



Statens vegvesen

# Salt SMART - Alternative kjemikalier og tilsetningsstoffer til natriumklorid - en litteraturgjennomgang

**RAPPORT**

Teknologiavdelingen

Nr. 2593



Vegteknologiseksjonen  
Dato: 2010-06-01



**Statens vegvesen**

## TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2593

Tittel

### **Salt SMART - Alternative kjemikalier og tilsetningsstoffer til natriumklorid - en litteraturgjennomgang**

Vegdirektoratet  
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep  
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Åsmund Holen  
ViaNova Plan og Trafikk AS

Dato:

2010-06-01

Saksbehandler

Kai Rune Lysbakken

Prosjektnr:

601945

Kontrollert av

Kai Rune Lysbakken

Antall sider og vedlegg:

117

#### Sammendrag

Formålet med dette arbeidet er å samle inn dokumentert kunnskap gjennom litteratur om alternative kjemikalier til natriumklorid for bruk i vinterdriften og om tilsetningsstoffer til natriumklorid.

Studiet omfatter effekten av kjemiske strømidler på veg som virkemiddel i vinterdriften. Dette omfatter i hovedsak effekt på kjøre-/og friksjonsforhold. Herunder kommer egenskaper som frysepunktsnedsettelse, smeltekapasitet og lignende. De ulike kjemikaliers egenskaper i forhold til drift, dvs. håndtering, lagring mm inngår også.

#### Summary

The purpose of this study is to collect substantial knowledge from literature about alternative chemicals to sodium chloride (NaCl) for use in winter maintenance, and about additives to NaCl to improve the performance of NaCl used in winter maintenance.

The study includes the effect of chemicals used as an agent in winter maintenance. This includes mainly the effect on driving conditions and the road friction including material properties as freezing point depression, melting capacity etc. The material properties for the different chemicals regarding operations, handling and storing of the materials, is also included in the study.

Emneord:

vinterdrift, salting, alternative kjemikalier



**Salting av vinterveger:**

**Alternative kjemikalier og  
tilsetningsstoffer til natriumklorid  
- en litteraturgjennomgang**

---

ViaNova Plan og Trafikk AS  
Mai 2010

<b><i>Oppdragsrapport</i></b>	
<b>Salting av vinterveger: Alternative kjemikalier og tilsetningsstoffer til natriumklorid - en litteraturgjennomgang</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 – 15416
Rapportdato	2010-05-20
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 Johnny M Johansen Ivar Horvli
Rapportens formål	Denne rapporten dokumenterer gjennomgangen av referansene og sammenstilling av relevant informasjon i forhold til målsettingen med litteraturgjennomgangen.
<b>ViaNova Plan og Trafikk AS</b> Leif Tronstads plass 4 Postboks 434, 1302 SANDVIKA E-post: vnpt@vianova.no Tlf: 67 81 70 00 ♦ Fax: 67 81 70 01	

*Forsidefoto: Marianne W. Holen*

# Innhold

Summary.....	5
Sammendrag.....	8
<b>1 Innledning .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Kilder .....</b>	<b>11</b>
2.1 Litteratursøk.....	11
2.2 Kategorisering og vurdering av kilder/referanser .....	12
2.2.1 Metode.....	12
2.2.2 Presentasjonsform .....	13
2.2.3 Utførende .....	13
2.2.4 Referansens utgivelsesår.....	14
2.2.5 Originalt arbeid .....	15
2.2.6 Dokumentasjon av resultater og datagrunnlag.....	15
2.2.7 Referansenes hovedinnretninger .....	15
2.2.8 Referansens nytte for utførende, forskningsmiljøet og litteraturstudiet .....	16
2.2.9 Kjemikalier som er behandlet i referansene.....	17
2.2.10 Oppsummering av kildevurderinger.....	17
<b>3 Alternative kjemikalier .....</b>	<b>19</b>
3.1 Basismaterialet natriumklorid - NaCl .....	19
3.2 Andre kloridsalter.....	24
3.2.1 Kalsiumklorid – CaCl <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O .....	24
3.2.2 Magnesiumklorid - MgCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O .....	29
3.2.3 Kaliumklorid - KCl .....	33
3.3 Organiske salter .....	35
3.3.1 CMA – Kalsiummagnesiumacetat .....	35
3.3.2 Kaliumacetat – CH <sub>3</sub> COOK (KAc) .....	44
3.3.3 Natriumacetat – CH <sub>3</sub> COONa (NaAc).....	48
3.3.5 KalsiumMagnesiumKaliumAcetat (CMKAc) .....	51
3.3.6 Natriumformiat – HCOONa (NaF) .....	53
3.3.7 Kaliumformiat – KCOOH (KF).....	58
3.3.8 Kalsiumformiat - Ca(COOH) <sub>2</sub> (CaF).....	61
3.3.9 Salter av Levulinsyre.....	62
3.4 Andre kjemikalier .....	64
3.4.1 Urea (karbamid) – NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub> .....	64
3.4.2 Glykoler.....	67
3.4.3 Metanol – CH <sub>3</sub> OH.....	69
3.4.4 Sukker - C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> .....	71
3.4.5 Betain - C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub> (trimetylglycin) .....	73
3.5 Ukjent materialsammensetning .....	75
<b>4 Tilsetningsstoffer til NaCl .....</b>	<b>76</b>
4.1 CMA - Kalsiummagnesiumacetat .....	76
4.2 Kalsiumklorid .....	79
4.3 Magnesiumklorid.....	83
4.4 Sukker.....	86
4.5 ABP - Agricultural Byproduct.....	89
4.5.1 Safecote .....	89
4.5.2 Andre ABP-er .....	93
4.9 Andre produkter.....	93
<b>5 Diskusjon/konklusjon .....</b>	<b>94</b>

5.1	<i>Alternative kjemikalier</i> .....	94
5.2	<i>Tilsetningsstoffer til NaCl</i> .....	99
<b>6</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>101</b>
	<b>Vedlegg 1: Ordforklaringer</b> .....	<b>106</b>
	<b>Vedlegg 2: Vurdering av kildene</b> .....	<b>107</b>

## Summary

The purpose of this study is to collect substantial knowledge from literature about alternative chemicals to sodium chloride (NaCl) for use in winter maintenance, and about additives to NaCl to improve NaCl's performance used in winter maintenance.

The study includes the effect of chemicals used as an agent in winter maintenance. This includes mainly the effect on driving conditions and the road friction including material properties as freezing point depression, melting capacity etc. The material properties for the different chemicals regarding operations, handling and storing of the materials, is also included in the study.

The literature study does not include:

- Environmental impact (influence on earth, water, vegetation) of alternative chemicals
- Effects on construction materials (steel corrosion, effect on concrete and asphalt, etc)
- Different spreading methods
- Purchase price for the alternative chemicals and additives

During the study 109 current references were found. These have been studied, categorized and evaluated. The references showed good distribution in investigation methods and year of publication.

The alternative chemicals and additives to NaCl which are mentioned in the references are as follows:

<b>Alternative chemicals</b>	<b>Additives to NaCl</b>
CaCl <sub>2</sub> - calcium chloride	CMA
MgCl <sub>2</sub> - magnesium chloride	CaCl <sub>2</sub>
KCl - potassium chloride	MgCl <sub>2</sub>
CMA - calcium magnesium acetat	Sugar
KAc - potassium acetat	Safecote
NaAc - sodium acetat	Other ABP's
CMKAc - calcium magnesium potassium acetat	
NaF - sodiumformiate	
KF - potassiumformiate	
CaF - calciumformiate	
Urea	
Glycols	
Sugar	
Salts of levulinic acid	
Betaine (trimethylglycine)	

For each of the alternative chemicals, and for each of the additives to NaCl, the following information is collected:

- Physical/chemical properties included phase diagrams
- Operational properties (storage, handling, spreading)

All the information from the investigated sources which have relevance for the scope of the study, is included in the descriptions of each of the alternative chemicals and additives.

The alternative chemicals are evaluated against NaCl with a plus (+) or minus (-) symbol showing the characteristics for the alternative chemical compared with the properties of NaCl. The characteristics compared are

- Storage
- Amount and consumption with regards to efficient spreading
- Spreading
- Physical and chemical properties with regards to the needs in winter maintenance
- Operational temperature range
- Residual effects

By summation of the (+) and (-) symbols for each of the materials for the characteristics that have relevance for use of the materials in winter maintenance operations, the best material achieves the largest sum. This is a simplified method for evaluation since the properties are given the same weight, they are not weighted after their importance. The result of this simplified ranking is that  $\text{CaCl}_2$  tightly followed by  $\text{MgCl}_2$  and KAc are the best alternatives to NaCl for use in winter maintenance. The properties for CMA and urea used in winter maintenance are poor compared to NaCl, and therefore those two chemicals don't seem to be of current interest as alternatives to NaCl.

Among the main characteristics that are investigated, physical/chemical characteristics and operational characteristics, the physical/chemical are the most important to take into consideration since they are basic characteristics of the chemical, and can't be changed. On the other hand, the operational characteristics can be dealt with and handled by adjustments of the methods and solutions for storage, handling and spreading.

In the evaluation of the materials, characteristics that don't influence on winter maintenance effects have not been taken into consideration, but such characteristics have to be included in the final evaluations by the road authorities when choosing chemicals for use in winter maintenance. These factors are i.a. purchase price, the detrimental effects from the chemicals on construction materials (corrosion etc.) and environmental impacts.

The alternative chemicals to NaCl that can be classified as second-best are NaAc, NaF and KF, but there is a lack of information regarding some of the material characteristics for these chemicals. Further investigations of the materials are demanded before conclusions can be drawn about the effectiveness of the chemicals.

Among the additives to NaCl, the following chemical are the most interesting, in preferred order:

- $\text{CaCl}_2$  og  $\text{MgCl}_2$  (used as liquid added to dry salt)
- CMA (most actual i in dry blends) og Safecote (used as liquid added to dry salt)
- Sugar (most actual i in dry blends)



For these chemicals too, purchase price, the detrimental effects from the chemicals (corrosion etc.) and environmental impacts have to be taken into consideration in the final evaluation of which of the additives to NaCl that are most suitable.

## Sammendrag

Formålet med dette arbeidet er å samle inn dokumentert kunnskap gjennom litteratur om alternative kjemikalier til natriumklorid for bruk i vinterdriften og om tilsetningsstoffer til natriumklorid.

Studiet omfatter effekten av kjemiske strømidler på veg som virkemiddel i vinterdriften. Dette omfatter i hovedsak effekt på kjøre-/og friksjonsforhold. Herunder kommer egenskaper som frysepunktsnedsettelse, smeltekapasitet og lignende. De ulike kjemikaliers egenskaper i forhold til drift, dvs. håndtering, lagring mm inngår også.

Litteraturstudiet omhandler ikke:

- de alternative kjemikalienes påvirkning på miljøet (jord, vann, vegetasjon o.l.)
- de alternative kjemikalienes effekter på materialer (korrosjon av stål, effekt på betong eller asfalt mm)
- ulike spredemetoder for kjemikaliene
- materialkostnader for kjemikaliene

Som kilder til litteraturstudiet er det funnet 109 aktuelle referanser. Disse har blitt undersøkt, kategorisert og vurdert. Det er funnet en god spredning i undersøkelsesmetoder og utgivelsesår i referansene.

