1998 Transportation Conference. Iowa State University. Ames, IA.

Zhang, Jing; Das, DK; Peterson, Rorik (2009). Selection of effective and efficient snow removal and ice control technologies for cold-region bridges. Journal of Civil Environmental and Architectural Engineering.

## **Vedlegg – Litteraturoversikt**

Vedlagt ligger en oversikt over litteratur som er gjennomgått og en kort vurdering ift relevans/tilknytning til dette prosjektet.



Ref.	Tittel	Forfatter	Utgitt	Kort vurdering av litteratur mtp dette prosjektet
1	Correlating lab and field tests for evaluation of deicing and anti-icing chemicals: A review of potential approaches	Muthumani, Anburaj; Fay, Laura; Akin, Michelle; Wang, Shaowei; Gong, Jing; Shi, Xianming	Cold Regions Science and Technology, 2014	Vurderer sammenhenger mellom laboratorie- og feltforsøk for deising og antiising samt friksjonsegenskaper funnet i andre studier. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.
2	Improving the Performance of Road Salt on Anti-Icing	Lende, Wibeke	Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU, 2014	Vil skaffe mer kunnskap om hvordan tilsetningsstoffer virker. Gjennomført forsøk fra -5 - -20°C.
3	Use of chloride-based ice control products for sustainable winter maintenance: A balanced perspective	Shi, Xianming; Veneziano, David; Xie, Ning; Gong, Jing; ,	Cold Regions Science and Technology, 2013	Oppsummerer kjent kunnskap om bruk av kloridbaserte produkter til vintervedlikehold og presenterer visjon og utfordringer med "snow and ice control asset management system". Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.
4	Field test of organic deicers as prewetting and anti-icing agents for winter road maintenance	Fu, Liping; Omer, Raqib; Jiang, Chaozhe	Transportation Research Board of the National Academies, 2012	Undersøke bruk av organiske materialer for pre-wetting og anti-icing gjennom feltforsøk. Forsøkene ble kjørt i tilknytning til 9 snøhendelser, kun 1 tilfelle under -10°C
5	Laboratory and field evaluation of anti-icing strategies	Cuelho, Eli; Harwood, Jason	Transportation Research Board of the National Academies, 2012	Undersøke hvordan ulike kjemikalier til anti-ising påvirker båndstyrken mellom snø og veg. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema. NaCl, MgCl <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , KAc og et Agri.-produkt ble testet i laboratorieforsøk og feltforsøk. Resultatene fra alle testene var at anti-isingstiltakene bidro positivt, men at forskjellene mellom kjemikaliene var lite tydelig, og at det derfor er mange andre faktorer enn selve resultatet som bør bety noe i valget mellom de ulike kjemikaliene (som kostnad, korrosjon, miljøpåvirkning og tilgjengelighet).

Ref.	Tittel	Forfatter	Utgitt	Kort vurdering av litteratur mtp dette prosjektet
6	Efficiency of runway de-icing chemicals in practice	Alatypö, Ville; Jutila, K	XIII International Winter Road Congress, February, 2010	Undersøke egenskapene til betaine for bruk på flyplasser i stedet for acetater og formiater. Kun undersøkt ned til -6°C.
7	Laboratory investigation of performance and impacts of snow and ice control chemicals for winter road service	Fay, Laura; Shi, Xianming	Journal of Cold Regions Engineering, 2010	Evaluere ulike kjemikalier fra deres bruksområde og negativ påvirkning på metall og betong, samt finne gode laboratorietester for evaluering og til bruk i beslutning. De fleste laboratorietestene er utført etter SHRP-metoder som har vist seg unøyaktige.
8	Evaluation of Alternate Anti-icing and Deicing Compounds Using Sodium Chloride and Magnesium Chloride as Baseline Deicers	Shi, Xianming; Fay, Laura; Gallaway, Chase; Volkening, Kevin; Peterson, Marijean M; Pan, Tongyan; Creighton, Andrew; Lawlor, Collins; Mumma, Stephanie; Liu, Yajun	A Final Report Prepared for the Colorado Department of Transportation, 2009	Sammenligne ulike kjemikalier; KAc, NaAc/F-blanding og KF mot mer vanlige brukte klorider. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema og flere tester etter SHRP-metoder.
9	Optimum Deicing and Anti-icing for Snow and Ice Control of Parking Lots and Sidewalks	Hossain, SM	University of Waterloo, 2015	Undersøke hvordan ulike forhold påvirker effektiviteten for vanlige metoder for vintervedlikehold av fortau og parkeringsplasser
10	An Experimental Study on the Effectiveness of Anti-Icing Operations for Snow and Ice Control of Parking Lots and Side Walks	Hossain, SM Kamal; Fu, Liping; Olesen, Avalon J	93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2014	Undersøke beste metoder for anti-icing for fortau og parkeringsplasser. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.
11	Bio-inspired strategies for anti-icing	Lv, Jianyong; Song, Yanlin; Jiang, Lei; Wang, Jianjun	ACS nano, 2014	Kategoriserer og diskuterer nyere forskning om anti-icing ifht nano-perspektiv. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.
12	Effectiveness of anti-icing operations for snow and ice control of parking lots and sidewalks	Hossain, SM Kamal; Fu, Liping; Olesen, Avalon J	Canadian Journal of Civil Engineering, 2014	Empirisk studie for å undersøke performance av antiising på fortau og parkeringsplasser. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.