Følgende alternative kjemikalier og tilsetningsstoffer er beskrevet i referansene:

Alternative kjemikalier	Tilsetningsstoff
CaCl <sub>2</sub> - kalsiumklorid	CMA
MgCl <sub>2</sub> - magnesiumklorid	CaCl <sub>2</sub>
KCl - kaliumklorid	MgCl <sub>2</sub>
CMA - kalsium magnesium acetat	Sukker
KAc - kaliumacetat	Safecote
NaAc - natriumacetat	Andre ABP-er
CMKAc - kalsium magnesium kalium acetat	
NaF - natriumformiat	
KF - kaliumformiat	
CaF - kalsiumformiat	
Urea	
Glykoler	
Sukker	
Salter av levulinsyre	
Betain (trimetylglycin)	

Om hvert alternative kjemikalie og hvert av de aktuelle tilsetningsstoffene som er funnet, er det samlet informasjon fra kildene om:

- Fysikalske/kjemiske egenskaper inkludert fasediagram
- Driftstekniske egenskaper

Alle opplysninger fra de undersøkte referansene som er relevante i forhold til undersøkelsens mål er forsøkt tatt med i tabellene som beskriver hvert av materialene eller tilsetningsstoffene.

De alternative kjemikaliene er vurdert i forhold til NaCl ved å angi pluss- eller minustegn som viser materialets egenskaper sammenlignet med samme egenskap hos NaCl. Det som inngår i sammenligningen er kjemikalienes egenskaper mht :

- Lagring
- Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning
- Utspredning
- Fysisk-/kjemiske egenskaper i forhold til behovene i vinterdrift
- Brukstemperatur
- Opptørking og restvirkning/ettervirkning

Ved å summere pluss- og minustegn for hvert av materialene for disse vinterdrifts-egenskapene fås en rangering av materialene i forhold til NaCl. Dette er en forenklet metode for vurdering siden egenskapene ikke er vektet seg imellom og alle egenskapene blir da indirekte like viktige i rangeringen. Resultatet av en slik forenklet rangering er at det er CaCl<sub>2</sub> etterfulgt av MgCl<sub>2</sub> og KAc som er de alternativene til NaCl som har de beste egenskapene for bruk i vinterdriften. CMA og Urea er dårligere enn NaCl for alle egenskapene som inngår i undersøkelsen og virker derfor å være lite aktuelle å benytte som alternativ til NaCl.

Av de hovedegenskapene som er undersøkt, fysikalske/kjemiske egenskaper og driftsmessige egenskaper, framstår de fysikalske/kjemiske egenskapene som de mest sentrale siden de representerer basis materialeegenskaper som det ikke er mulig å endre, mens de driftsrelaterte egenskapene kan omgås/håndteres ved tilpasninger av metoder og løsninger for lagerhold, håndtering og utspredning.

Det er i vurderingene ikke tatt hensyn til øvrige egenskaper som ikke har med vinterdrift å gjøre, men som må vektlegges ved vurdering av egnethet som materiale for vegholderen. Dette er bl.a. innkjøpspris, kjemikalienes nedbrytende effekter på materialer (korrosjon mm) og innvirkning på miljø og omgivelser.

Andre materialer som kan anses som de nest mest interessante som alternativer til NaCl er NaAc, NaF og KF, men det mangler endel informasjon om disse stoffenes egenskaper. Dette må utredes nærmere før man kan si sikkert at de er aktuelle alternativer.

Av tilsetningsstoffene til NaCl er det følgende kjemikalier som er aktuelle, i prioritert rekkefølge:

- CaCl<sub>2</sub> (som befuktningsløsning eller blanding av løsninger) og MgCl<sub>2</sub> (som befuktningsløsning)
- CMA (som blandinger av tørt stoff eller som befuktningsløsning) og Safecote (befuktningsløsning)
- Sukker (som blanding av tørt stoff eller blanding av løsninger)

Også for disse stoffene må pris, nedbrytende effekt på materialer og konstruksjoner, samt innvirkning på miljø og omgivelser tas med i en total vurdering av hvilket tilsetningsstoff som egner seg best.

# 1 Innledning

Natriumklorid (salt, NaCl, vanlig "koksalt") står for over 99,5 % av bruken av kjemiske strømidler i vinterdriften i Norge. Det er velkjent at natriumklorid har en god del negative effekter blant annet i forhold til miljø og materialer. Derfor er det et sterkt fokus på alternative kjemikalier for bruk i vinterdriften. Likeledes er det også flere ulike stoffer/produkter tilgjengelig som tilsetningsstoffer til natriumklorid som hevder å øke effekten av det slik at mengden natriumklorid som brukes kan reduseres.

Statens vegvesens etatsprosjekt Salt SMART har som mål å levere kunnskap og metoder som sikrer gjennomføring av en miljøforsvarlig saltpraksis. Arbeidspakke 1 i prosjektet ser på metoder for redusert saltbruk. Dette innebærer eventuell bruk av alternative kjemikalier i miljømessige sårbare områder.

Arbeidspakke 1 i Salt SMART prosjektet inneholder en litteraturstudie knyttet til kjemikaliene i vinterdriften. Formålet med dette arbeidet er å samle inn dokumentert kunnskap gjennom litteratur innen temaene alternative kjemikalier til natriumklorid i vinterdriften og tilsetningsstoffer til natriumklorid.

Studiet omfatter effekten av kjemiske strømidler på veg som virkemiddel i vinterdriften. Dette omfatter i hovedsak effekt på kjøre-/friksjonsforhold. Herunder kommer egenskaper som frysepunktsnedsettelse, smeltekapasitet og lignende. De ulike kjemikaliers egenskaper i forhold til drift, dvs. håndtering, lagring mm inngår også.

Litteraturstudiet omhandler ikke:

- de alternative kjemikalienes påvirkning på miljøet (jord, vann, vegetasjon o.l.)
- de alternative kjemikalienes effekter på materialer (korrosjon av stål, effekt på betong eller asfalt mm)
- ulike spredemetoder for kjemikaliene
- materialkostnader for kjemikaliene

## 2 Kilder

### 2.1 Litteratursøk

Utgangspunktet for litteraturstudiet er en referanseliste som ble utarbeidet av Vegdirektoratet på forhånd. Denne lista framkom ved et litteratursøk som ble gjort av biblioteket i Vegdirektoratet med disse søkeordene:

Aktuelle søkeord alternative kjemikalier:

- Alternative chemicals
- Alternative deicers
- Calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>)
- Magnesium chloride (MgCl<sub>2</sub>)
- Calcium Magnesium Acetate (CMA)
- Sodium Formate - Natriumformat (NaFo)
- Potassium Formate – Kaliumformat (KFo)
- Potassium Acetate - Kaliumacetat
- Sodium Acetate – Natriumacetat
- Urea

Aktuelle søkeord tilsetningsstoffer:

- Salt additives
- Additives to salt
- Safecote
- Sugar
- Caliber
- Agricultural By-Products

Generelle søkeord (begrensede):

- Deicing
- Antiicing
- Det brukes både deicing og de-icing, antiicing og anti-icing
- Roads
- Winter
- Winter maintenance
- Snow and ice control

Bibliotekets søk resulterte i 82 referanser. Denne referanselista har under gjennomføring av litteraturstudiet blitt supplert med ytterligere 26 referanser som er funnet gjennom

- utvalg av aktuelle tilleggsreferanser fra referanselistene i de 82 opprinnelige referansene
- søk i NTNU-databaser
- frie internettsøk etter enkeltord/kjemikalier
- internettsøk på hjemmesider til vegfaglige institusjoner og organisasjoner (PIARC, VTI, TRB m.fl.)

Ved suppleringen av referansene er det kun referanser fra 1995 og senere som er tatt med.

Den endelige referanselista viser totalt 109 referanser. Alle disse er ikke benyttet i rapporten av ulike årsaker som at de f.eks. kun omhandler NaCl og ingen alternative kjemikalier, eller at referansen omtaler arbeid i en tidligere utført undersøkelse som også er på referanselista, eller at referansen kun omfatter miljøpåvirkning til kjemikalierne. Kap. 6 viser de referansene som er benyttet. I vedlegg 2 er alle de 109 undersøkte referanser vist i en tabell som også viser kategorisering og en skjønnsmessig vurdering av hver enkelt referanse.

## 2.2 Kategorisering og vurdering av kilder/referanser

Kategoriseringen av kildene/referansene er gjort på følgende tema og typer:

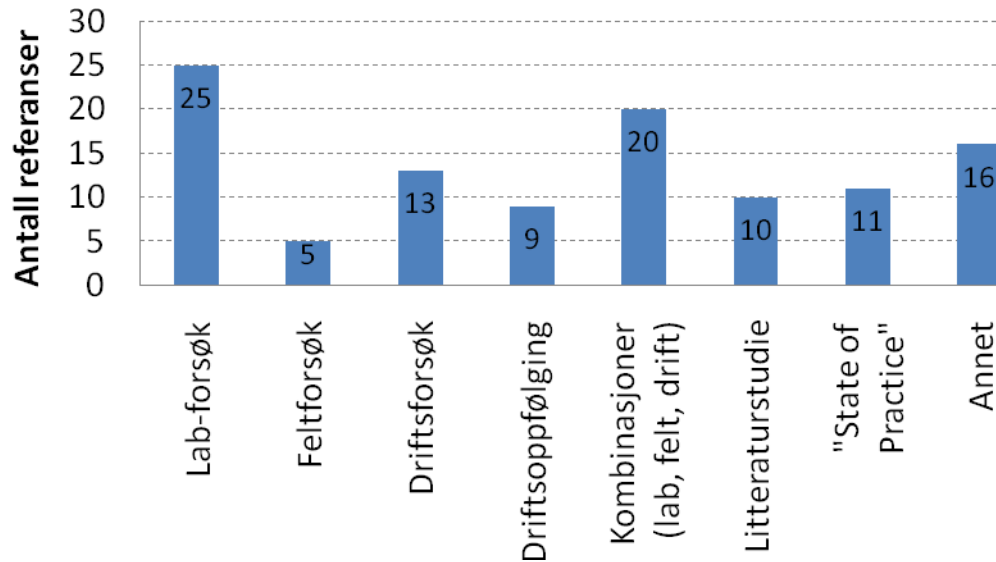
- Metode (undersøkelsesmetoder)
- Presentasjonsform
- Utførende av undersøkelsen
- År utgitt
- Er referansen basert på originalt arbeid (egne lab-/feltforsøk)?
- Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?
- Undersøkelsens hovedinnretning
  - materialets fysisk/kjemiske egenskaper
  - teknikker for utførelse (utlegging/spredning)
  - kjemikalietts effekter på veggen ved bruk i vinterdriften
  - Kjemikalietts negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)
- Vurdering
  - er referansen nyttig for utførende av vinterdriften?
  - er referansen nyttig for forskningsmiljøet?
  - har referansen relevans til litteraturstudiet?

### 2.2.1 Metode

Metode-kategoriseringen har følgende standardiserte valg:

- laboratorieforsøk
- feltforsøk: forsøk på avgrenset område med kontroll over alle parametre (trafikk, kjemikaliebruk, tid, mengder mm) unntatt værforholdene (som dog blir registrert)
- driftsforsøk: forsøk ledet av vitenskapelig personell og foregår i et avgrenset tidsrom på en avgrenset strekning som trafikeres som normalt
- driftsoppfølging: Statistisk oppfølging av forbruk, frekvens mm fra utvalgte driftsområder eller andre enheter
- kombinasjoner av lab-, felt-, driftsforsøk eller driftsoppfølging
- litteraturstudie
- "State of Practice": rapporter som forteller "hvordan vi best gjør det" inkl lærebøker, kompendier o.l.
- annet

De 109 referansene fordeler seg etter metode som vist i figuren nedenfor:

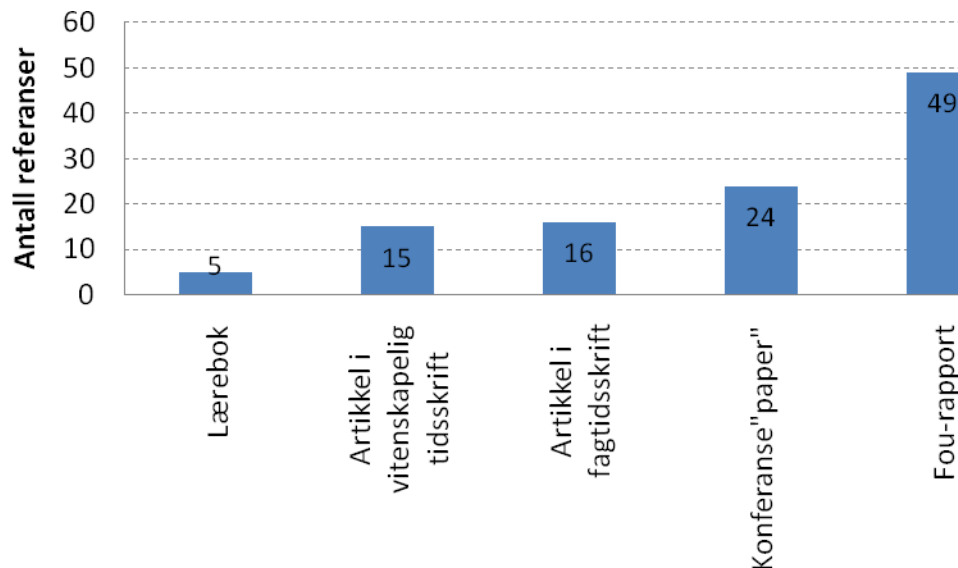


### 2.2.2 Presentasjonsform

Presentasjonsformen har følgende standardiserte typer:

- lærebok
- artikkel i vitenskapelig tidsskrift
- artikkel i fagtidsskrift
- konferanse "paper"
- fou-rapport

De 109 referansene som er undersøkt fordeler seg etter presentasjonsform som vist i figuren nedenfor:



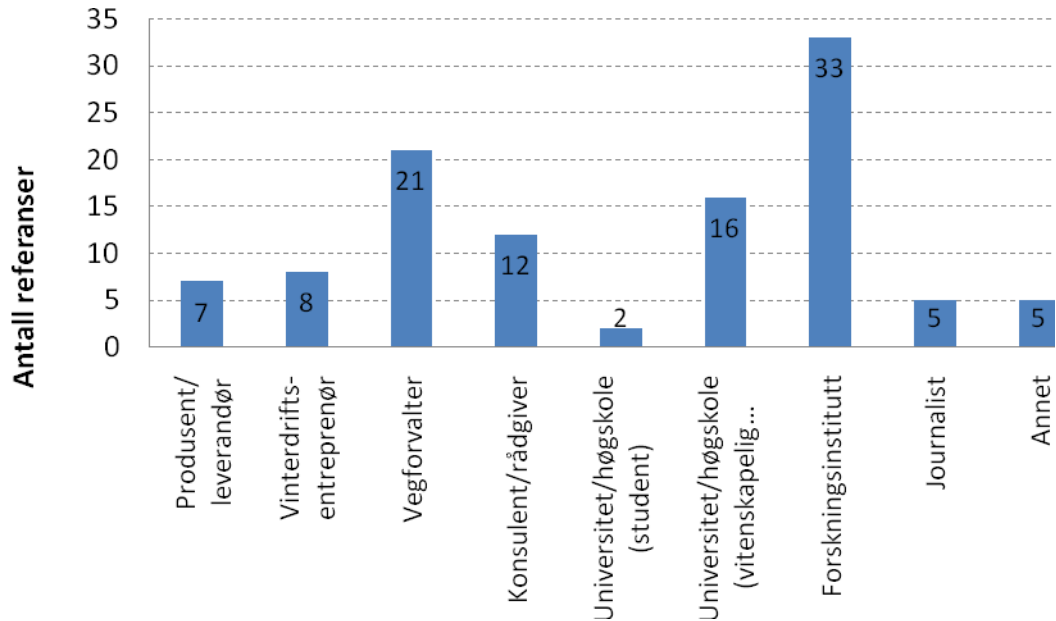
### 2.2.3 Utførende

De standardiserte valgene for utførende er

- produsent/leverandør
- vinterdriftsentreprenør
- vegforvalter
- konsulent/rådgiver
- universitet/høgskole (student)

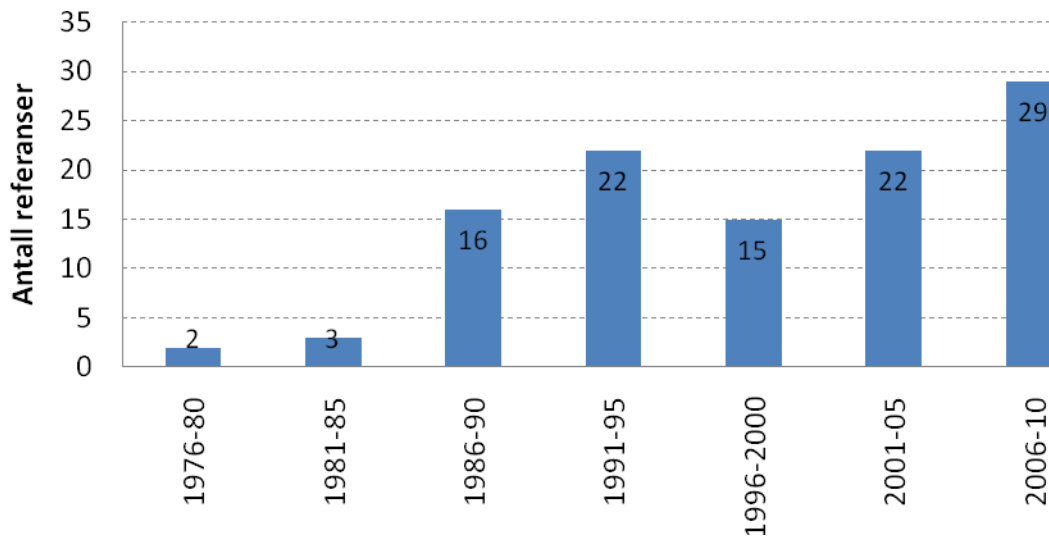
- universitet/høgskole (vitenskapelig personell)
- forskningsinstitutt
- journalist
- annet

De 109 referansene fordeler seg etter utførende som vist i figuren nedenfor:



#### 2.2.4 Referansens utgivelsesår

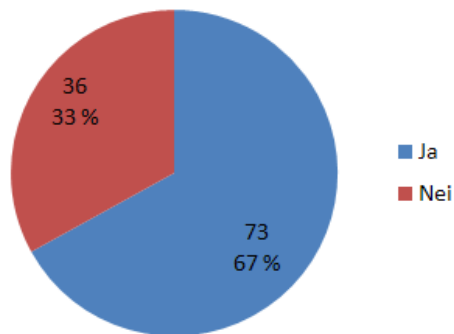
De 109 referansene fordeler seg etter utgivelsesår som vist i figuren nedenfor:





### 2.2.5 Originalt arbeid

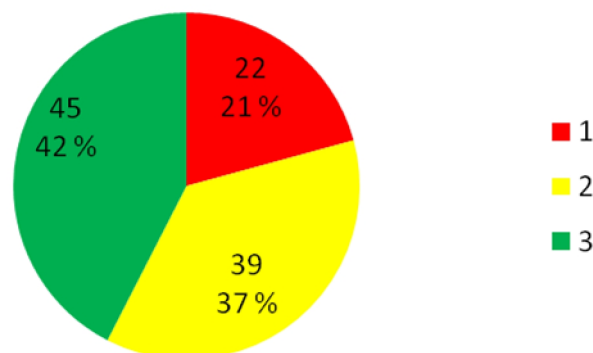
Om referansen bygger på originalt arbeide er bedømt med ja/nei. Fordeling mellom Ja/Nei er som vist i figuren nedenfor:



### 2.2.6 Dokumentasjon av resultater og datagrunnlag

Om undersøkelsens resultater og datagrunnlag er dokumentert i referansen bedømmes med en karakterskala fra 1 til 3.

- 1 betyr dårlig dokumentert,
- 2 betyr middels dokumentert,
- 3 betyr godt dokumentert.



### 2.2.7 Referansenes hovedinnretninger

Referansenes hovedfokusområder er også oppsummert, og alle referansene er vurdert mht om de har hovedinnretning mot følgende tema. Antall referanser innenfor de enkelte hovedinnretningene er vist i parentes:

- Materialets fysisk/kjemiske egenskaper (53 referanser)
- Teknikker for utførelse (utlegging/spredning) (19 referanser)
- Kjemikaliers effekter på vegen ved bruk i vinterdriften (67 referanser)
- Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.) (45 referanser)

Det er flest referanser med hovedfokus på kjemikaliers effekt på vegen ved bruk i vinterdriften og materialets fysisk/kjemiske egenskaper, og færrest som omhandler

teknikker for utførelse og negative sekundæreffekter. Disse to siste punktene er heller ikke tema i litteraturundersøkelsen.

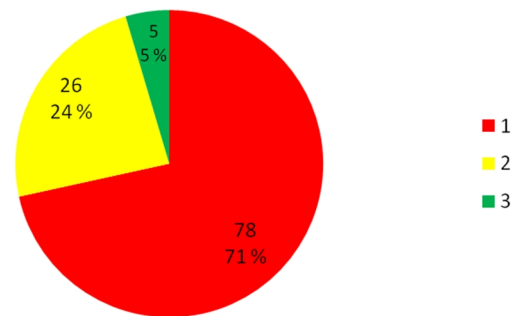
### 2.2.8 Referansens nytte for utførende, forskningsmiljøet og litteraturstudiet

Referansens **nytte for utførende** vinterdriftsentreprenør bedømmes med 1 til 3 skala.

- 1 betyr lite nyttig,
- 2 betyr middels nytte,
- 3 betyr god nytte.

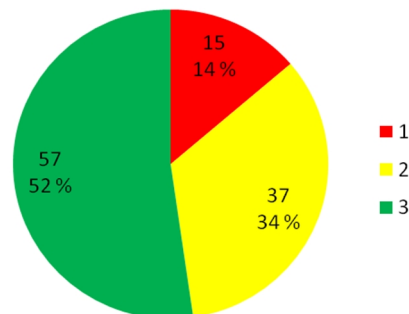
Her er det fokusert på nytten som entreprenøren har av referansen i forbindelse med valg av egnet kjemikalie ved aktuell vær-situasjon, lagerhåndtering og forhold knyttet til utspredning.

Referansene er totalt sett bedømt som vist i diagrammet til høyre mht nytte for utførende:



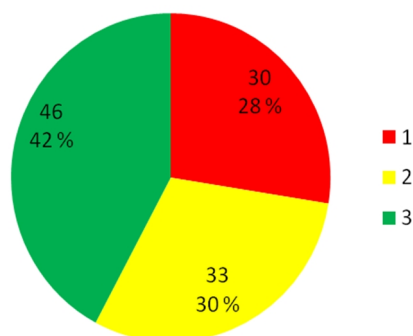
Eventuell **nytte for forskningsmiljøet** bedømmes også etter samme 1 til 3 skala. For å få best karakter er det vektlagt at undersøkelsen, metoder og resultatene, er godt og systematisk beskrevet og dokumentert.

Referansene er totalt sett bedømt som vist i diagrammet til høyre mht nytte for forskningsmiljøet:



For **relevans i forhold til litteraturstudiet** er følgende betydninger lagt til 1-3 karakterene:

- 1 betyr dårlig beskrivelse, mindre begrunnet, eller ikke relevante kjemikalier,
- 2 betyr middels god undersøkelse med relevante kjemikalier,
- 3 betyr god undersøkelse med relevante kjemikalier.