Ref.	Tittel	Forfatter	Utgitt	Kort vurdering av litteratur mtp dette prosjektet
13	Highway Winter Maintenance Operations at Extremely Cold Temperatures	Xianming Shi, PE; Huang, Jiang; Williams, Dan; Michelle Akin, PE; Veneziano, David	International Symposium of Climatic Effects on Pavement and Geotechnical Infrastructure 2013, 2014	Presenterer en oppsummering av relevant informasjon innenfor temaet, både tradisjonelle og noe mer innovative metoder.
14	Improved management of winter operations to limit subsurface contamination with degradable deicing chemicals in cold regions	French, Helen K; van der Zee, Sjoerd; EATM	Environmental Science and Pollution Research, 2014	Gi oversikt over forvaltningsmessige hensyn som kreves for bedre kontroll av avisingskjemikalier i umettet sone i kalde områder. Hvordan kjemikaliene virker for vinterdriften har ikke fokus.
15	Snow removal at extreme temperatures	Akin, Michelle; Huang, Jiang; Shi, Xianming; Veneziano, David; Williams, Dan	Montana State University, 2013	Vurderer beste praksis for å fjerne snø ved snøhendelser ved temperaturer lavere enn -12
16	Combined Use of Chemicals for Deicing and Dust Binding of Paved Roads and Surface Transportation Weather	Gustafsson, Mats; Blomqvist, Göran; Hafner, Wolfgang	Transportation Research Board of the National Academies, 2012	Beskriver muligheter og utfordringer med kombinert bruk av kjemikalier for deicing og støvbinding
17	Establishing best practices of removing snow and ice from California roadways	Rochelle, Tiffany Ann	Montana State University, 2010	Finne beste praksis for snø- og isfjerning i California, gjennomført båndstyrke-forsøk for snø-asfalt mtp snøfjerning. Kun forsøk ned til -10°C.
18	Performance Measurement for Highway Winter Maintenance Operations	Qiu, Lin; Nixon, Wilfrid A	IHR Hydroscience and Engineering, University of Iowa, 2009	Utvikle et forslag til "performance measurement model" for vinterdrift. Laveste temperaturklasse er < -4°C.
19	Decision tree for pretreatments for winter maintenance	Russ, Andrew; Mitchell, Gayle; Richardson, Wallace	Transportation Research Board of the National Academies, 2008	Utvikle et flytskjema for når presalting skal gjøres utfra ulike undersøkelser. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema, i flytskjemaet kun ned til -7°C.
20	Performance measurement for highway winter maintenance operations	Qiu, Lin	University of Iowa, 2008	Utvikle en "applicable winter maintenance performance measurement system". Laveste temperaturklasse er < -4°C.

Ref.	Tittel	Forfatter	Utgitt	Kort vurdering av litteratur mtp dette prosjektet
21	Strategies for Snow and Ice Control at Extreme Temperatures: Review of Current Practice	Muthumani, Anburaj; Akin, Michelle; Huang, Jiang; Veneziano, David A; Shi, Xianming	TRB 93rd Annual Meeting Compendium of Papers, 2014	Det gikk ikke å få tak i hele dokumentet, men abstractet er tilnærmet likt med [15] og det er derfor sannsynlig at den er basert på denne.
22	Wet pavement anti-icing—A physical mechanism	Klein-Paste, Alex; Wählin, Johan	Cold Regions Science and Technology, 2013	Finne en parameter (equilibrium brine fraction) som kan gi hvilken andel kjemikalie som trengs for at isen blir nok svekket til å bli brutt av trafikklastene ved ulike temperaturer ned til -22°C.
23	Improving the Freight Transportation Roadway System during Snow Events: A Performance Evaluation of Deicing Chemical	Tuan, Christopher Y; Gerbino-Bevins, Barbara	University of Nebraska, 2012	Undersøke beste praktis for normale deisingsoperasjoner basert på ytelsesgradering av deisingskjemikaliene. Både laboratorieforsøk og dataresultater med lave temperaturer.
24	Salt Brine Blending to Optimize Deicing and Anti-Icing Performance	Druschel, Stephen J	Minnesota State University, 2012	Evaluere vinterdriftinnsats, inkl påføring av deisere, antiisere og ploging. Temperaturområder har lite fokus, antiisingsforsøk kun ned til -2°C.
25	Holistic approach to decision making in the formulation and selection of anti-icing products	Shi, Xianming; Akin, Michelle	Journal of Cold Regions Engineering, 2011	Undersøke ulike kloridblandinger i laboratoriet og lage et systematisk system med flere kriterier for å velge den beste blandingen for anti-ising. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema, issmeltingsevne vurdert ved -1 og -9°C.
26	Possibilities for the Use of Chemicals Materials Alternative to Chlorides for Decreasing Road Slipperiness in Winter	Laurinavicius, Alfredas; Mazeika, Romas; Vaiskunaite, Rasa; Brimas, Gintautas; Milasius, Sarunas	Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2011	Undersøker ulike kjemikaliers egenskaper mtp bruk i litauisk vinterdrift. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.
27	Guidance on the use in Scotland of five alternative de-icers to salt suitable for use in lower temperatures	M Evans, C Booth, R Jordan and B Cleave	Transport Scotland, Highways, 2011	Vurdere 4 alternativer til ren NaCl til bruk som deisere til bruk ved lave temperaturer og lage en veiledning for bruk av disse ved lave temperaturer. < -12°C er kaldeste kategori.