### 2.2.9 Kjemikalier som er behandlet i referansene

I vedlegg 2 er de ulike kjemikaliene som er behandlet i hver referanse listet opp. En oppsummering derfra gir følgende oversikt over hvor mange referanser som behandler de ulike alternativene og tilsetningsstoffene i dette studiet. Men antall referanser i denne oppsummeringen må anses som minimumsantall fordi det i vedlegg 2 er benyttet felles benevnelse for likeartede materialer knyttet til noen av referansene. F.eks. er formiater benyttet som en benevnelse på flere typer formiater. Slike referanser vil ikke komme med i denne oppsummeringen.

**Alternative kjemikalier** til NaCl er behandlet/omtalt i følgende antall referanser av de totalt 109 som er undersøkt i litteraturstudiet:

Kjemikalietype	Omtalt/behandlet i antall referanser
CaCl <sub>2</sub> - kalsiumklorid	29
MgCl <sub>2</sub> - magnesiumklorid	18
KCl - kaliumklorid	2
CMA - kalsium magnesium acetat	47
KAc - kaliumacetat	21
NaAc - natriumacetat	11
CMKAc - kalsium magnesium kalium acetat	2
NaF - natriumformiat	20
KF - kaliumformiat	6
CaF - kalsiumformiat	2
Urea	18
Glykoler	3
Sukker	1
Salter av levulinsyre	1
Betain (trimetylglycin)	2

Tilsetningsstoffer til NaCl er behandlet/omtalt i følgende antall referanser av de totalt 109 som er undersøkt i litteraturstudiet:

Tilsetningsstoff	Omtalt/behandlet i antall referanser
CMA	16
CaCl <sub>2</sub>	17
MgCl <sub>2</sub>	15
Sukker	6
Safecote	8
Andre ABP-er	5

### 2.2.10 Oppsummering av kildevurderinger

De 109 referansene som er studert i denne undersøkelsen har en god spredning i undersøkelsesmetodikk. Det er dog verdt å merke seg at det er referert til få rene feltforsøk. Det ser ut til at driftsforsøk og driftsoppfølging på trafikerte vegstrekninger er foretrukket for å studere effekten av alternative materialer til NaCl i vinterdriften, framfor feltforsøk på avstengte områder. Dette er forståelig ut fra hensynet til ressursbruk og styringsbehov i undersøkelser, men det vil vanligvis svekke konklusjonenes utsagnskraft.

Presentasjonsformen har en klar overvekt av fou-rapporter, men det er også mange konferanse-papers i utvalget, en del artikler fra tidsskrifter samt noen lærebøker.

Forskningsinstitutt, vegforvaltere og universiteter dominerer som utførende av undersøkelsene, mens konsulenter, utførende i vinterdriften og produsenter av kjemikalier og andre også står bak et betydelig antall av referansene.

I femårsperioder etter 1986 er det i hver av dem fra 15 til 27 referanser. Man kunne kanskje ha forventet at antall referanser var jevnt stigende fram i mot 2010. Istedenfor ser vi en topp i antall referanser i perioden 1986-1995. Sett med bakgrunn i det spesielle fokuset på CMA som mulig alternativ til NaCl, noe som var initiert av vegmyndighetene i USA på 1980-tallet, er det nok rimelig at det fortsatt finnes mange referanser fra 10-års perioden 1986-1995 som er relevante for studiet.

To tredeler av referansene refererer til egne arbeider/undersøkelser. 21% av referansene har fått dårlig karakter mht dokumentasjon, mens resten av referansene er middels eller godt dokumenterte.

Kun et mindretall av referansene anses å ha direkte nytte for utførende ledd, mens over halvparten av referansene antas å ha god verdi for forskningsmiljøet. Noe under halvparten av referansene vurderes som gode og relevante kilder til dette litteraturstudiet, mens 27% anses å ikke ha relevans ift målene med litteraturstudiet.

Se detaljer i vedlegg 2 for kategorisering og vurdering av hver enkelt referanse.

### 3 Alternative kjemikalier

#### 3.1 Basismaterialet natriumklorid - NaCl

NaCl er det kjemikallet som brukes mest i vinterdriften, både i Norge og i resten av verden. NaCl brukes både til å smelte is og rim, som preventivt tiltak før nedbør, og under pågående snøvær.

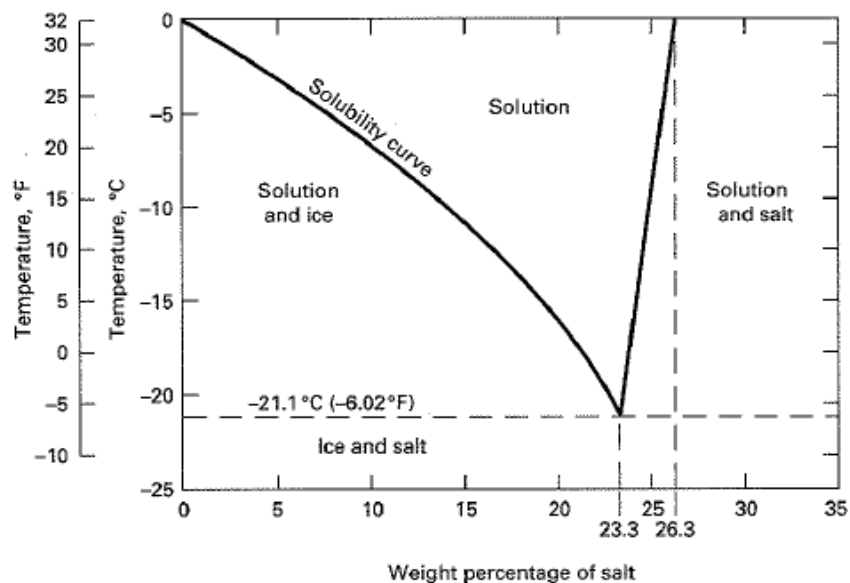
Forbruket i Norge har de siste 6 vintersesongene t.o.m. 2008/09 sesongen variert fra 123 000 tonn pr sesong til 200 000 tonn NaCl pr sesong iht (Knudsen, Lidstrøm et al. 2009).

#### **Fysikalske-/kjemiske egenskaper**

Typer/framstilling	Steinsalt – utvinnes fra saltleier i gruver under bakken eller i dagen Sjøsalt – utvinnes ved fordamping av sjøvann Vakuumsalt – steinsalt løst i vann i saltleier i grunnen som pumpes opp og tørkes under vakuum
Leveringsform	Fast form – korn Densitet er 2.17 g/cm <sup>3</sup> (Ernst, Demich et al. 1985)
Anvendelsesform	Tørt salt Befuktet salt Slurry Løsning
Løselighet i vann	35.7 g/100g H <sub>2</sub> O (0°C) Endoterm reaksjon
Laveste frysepunkt	-21.1°C
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	23.3%
Hygroskopisitet	Lav Tar opp fuktighet fra luften ved en relativ luftfuktighet > ca 80% (Persson and Ihs 1998).

#### **Fasediagram**

Fra (Minsk 1998):



**Driftstekniske egenskaper**

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p><u>Smeltekapasitet for tørt salt</u>            Temperatur: -2°C:            28.6 g is pr g NaCl (Vejdirektoratet 2006)            Temperatur -5°C:            11.3 g is pr g NaCl (Bjerrum, Pedersen et al. 1991; Vejdirektoratet 2006).            11.6 g is pr g NaCl (Vaa and Sakshaug 2007)            Temperatur -10°C:            6.1 g is pr g NaCl (Vejdirektoratet 2006)</p> <p><u>Smeltekapasitet for saltløsning (22%)</u>            Temperatur -2°C:            5.5 g is pr g NaCl (Vejdirektoratet 2006)            Temperatur -5°C:            1.7 g is pr g NaCl (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)            Temperatur -10°C:            0.6 g is pr g NaCl (Vejdirektoratet 2006)</p> <p>Fra (Goetzfried and Badelt 2002):            I laboratorietester viser befuktet NaCl lavere smeltekapasitet enn tørt salt, men er allikevel mer effektiv i praktisk bruk fordi befuktningen reduserer tapene ved utspreddning, og reduserer tapet ved at saltkorn blåser bort pga vind eller vind produsert av trafikk.</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	<p>Fra (Perchanok, Manning et al. 1991):            Penetrasjonshastighet er 1 cm/min med noe variasjon mht temperatur og kornstørrelse.            2,1 g NaCl "undercuts" 58 cm<sup>2</sup>.</p>
Urenheter	<p>Steinsalt:            1-4% urenheter (Minsk 1998), i hovedsak:            CaSO<sub>4</sub>            CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O            skifer            dolomitt            kalsitt            pyritt            jernoksyder            kvarts</p> <p>Sjøsalt:            Inneholder bare små mengder urenheter (Ketcham, Minsk et al. 1996).</p>
Siktekurve	<p>Anbefalt siktekurve har maks kornstørrelse på 4 mm for steinsalt og 8 mm for sjøsalt (Vaa and Sakshaug 2007).</p> <p>I USA benyttes siktekurver iht ASTM D632, grade 1 (vanligst i USA) og grade 2 som har hhv 12.5 og 4.8 mm som maks kornstørrelse (Minsk 1998).</p> <p>Fra (Goetzfried and Badelt 2002):            For alle kornkurver reduseres smeltekapasiteten ved lavere temperatur. Fra -2°C til -15°C er den redusert med 20-25 %.            Grovkornet NaCl (d &gt; 2.5 - 3.15 mm) reagerer signifikant tregere enn finkornet NaCl (d &lt; 2 mm).            Finkornet NaCl (0.8-1mm) er ikke mindre effektiv enn standard typer av CaCl<sub>2</sub> selv ved -15°C.</p>