Ref.	Tittel	Forfatter	Utgitt	Kort vurdering av litteratur mtp dette prosjektet
28	Costs and benefits of tools to maintain winter roads: A renewed perspective based on recent research	Fay, Laura; Veneziano, David; Ye, Zhirui; Williams, Dan; Shi, Xianming	Transportation Research Board of the National Academies, 2010	Presentere en oversikt over de 10 mest interessante praksiser, utstyr og prosedyrer for vinterdrift og vurdere deres kost/nytte. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.
29	Development of an improved agricultural-based deicing product	Talor, Peter; Gopalakrishnan, Kasthurirangan; Verkade, John G; Wadhwa, Kuldeep; Kim, Sunghwan	Iowa State University, 2010	Undersøke biprodukter fra landbruket for å se om de kan har kvaliteter til bruk i deisingsprodukter. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema.
30	Establishing best practices of removing snow and ice from California roadways	Cuelho, Eli; Harwood, Jason; Akin, Michelle; Adams, Ed	Presentation to the Winter Maintenance Committee at the 89 <sup>th</sup> , 2010	Gjennom tilgjengelig informasjon om vinterdriftspraksis lage retningslinjer for å implementere antiisningstiltak i California.
31	Selection of effective and efficient snow removal and ice control technologies for cold-region bridges	Zhang, Jing; Das, DK; Peterson, Rorik	Journal of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, 2009	Vurdere ulike kjemiske og termiske løsninger for snø- og iskontroll på bruer i kalde områder (Alaska)
32	Evaluation Of Using Non-Corrosive Deicing Materials And Corrosion Reducing Treatments For Deicing Salts	Nixon, Wilfrid A; Kochumman, George; Qiu, Lin; Qiu, Ju; Xiong, Jing	Iowa Highway Research Board, 2007	Undersøke hvilke tester som kan bli brukt både til å evaluere nye iskontrollprodukter og til å kontrollere at leverte produkter tilfredsstiller kravene. Lave temperaturer er ikke noe spesielt tema og flere tester etter SHRP-metoder.
33	Manual of Environmental Best Practices for Snow and Ice Control	Fay, Honarvarnazari, Jungwirth, Muthumani, Cui, Shi, Bergner, Venner	Minnesota Department of Transportation, 2015	Presenterer hvilken betydning de vanligste "snow and ice control products" har for miljøet og hvilke som bør brukes mtp miljøet. Temperaturområder har ikke fokus.
34	Benefit-Cost of Various Winter Maintenance Strategies	Fay, Veneziano, Muthumani, Shi, Kroon, Falero, Janson, Petersen	Minnesota Department of Transportation, 2015	Spørreundersøkelsen som var et av flere grunnlag for rapporten har noe klassifisering av kjemikalier ift virkning ved lave temperaturer
35	Håndbog Tømidler Drift (Udkast)	Knudsen, Johnsen, Attrup, Dabros, Dahl, Eram m.fl.	Vejdirektoratet Danmark, utkast desember 2015	Gir anbefalinger om laveste temperaturer ulike kjemikalier kan benyttes ved, og teoretisk basert doseringsveiledning i situasjoner med fuktighet på vegen tilsvarende 0,1 mm nedbør, og ulike temperaturer

<b>Ref.</b>	<b>Tittel</b>	<b>Forfatter</b>	<b>Utgitt</b>	<b>Kort vurdering av litteratur mtp dette prosjektet</b>
36	Development of a Handbook of Best Management Practices for Road Salt in Winter Maintenance Operations	Nixon, Wilfrid A.; DeVries, Mark R.	University of Iowa	Inneholder ikke tiltakstabeller for temperaturer lavere enn -10°C, men en tekstlig beskrivelse av at ved temperatur mellom -10°C og -18°C kan NaCl befuktet med MgCl <sub>2</sub> - eller CaCl <sub>2</sub> -Isning fungere.
37	Understanding the Effectiveness of Non-Chloride Liquid Agricultural By-Products and Solid Complex Chloride/Mineral Products	Muthumani, Anburaj; Fay, Laura; Bergner, Dave; Shi, Xianming	Western Transportation Institute, Montana State University	Rapporten dokumenterer positive egenskaper for agrobaserte produkter som brukes i blanding med NaCl-løsning, eller som levert fra produsent, sammenlignet med bare NaCl. Omhandler også lave temperaturer.



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO  
Tlf: (+47 915) 02030  
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

**Trygt fram sammen**