Egenskaper fra drifts- og feltforsøk																																																																																																																													
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>-10°C (Bjerrum, Pedersen et al. 1991) og (Vaa and Sakshaug 2007)</li> <li>-7°C (Minsk 1998)</li> <li>-7 til -8°C (OECD 1989)</li> <li>-6°C for tørt salt og -10°C for befuktet salt (Persson and Ihs 1998).</li> </ul> <p>Fra (Vaa and Meland 2002): I Norge er det satt en nedre temperaturgrense for bruk av NaCl på -6°C. I litteraturen er det imidlertid angitt at NaCl er effektivt ned til -8 til -12°C, og kan under ideelle forhold benyttes ned til -18 °C. I den veiledende salttabellen til Statens vegvesen er det åpnet for bruk av NaCl ned til -10°C.</p>																																																																																																																												
Forbruk ved utstrøing	<p>Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): 130 g/2-feltem = 19 g/m<sup>2</sup> er effektivt ved de fleste forholdene i Ontario.</p> <p>Fra (Vaa and Sakshaug 2007): Den veiledende salttabellen til Statens vegvesen har anbefalinger om dosering av NaCl ved ulike vær- og føreforhold, og ved ulike temperaturer. Tabellen er gjengitt her:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">VEILEDENDE SALTTABELL I GRAM PR. M<sup>2</sup></th> </tr> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">SALTLØSNING</th> <th colspan="2">SLURRY</th> <th colspan="2">BEFUKTET</th> <th colspan="2">TØRT SALT</th> </tr> <tr> <th>Gram</th> <th>Gram</th> <th colspan="2">Gram</th> <th colspan="2">Gram</th> <th>Gram</th> <th>Gram</th> </tr> <tr> <th></th> <th>0 - +5</th> <th>+5 - +10</th> <th colspan="2">TØRT + LØSN.</th> <th colspan="2">TØRT + LØSN.</th> <th>Gram</th> <th>Gram</th> </tr> <tr> <th></th> <th>0 - +5</th> <th>+5 - +10</th> <th>0 - +5</th> <th>+5 - +10</th> <th>0 - +5</th> <th>+5 - +10</th> <th>0 - +5</th> <th>+5 - +10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tørr veg</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>3+2</td> <td>4+3</td> <td>4+2</td> <td>8+3</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> </tr> <tr> <td>Fuktig</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>4+3</td> <td>5+3</td> <td>8+3</td> <td>9+4</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> </tr> <tr> <td>Våt</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td>7+4</td> <td>9+6</td> <td>14+6</td> <td>18+4</td> <td>10</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Rimfrost</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>4+3</td> <td>6+3</td> <td>8+3</td> <td>11+5</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> </tr> <tr> <td>Tynn is</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>7+4</td> <td>9+6</td> <td>14+6</td> <td>18+8</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> </tr> <tr> <td>Tykk is</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td>18+8</td> <td>21+9</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> </tr> <tr> <td>Før nedbør</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td>7+4</td> <td>9+6</td> <td>14+6</td> <td>18+8</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> </tr> <tr> <td>Underkjølt regn</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td>21+9</td> <td>28+14</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> </tr> <tr> <td>Snøvær</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td colspan="2">IKKE AKTUELT</td> <td>20+0</td> <td>25+0</td> <td>20</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	VEILEDENDE SALTTABELL I GRAM PR. M <sup>2</sup>									SALTLØSNING		SLURRY		BEFUKTET		TØRT SALT		Gram	Gram	Gram		Gram		Gram	Gram		0 - +5	+5 - +10	TØRT + LØSN.		TØRT + LØSN.		Gram	Gram		0 - +5	+5 - +10	0 - +5	+5 - +10	0 - +5	+5 - +10	0 - +5	+5 - +10	Tørr veg	10	15	3+2	4+3	4+2	8+3	IKKE AKTUELT		Fuktig	15	20	4+3	5+3	8+3	9+4	IKKE AKTUELT		Våt	IKKE AKTUELT		7+4	9+6	14+6	18+4	10	15	Rimfrost	15	20	4+3	6+3	8+3	11+5	IKKE AKTUELT		Tynn is	30	40	7+4	9+6	14+6	18+8	IKKE AKTUELT		Tykk is	IKKE AKTUELT		IKKE AKTUELT		18+8	21+9	IKKE AKTUELT		Før nedbør	IKKE AKTUELT		7+4	9+6	14+6	18+8	IKKE AKTUELT		Underkjølt regn	IKKE AKTUELT		IKKE AKTUELT		21+9	28+14	IKKE AKTUELT		Snøvær	IKKE AKTUELT		IKKE AKTUELT		20+0	25+0	20	25
VEILEDENDE SALTTABELL I GRAM PR. M <sup>2</sup>																																																																																																																													
	SALTLØSNING		SLURRY		BEFUKTET		TØRT SALT																																																																																																																						
	Gram	Gram	Gram		Gram		Gram	Gram																																																																																																																					
	0 - +5	+5 - +10	TØRT + LØSN.		TØRT + LØSN.		Gram	Gram																																																																																																																					
	0 - +5	+5 - +10	0 - +5	+5 - +10	0 - +5	+5 - +10	0 - +5	+5 - +10																																																																																																																					
Tørr veg	10	15	3+2	4+3	4+2	8+3	IKKE AKTUELT																																																																																																																						
Fuktig	15	20	4+3	5+3	8+3	9+4	IKKE AKTUELT																																																																																																																						
Våt	IKKE AKTUELT		7+4	9+6	14+6	18+4	10	15																																																																																																																					
Rimfrost	15	20	4+3	6+3	8+3	11+5	IKKE AKTUELT																																																																																																																						
Tynn is	30	40	7+4	9+6	14+6	18+8	IKKE AKTUELT																																																																																																																						
Tykk is	IKKE AKTUELT		IKKE AKTUELT		18+8	21+9	IKKE AKTUELT																																																																																																																						
Før nedbør	IKKE AKTUELT		7+4	9+6	14+6	18+8	IKKE AKTUELT																																																																																																																						
Underkjølt regn	IKKE AKTUELT		IKKE AKTUELT		21+9	28+14	IKKE AKTUELT																																																																																																																						
Snøvær	IKKE AKTUELT		IKKE AKTUELT		20+0	25+0	20	25																																																																																																																					
Preventiv strøing	<p>Fra (Vaa and Sakshaug 2007): God virkning under de fleste forhold ned mot laveste brukstemperatur. Langsommere virkning enn eksoterme salter.</p> <p>Fra (Kahl 2002): Fra driftsoppfølging av en teststrekning i Michigan i tre sesonger f.o.m. 2000/2001 ble det funnet</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- innføring av preventiv strøing førte til lavere materialforbruk</li> <li>- ved å befukte steinsaltet sank forbruket av salt med 28-38%</li> </ul>																																																																																																																												
Strøing på rim/tynne islag	<p>Fra (Vaa and Sakshaug 2007): God virkning under de fleste forhold ned mot laveste brukstemperatur. Langsommere virkning enn eksoterme salter.</p> <p>Fra (Persson and Ihs 1998): Ved rimfrost og is og på tørr vegbane fester befuktet salt seg bedre på vegen enn tørt salt, og med et mer homogent spredningsbilde.</p>																																																																																																																												
Strøing under snøvær	<p>Fra (Vaa and Sakshaug 2007): God virkning under de fleste forhold ned mot laveste brukstemperatur. Langsommere virkning enn eksoterme salter</p>																																																																																																																												
Opptørkingsegenskaper	<p>Fra (Vaa and Sakshaug 2007): Tørker fullstendig opp på overflaten, en hvitfarget rest er igjen etter opptørking.</p>																																																																																																																												
Andre egenskaper	Løsningsprosessen er endotermisk, og det tar dermed lengre tid før																																																																																																																												

	<p>smelteprosessen starter enn for salt som frigjør varme. Dette samt den lave hygroskopisiteten gjør at NaCl starter smelteprosessen saktere enn CaCl<sub>2</sub> og MgCl<sub>2</sub>.</p> <p>Fra (Ihs and Möller 2000): Når det gjelder alternative kjemikalier til vinterdriften så har det til tross for stor forskningsinnsats ikke blitt funnet noen alternativer som er like effektive og/eller like billige som NaCl. De fleste er ikke virksomme ned til så lave temperaturer som NaCl, og de alternative kjemikaliene er ofte betydelig dyrere.</p>
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	<p>For å unngå klumping på lager finnes 2 typer additiver (Minsk 1998):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferric ferrocyanid og</li> <li>• sodium ferrocyanid</li> </ul> <p>Fra (Vejdirektoratet 2006): Aktuelle antiklumpemidler for å motvirke frysing og klumping er</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kaliumferrocyanid (K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>) (maks tilsetning 0.15 vekt-%)</li> <li>- natriumferrocyanid (Na<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>) (maks tilsetning 0.12 vekt-%)</li> </ul> <p>Fra (Shi, Fay et al. 2009) Følgende rangering (best kommer først) hevdes knyttet til håndteringen av noen kjemikalier:</p> <p>MgCl<sub>2</sub> gir lettere øyeirritasjon NaCl gir lettere øyeirritasjon CMA gir lettere øyeirritasjon, hudirritasjon CaCl<sub>2</sub> gir øyeirritasjon, hudirritasjon, giftig hvis støv inhaleres</p> <p>Fra (Vejdirektoratet 2006): NaCl skal oppbevares så tørt som mulig og som minimum under halvtak.</p> <p>Fra (Möller 2007): Spredning av saltløsning kan gjøres med godt resultat i hastighet opp til 50-60 km/h. For tørt eller befuktet salt må hastigheten være betydelig lavere, ca 30 km/h.</p> <p>En ny utsprengningsmetode kalt "nullhastighetsmetode" som går ut på å gi saltkorne fart ved utsprengningen slik at saltets fart relativt veggen er 0 gjør at man oppnår en mer presis utsprengning og lite tap. For befuktet salt er tapet lite, selv ved 60 km/h utsprengningshastighet. Løsning kan ved en slik metode legges i så høy fart som 80 km/h.</p>
<b>Andre vurderinger</b>	

## Oppsummering for materialet

### Lagring

Pga NaCl's lave hygroskopisitet behøves ikke lufttett emballasje som for de mer hygroskopiske materialene, og saltet kan derfor lagres i haug, under tak. Ved lagerhåndtering er NaCl karakterisert som lite problematisk, men kan gi lettere øyeirritasjon.

### Mengde og forbruk ift effektivitet ved utsprengning

Forholdsvis stor densitet gjør at man får med seg mye salt på et lass ved utsprengning. Saltets gode smelteeffekt krever mindre forbruk pr m<sup>2</sup> enn for mange av alternativene,



og dermed kan man kjøre lengre strekninger mellom hver fylling hvilket gjør utleggingen mer effektiv.

### **Utspredning**

Siden NaCl kan brukes både som tørt salt, befuktet salt, som slurry og som løsning er det fleksibelt mht egnet utspretningsmetode i forbindelse med ulike vær-situasjoner. Pga stor densitet blir ikke tørre saltkornen lett blåst bort av trafikk-vind. Befuktet, som slurry og som løsning, forventes det at tapet er enda mindre. Gir et jevnt spredebilde ved utspretning og blir liggende på vegen ved trafikk (lite tap).

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Smeltekapasiteten til NaCl er blant de beste, men i forhold til eksoterme salter er reaksjonen tregere slik at den første halvtimen etter utspretning finnes alternativer som har smeltet mere is.

### **Brukstemperatur**

Kildene oppgir at NaCl virker effektivt ned til -6 til -10°C. Befuktet salt kan brukes ned mot -10°C, mens en kilde beskriver at bruk er mulig ned til -18 °C. Ved lavere temperaturer enn -10°C er virkningen til saltet betydelig redusert.

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

NaCl tørker fullstendig opp på overflaten i løpet av relativt kort tid. En hvitfarget rest ligger igjen etter opptørking.

## 3.2 Andre kloridsalter

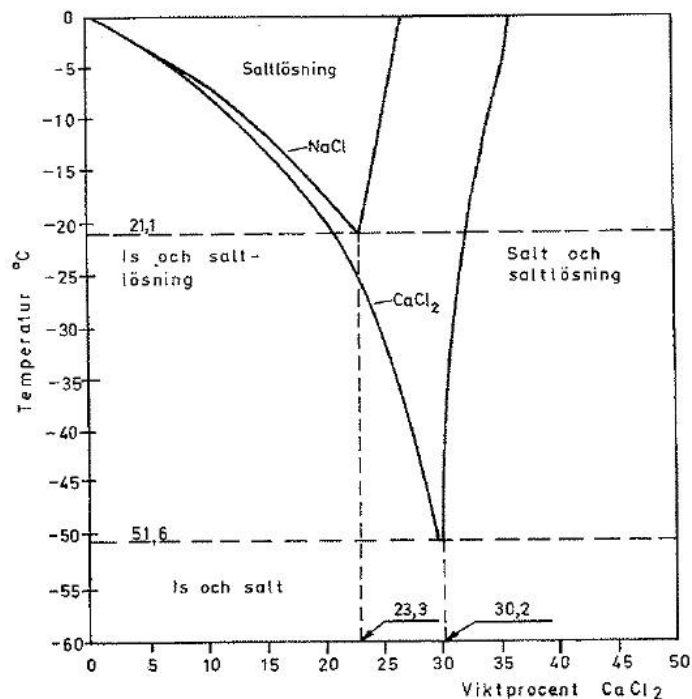
### 3.2.1 Kalsiumklorid – $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	Fra (Ketcham, Minsk et al. 1996): - Utvinnes fra naturlig forekommende saltlaker i dype brønner/gruver. Fast form oppnås ved å vrme løsningen slik at vannet fordamper. - Lages industrielt ved reaksjon mellom NaCl og $\text{CaCO}_3$ som gir natriumkarbonat og $\text{CaCl}_2$ (Solvay prosessen)
Leveringsform	Flak Pellets Løsning
Anvendelsesform	Fast stoff: flak og pellets Løsning Tilsetning i asfaltmassen (Verglimit) Tilsetningsstoff til NaCl, se kap. 4.
Løselighet i vann	Lett løselig i vann, eksoterm reaksjon Den naturlige formen for forekomster av $\text{CaCl}_2$ er i form av vannløsning.
Laveste frysepunkt	-51.6°C
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	30.2%
Hygroskopisitet	Meget hygroskopisk, tar lett opp fuktighet fra lufta og løser seg fullstendig.  Fra (Persson and Ihs 1998): Tar opp fuktighet fra luften ved en relativ luftfuktighet > ca 40%.

#### Fasediagram

Fra (Persson and Ihs 1998):



**Driftstekniske egenskaper**

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Smelteeffekt ved -2°C:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vannfritt: 21.9 g is/g CaCl<sub>2</sub> (Vejdirektoratet 2006)</li> <li>- som flak: 16.6 g is/g CaCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O (Vejdirektoratet 2006)</li> </ul> <p>Smelteeffekt ved -5°C:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vannfritt: 10,2 g is/g CaCl<sub>2</sub> (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)</li> <li>- som flak: 6,0 g is/g CaCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O (Vaa and Sakshaug 2007) 7,7 g is/g CaCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O (Vejdirektoratet 2006)</li> </ul> <p>Smelteeffekt ved -10°C:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vannfritt: 6.1 g is/g CaCl<sub>2</sub> (Vejdirektoratet 2006)</li> <li>- som flak: 4.6 g is/g CaCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O (Vejdirektoratet 2006)</li> </ul> <p>Fra (McElroy, Cooper et al. 1998): CaCl<sub>2</sub>-pellets smelter mer is enn de andre testmaterialene ved alle temperaturer. Justert for innhold av krystallvann, smelter pellets av CaCl<sub>2</sub> over 80% mer is enn hexahydratet av MgCl<sub>2</sub>, både i flak og som pellets. Smelteegenskapene til alle tre MgCl<sub>2</sub>-formene (flak- og pellets hexahydrat, samt dihydrat pellets) var "oppbrukt" etter 30 min ved alle temperaturer fra -7 til -15°C.</p> <p>Etter de første 15 min hadde alle formene av MgCl<sub>2</sub> smeltet mer is enn CaCl<sub>2</sub>, bortsett fra ved høyeste temperatur (-7°C) der CaCl<sub>2</sub>-pellets smeltet mest. Flak av CaCl<sub>2</sub> oppfører seg som MgCl<sub>2</sub> ved at smelteeffekten er størst de første 15-20 min. NaCl har sammenlignbare smelteegenskaper som de fire "dårligste" testmaterialene, dvs flak av CaCl<sub>2</sub> og flak og begge pelletstypene av MgCl<sub>2</sub>. Pellets av CaCl<sub>2</sub> har klart best smeltevirkning.</p> <p>Fra (Vaa and Meland 2002): Sammenlignet med NaCl har CaCl<sub>2</sub> en raskere smelteeffekt delvis pga det er hygroskopisk og at saltet dermed lettere går i løsning, og delvis ved at CaCl<sub>2</sub> avgir varme når det går i løsning.</p> <p>Fra (McElroy, Blackburn et al. 1988): Issmelting: CaCl<sub>2</sub> utkonkurrerte de andre kjemikaliene (NaCl, KCl, urea, NaCl/KCl-blanding, NaCl/urea-blanding) ved alle temperaturer mht smeltevolum. Forskjellen i favør CaCl<sub>2</sub> ble større ved lavere temperatur. CaCl<sub>2</sub> er mer effektiv enn andre smeltemidler mht penetrasjon og smeltevolum, spesielt ved lave temperaturer og kort tid etter utlegging.</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl undercutting	<p>Fra (McElroy, Cooper et al. 1998): CaCl<sub>2</sub>-pellets var best i lab-test med ulike materialer. Rangering av de testede kjemikaliene mht beste egenskaper til penetrasjon og undercutting av is er:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 CaCl<sub>2</sub></li> <li>2 NaCl</li> <li>3 KCl</li> <li>4 Urea</li> </ol> <p>Fra (McElroy, Blackburn et al. 1988): I situasjoner hvor rask is-fjerning er kritisk for trafiksikkerheten, er CaCl<sub>2</sub>-pellets det soleklare valget, uansett temperatur, for å oppnå best undercutting-effekt. Ved temperatur over -4°C hvor det er ok å vente 45-60 min på full reaksjon, forventes det at NaCl gir tilstrekkelig undercutting slik at isen kan fjernes.</p>

	<p>Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): Ved -7°C "undercutted" samme masse (CaCl<sub>2</sub>-pellets) 13% mer is bundet til betongdekke enn NaCl over en 30 min periode. Ved temp &gt; -4°C virket NaCl bedre enn CaCl<sub>2</sub>.</p> <p>Fra (Sinke and Mossner 1976): I et lab-forsøk av undercutting der vannfritt CaCl<sub>2</sub>-pellets og NaCl (steinsalt) ble testet, ble det funnet at de to materialene har omtrent like undercuttingsegenskaper etter 1 time ved -4°C. CaCl<sub>2</sub> hadde raskere reaksjon, og fungerte også bedre ved lavere temperaturer. Ved 15 min og temperatur - 9°C var effekten mangfoldig bedre med CaCl<sub>2</sub>.</p>
Urenheter	
Siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	<p>-29°C (Minsk 1998) -15 til -20°C (OECD 1989) -25°C for tørt salt (Persson and Ihs 1998) -15 til -35°C (Järvinen 1995) Kan anvendes ned til meget lave temperaturer (Vaa and Sakshaug 2007)</p>
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	<p>Fra (Vaa and Meland 2002): Den raske starten på smelteprosessen gjør at CaCl<sub>2</sub> framstår som svært effektiv på tynne ishinner, men virker ikke så bra på tykkere is i temperaturintervallet mellom 0 og -6°C</p>
Strøing under snøvær	<p>Fra (Persson and Ihs 1998): Ved 0 til -5°C framkom ingen større forskjell mellom befuktning med CaCl<sub>2</sub>- eller NaCl-løsning. Restsaltmengder minker raskere etter høyere doseringer enn etter lavere, dette gjelder både CaCl<sub>2</sub> og NaCl. Ingen forskjell er påvist mellom saltene mht restsaltmengde.</p>
Opptørkingsegenskaper	<p>Fra (Minsk 1998): Beholder en fuktig film på vegoverflaten som reduserer friksjonen - dvs tørker ikke opp.</p> <p>Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): Tørker ikke opp på veggen, etterlater derfor en våt og glatt overflate. Restsaltet vil tynnes ut og kan da fryse.</p> <p>Fra (Meyer and Nygaard 2001): Hygroskopisiteten gjør at veggen forblir våt lengre.</p> <p>Fra (Vaa and Meland 2002): Opptørkingstiden blir lengre og dermed økt risiko for fortykning og gjenfrysing.</p>
Andre egenskaper (friksjon)	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	<p>Fra (Shi, Fay et al. 2009): Følgende rangering (best kommer først) hevdes knyttet til håndteringen av noen kjemikalier:</p> <p>MgCl<sub>2</sub>    lettere øyeirritasjon NaCl      lettere øyeirritasjon CMA      lettere øyeirritasjon, hudirritasjon CaCl<sub>2</sub>    øyeirritasjon, hudirritasjon, giftig hvis støv inhaleres</p> <p>Fra (Vejdirektoratet 2006):</p>

	<p>Kalsiumklorid (tørt) kan brukes i blanding sammen med NaCl, men dette forutsetter at blandingen spres ut omgående fordi den store hygroskopisiteten til kalsiumklorid gjør at blandingen hurtig løser seg opp, og det medfører at effekten nedsettes.</p> <p>Fra (Vejdirektoratet 2006): Som fast stoff skal CaCl<sub>2</sub> leveres og oppbevares i luft- og vanntett emballasje.</p>
<b>Andre vurderinger</b>	
	<p>Fra (Persson and Ihs 1998): Når CaCl<sub>2</sub> brukes i løsning elimineres de gode egenskapene mht rask smelting pga eksoterm reaksjon og stor hygroskopitet. I løsning er CaCl<sub>2</sub> omtrent likeverdig med NaCl i NaCl's bruksområde mht temperatur.</p> <p>Fra (Vaa and Meland 2002): Sammenlignet med NaCl har CaCl<sub>2</sub> en raskere smelteeffekt delvis pga det er hygroskopisk og at saltet dermed lettere går i løsning, og delvis ved at CaCl<sub>2</sub> avgir varme når det går i løsning. Når CaCl<sub>2</sub>-kornene absorberer fuktighet utvikles det varme som øker smeltehastigheten. Pga den hygroskopiske virkningen kan smelteprosessen starte selv om det ikke er vann til stede. I tillegg blir det mindre svinn fordi saltpartiklene blir tyngre og har dermed en bedre vedheft til underlaget.</p> <p>Fra (Ihs 1998): CaCl<sub>2</sub>-løsning regnes ikke som et seriøst alternativ til NaCl. MgCl<sub>2</sub> har de samme ulemper som CaCl<sub>2</sub>, og er heller ikke like effektiv.</p>

### **Annet – Innblanding av CaCl<sub>2</sub> i asfaltslitelaget**

Fra (Perchanok, Manning et al. 1991):

Verglimit er produktnavnet for innkapslet kalsiumkloridpellets som blandes inn i asfaltdekket ved asfaltering. Kapslene eksponeres gradvis pga trafikkslitasjonen, og stoffet spres utover dekket av trafikken. Tilsetningen utgjør 5-7 masse-% av asfalten. Verglimit brukes på bruer (bruene avkjøles fra begge sider, og tilfrysing skjer oftere), samt på strekninger med frostisolasjon eller lette fyllinger. Tiltenkt effekt er ved temperatur i området 0 til -5°C. Ved lavere temperaturer antas at hele vegen saltes.

Fra (Ihs 1998):

Verglimit viste seg bare å være bedre enn referansestrekning i tilfeller med rimfrost på vegen og temp rundt 0°C. Det er også påvist at Grikol-strekninger ikke behøvde saltes alle ganger referansestrekningen måtte saltes.

Grikol er på samme måte som Verglimit en tilsetning til asfaltmassen. Det består av 80% NaCl, 10% CaCl<sub>2</sub> og 10% Siakor. Siakor inneholder silicon og organiske stoffer og har frysepunktnedsettende effekt samtidig som det er en korrosjonsinhibitor iht produktets agent i Sverige, ref <http://www.eee.se/grikol/>.

### **Oppsummering for materialet**

#### **Lagring**

Pga materialets store hygroskopisitet må CaCl<sub>2</sub> som fast stoff leveres og oppbevares i luft- og vanntett emballasje. Mht. lagerhåndtering er CaCl<sub>2</sub> rangert som mer problematisk enn MgCl<sub>2</sub>, NaCl og CMA, og kan gi både øyeirritasjon og hudirritasjon, og saltstøvet er giftig ved inhalering.

**Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Teoretisk smelteeffekt er noe mindre enn for NaCl, men lab-forsøk konkluderer med motsatt resultat. Det antas derfor at aktuell dosering vil være omtrent som for NaCl, og man kan derfor oppnå tilsvarende spredningseffektivitet som for NaCl. Men det forutsetter at effektive lesseanordninger finnes tilknyttet lageret siden materialet på lageret er emballert.

**Utspredning**

Spres som tørt stoff eller løsning. Pga hygroskopisiteten vil tørre korn raskt trekke til seg luftfuktighet, og den eksoterme reaksjonen påskynder smelteprosessen. Det betyr at den tørre fasen etter utlegging er kortvarig, og fuktigheten rundt kornene er med på å binde dem til overflaten slik at de ikke er så utsatt for å blåse bort fra vegen pga vindtrykk fra kjøretøy.

**Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Materialets hygroskopisitet og eksoterme reaksjon gir en veldig rask virkning etter utlegging.

Iht de refererte labforsøkene er egenskapene mht penetrasjon og undercutting bedre enn for NaCl ved temperaturer under  $-4^{\circ}\text{C}$ , og ved temperaturer under  $-9^{\circ}\text{C}$  har  $\text{CaCl}_2$  klart bedre egenskaper enn NaCl. Ved temperatur  $> -4^{\circ}\text{C}$  er det litt blandet erfaring mht hvilket av saltene som fungerer best.

Ved behov for raskest virkning er  $\text{CaCl}_2$  bedre enn NaCl ved alle temperaturer.

**Brukstemperatur**

Laveste anbefalte brukstemperatur varierer endel mellom de ulike kildene, fra  $-15$  til  $-35^{\circ}\text{C}$ . Det antas at den nyeste referansen som oppgir  $-25^{\circ}\text{C}$  for tørt salt (Persson and Ihs 1998) har den mest aktuelle anbefalingen.

**Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Pga hygroskopisiteten tørker ikke saltet opp på vegen, men vegen forblir våt og gir defor en glattere overflate. Restsaltet vil deretter tynnes ut og det kan fryse og forårsake glatt veg under forhold hvor man med bruk av NaCl hadde oppnådd en tørr overflate etter at saltløsningen hadde tørket opp.

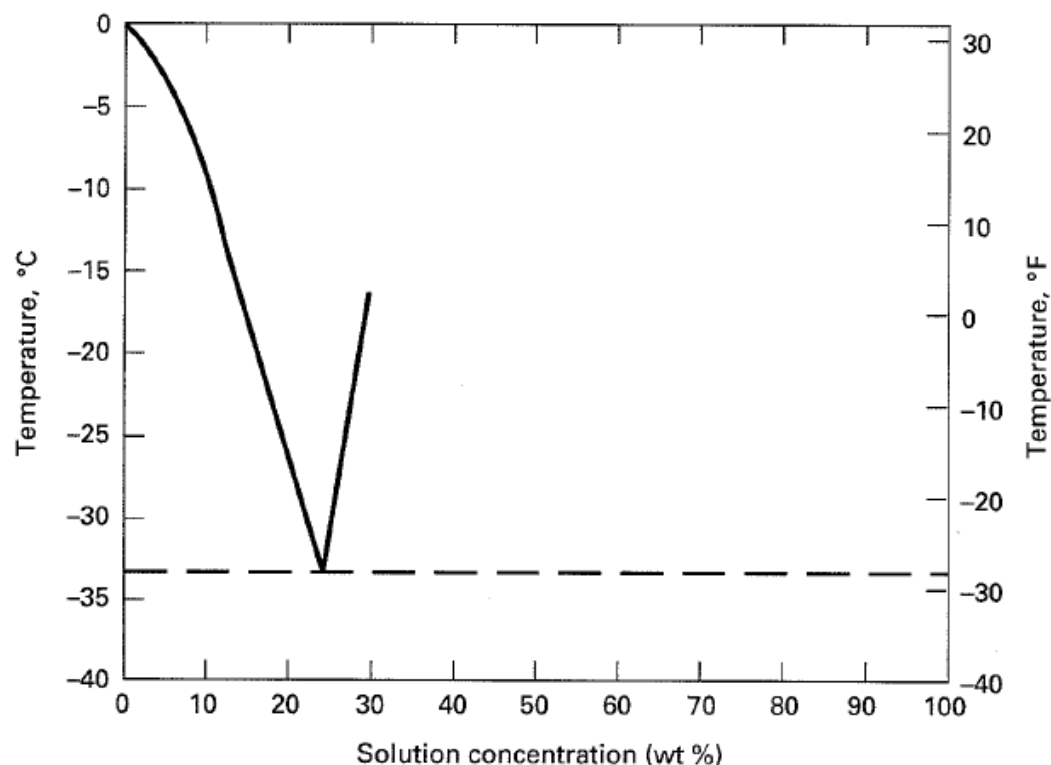
### 3.2.2 Magnesiumklorid - $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

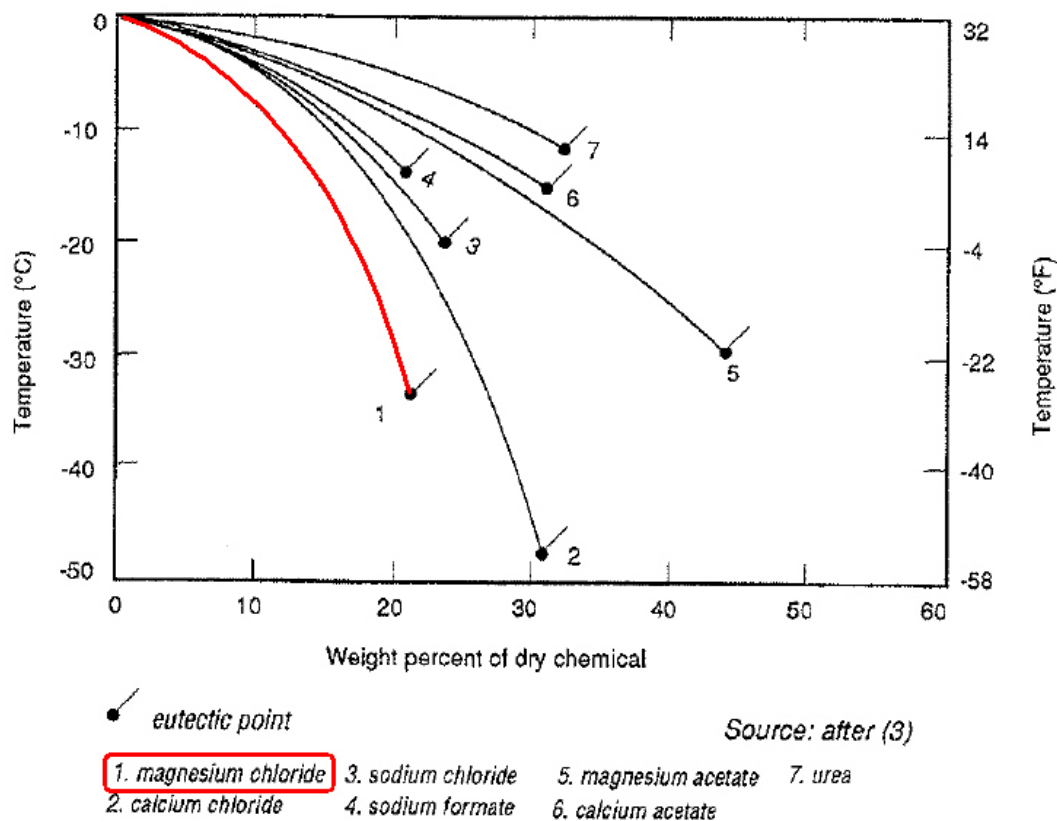
Typer/framstilling	I USA utvinnes $MgCl_2$ fra saltlake fra Great Salt Lake (Ketcham, Minsk et al. 1996).  Fra ( <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ) er følgende oppgitt mht framstilling: $MgCl_2$ kan framstilles industrielt ved reaksjon mellom saltsyre og metallisk magnesium. $MgCl_2$ finnes også i sjøvann og i mineralet karnallit.
Leveringsform	I fast form som: - Hvite krystaller, heksahydrat, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (46% $MgCl_2$ ) - Granulat - Flak
Anvendelsesform	Løsning (Ketcham, Minsk et al. 1996). Benyttes også som befuktning-løsning til NaCl, se kap. 4. Kan også benyttes som tørt salt (heksahydrat) når det ønskes spesielt rask reaksjon/smelting (Vejdirektoratet 2006).
Løselighet i vann	Har høy oppløselighet i vann (Vaa and Sakshaug 2007) Eksoterm reaksjon.
Laveste frysepunkt	-33°C (Minsk 1998)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	21.6%
Hygroskopisitet	Meget hygroskopisk. I fast form absorberes hurtig luftfuktighet og stoffet går i løsning (Minsk 1998). Mer hygroskopisk enn $CaCl_2$ (Järvinen 1995).

#### Fasediagram

Fra (Minsk 1998):



Kilde (Perchanok, Manning et al. 1991):



### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Smelteeffekt ved -2°C:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vannfritt: 27.2 g is/g <math>MgCl_2</math> (Vejdirektoratet 2006)</li> <li>- hexahydrat: 12.8 g is/g <math>MgCl_2 \cdot 6H_2O</math> (Vejdirektoratet 2006)</li> </ul> <p>Smelteeffekt ved -5°C:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vannfritt: 12.7 g is/g <math>MgCl_2</math> (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)</li> <li>- hexahydrat: 6.0 g is/g <math>MgCl_2 \cdot 6H_2O</math> (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)</li> </ul> <p>Smelteeffekt ved -10°C:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vannfritt: 7.6 g is/g <math>MgCl_2</math> (Vejdirektoratet 2006)</li> <li>- hexahydrat: 3.5 g is/g <math>MgCl_2 \cdot 6H_2O</math> (Vejdirektoratet 2006)</li> </ul> <p>Veldig like smelteegenskaper som <math>CaCl_2</math>, men litt mindre smeltekapasitet (Minsk 1998).</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	<p>Fra (Fay, Shi et al. 2009):</p> <p>Penetrasjonstest ble gjennomført med følgende materialer: NaAc (s), NaF (s), NaCl (s), <math>MgCl_2</math> (l), KAc (l) og ABP (l, med høyt innhold av klorider). Ved 0°C pentetrette både KAc (l), <math>MgCl_2</math> (l) og ABP til bunns i løpet av 30 min. Penetrasjonen avtok gradvis ved senking av temperaturen. De faste stoffene virket alle ganske godt ved 0°C, med unntak av NaAc (s) som ikke penetrerte i det hele tatt. NaF (s) og NaCl (s) penetrerte ikke ved -12°C.</p>



	Termiske egenskaper ble testet i lab ved å bruke Differential Scanning Calorimetry (DSC). Resultatene viste at KAc hadde den laveste effektive temperaturen for å smelte is, fulgt av MgCl <sub>2</sub> .
Urenheter	Fra (Ketcham, Minsk et al. 1996): Kan inneholde sulfater, natrium, kalium, litium, brom og jern.
Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	Fra (Minsk 1998): Som fast stoff : -23°C. Løsninger på 20-25% MgCl <sub>2</sub> finnes for salg. Disse er effektive til smelting av is ved temperatur > -7°C.
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	I referansen (Perchanok, Manning et al. 1991) er det rapportert fra et feltforsøk i Richmond Hill, Ontario i 1988-89, der man benyttet en løsning på 600 liter/2 feltkm (= 192 kg tørrstoff pr 2 feltkm, løsningskonsentrasjon var 32%). Ved -15°C smeltet løsningen et tynt lag av tørr, lett snø på 1 time. På is ved samme temperatur var virkningen dårligere. Løsningen ble liggende i pøler som etter 18 timer hadde gjort isoverflaten løs, men isen under var fortsatt hard.
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	Fra (Minsk 1998): Har vist signifikant rest-effekt uten at det blir en glatt film på dekkeoverflaten.  (Perchanok, Manning et al. 1991): Tørker ikke opp og kan derfor fryse til is etter uttynning. Løsning som spruter på biler forble våt i 4 dager.
Andre egenskaper	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	Fra (Shi, Fay et al. 2009) Følgende rangering (best kommer først) hevdes knyttet til håndteringen av noen kjemikalier: MgCl <sub>2</sub> lettere øyeirritasjon NaCl      lettere øyeirritasjon CMA      lettere øyeirritasjon, hudirritasjon CaCl <sub>2</sub> øyeirritasjon, hudirritasjon, giftig hvis støv inhaleres  Fra (Vejdirektoratet 2006): Som fast stoff skal MgCl <sub>2</sub> leveres og oppbevares i absolutt luft- og vanntett emballasje slik at materialet er beskyttet mot luftfuktigheten.
<b>Andre vurderinger</b>	
	Fra (Vaa and Sakshaug 2007): I forhold til NaCl har MgCl <sub>2</sub> følgende fordeler iht: - kan benyttes ved lavere temperatur - fester seg bedre til vegbanen - gir mer varig effekt - gir raskere smelting  Fra (Vaa and Meland 2002): Høyere egenvekt og annet fasediagram enn NaCl gir følgende sammenlignet med NaCl iht: - bedre vedheft, mindre tap - lavere saltforbruk - raskere tineeffekt - effektiv ved lavere temperatur - homogent og kontrollert strøibilde

	<p>Benyttet som befruktningmiddel til NaCl er det et spørsmål om det er reelle forskjeller ift. befruktning med NaCl-løsn eller rent vann. En del av egenskapene ovenfor ovenfor må anses som hypoteser snarere enn fakta.</p> <p>Fra (Ihs 1998):  CaCl<sub>2</sub> -løsning regnes ikke som et seriøst alternativ til NaCl.  MgCl<sub>2</sub> har de samme ulemper som CaCl<sub>2</sub>, og er heller ikke like effektiv.</p>
--	--

## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

Pga materialets store hygroskopisitet, mer hygroskopisk enn CaCl<sub>2</sub>, må MgCl<sub>2</sub> som fast stoff leveres og oppbevares i absolutt luft- og vanntett emballasje. Mht. lagerhåndtering er MgCl<sub>2</sub> rangert som lite problematisk, enda mindre problematisk enn NaCl. Det er kun fare for øyeirritasjoner ved håndteringen på lager.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Teoretisk smelteeffekt er for vannfritt MgCl<sub>2</sub> noe større enn både CaCl<sub>2</sub> og NaCl ved temperatur -5 eller lavere. Ved temperatur -2°C har NaCl noe bedre smelteeffekt. Men som heksahydrat som er den vanlige formet av tørt salt, er smelteeffekten omtrent halvparten av NaCl. Ved utstrøing av tørt MgCl<sub>2</sub> (hekshydrat) tilsier dette behov for omtrent dobbel dosering i forhold til NaCl, og tilsvarende færre strøkm pr lass. At materialet er emballert forutsetter effektive lesseanordninger tilknyttet lageret.

### **Utspredning**

Spres som tørt stoff eller løsning. Pga hygroskopisiteten vil tørre korn raskt trekke til seg luftfuktighet, og den eksoterme reaksjonen påskynder smelteprosessen. Det betyr at den tørre fasen etter utlegging er kortvarig, og fuktigheten rundt kornene er med på å binde dem til overflaten slik at de ikke er så utsatt for å blåse bort fra vegen pga vindtrykk fra kjøretøy.

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Materialets hygroskopisitet og eksoterme reaksjon gir en veldig rask virkning etter utlegging. Feltforsøk viser at MgCl<sub>2</sub>-løsning ikke egner seg for å smelte tykke islag.

### **Brukstemperatur**

Laveste brukstemperatur for MgCl<sub>2</sub> er oppgitt til -23°C. For bruk av løsninger for å smelte snø/is er MgCl<sub>2</sub> effektiv ved temperatur > -7°C.

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Pga hygroskopisiteten tørker ikke saltet opp på vegen, men vegen forblir våt og gir defor en glattere overflate. Restsaltet vil deretter tynnes ut og det kan fryse og forårsake glatt veg.

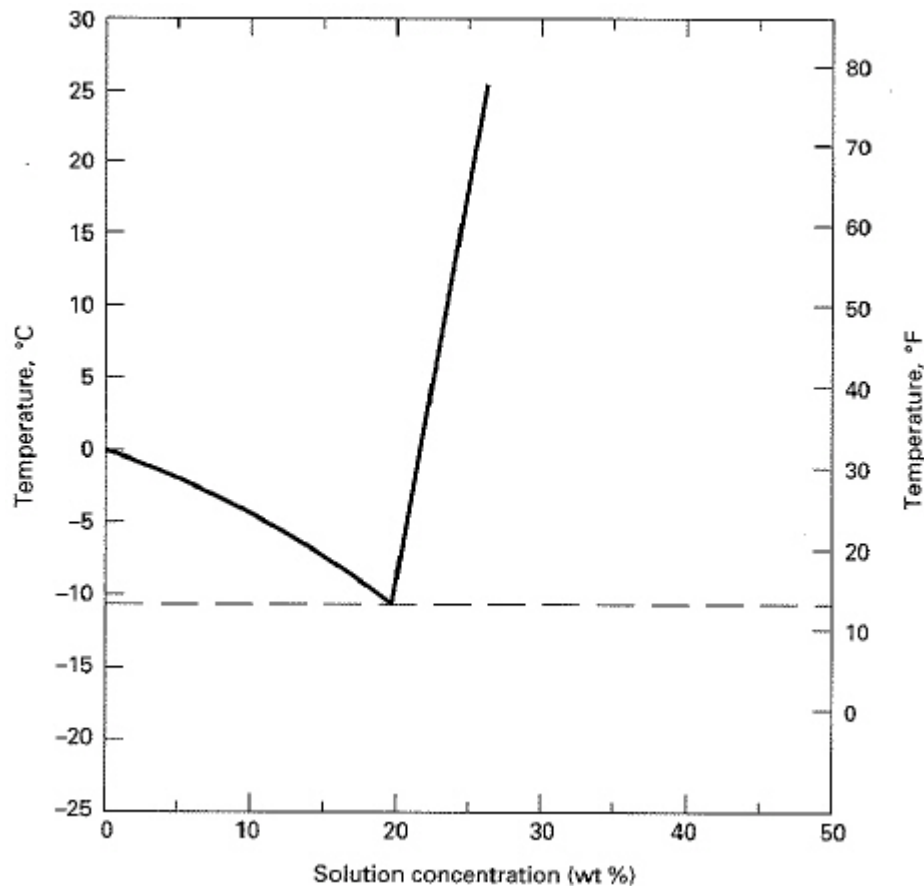
### 3.2.3 Kaliumklorid - KCl

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	
Leveringsform	Hvite krystaller eller krystallinsk pulver
Anvendelsesform	
Løselighet i vann	28 g/100 g H <sub>2</sub> O ved 0°C
Laveste frysepunkt	-10.7°C
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	ca 20 %
Hygroskopisitet	Hygroskopisk

#### Fasediagram

Fra (Minsk 1998):



#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	Lignende smelteegenskaper som NaCl (Minsk 1998)
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	Fra (McElroy, Blackburn et al. 1988) og (McElroy, Blackburn et al. 1990): Rangering av de testede kjemikaliene mht de beste penetrasjon- og undercuttingsegenskaper av is er: 1: CaCl <sub>2</sub> - 2: NaCl - 3: KCl - 4: Urea  I forsøket klarte ikke urea og KCl å "undercutte" 3 mm is ved temperatur -7°C og lavere.
Urenheter	

Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	-5°C (Minsk 1998)
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper (friksjon)	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	

### ***Oppsummering for materialet***

#### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Penetrasjons- og undercutting egenskapene er dårligere enn for NaCl, men bedre enn for urea. Det eutektiske punktet i faseagrammet nås ved en forholdsvis høy temperatur, -10.7°C.

Det er funnet lite informasjon om smeltekapasitet, -hastighet og -effekt, men det som finnes antyder at smelteegenskapene er omlag som for NaCl.

#### **Brukstemperatur**

Laveste brukstemperatur for KCl er oppgitt til -5°C.

### 3.3 Organiske salter

#### 3.3.1 CMA – Kalsiummagnesiumacetat

##### *Fysikalske-/kjemiske egenskaper*

Typer/framstilling	Fra (Ketcham, Minsk et al. 1996): Blanding av kalsiumacetat og magnesiumacetat. 3:7 forhold mellom Ca og Mg er optimalt iht FHWA studier. Framstilles ved reaksjon mellom eddiksyre og dolomittkalkstein. Dolomittkalkstein er en blanding av kalsiumkarbonat, $\text{CaCO}_3$ og magnesiumkarbonat, $\text{MgCO}_3$ . Den dyreste komponenten i framstillingen er eddiksyre som produseres fra naturgass eller olje.
Leveringsform	Pellets Granulat Løsning  Pellets eller granulat har densitet 0.56 g/cm <sup>3</sup> iht (Palmer 1987). Densitet er 0.83 g/cm <sup>3</sup> iht (Ernst, Demich et al. 1985).  Clearway CMA har relativt høy densitet, men noe lavere enn for NaCl, runde korn med partikkelstørrelse 2-3mm.  Tidligere ble CMA levert som pulver.
Anvendelsesform	Fast stoff Befuktet Løsning Tilsetningsstoff til NaCl både som fast stoff (til blandinger) og som befuktningssvæske, se kap 4.
Løselighet i vann	Har dårligere løselighet i vann enn NaCl (Minsk 1998).
Laveste frysepunkt	-27.5°C ved 3:7 Ca:Mg (Minsk 1998) -26°C (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007) -15 til -30°C, avhengig av Ca/Mg forhold (3:7 gir lavest temperatur) (Bjerrum, Pedersen et al. 1991)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	32.6% ved Ca:Mg forhold på 3:7 (Minsk 1998)
Hygroskopisitet	Svært hygroskopisk (Vaa and Sakshaug 2007) Ikke signifikant absorpsjon av luftfuktighet (Minsk 1998) Høy hygroskopisitet (OECD 1989).

##### **Fasediagram**

Fra (Ketcham, Minsk et al. 1996):

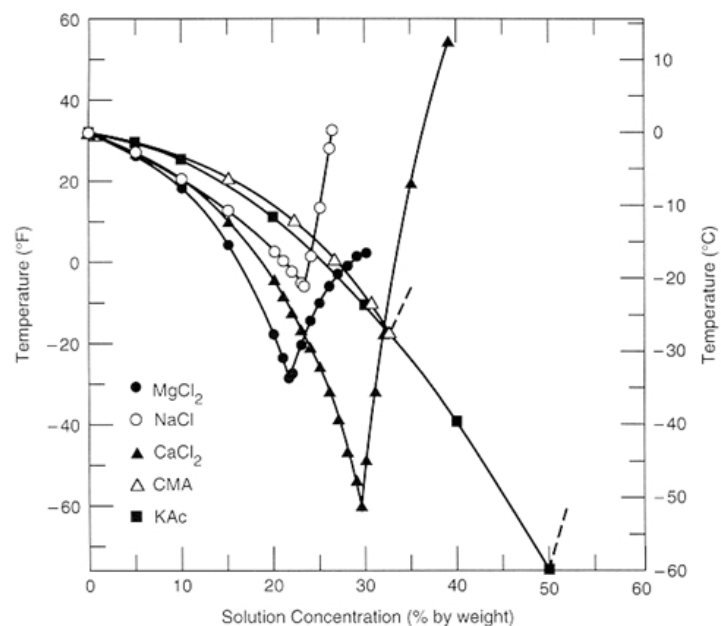


Figure 17. Phase diagrams of five chemical solutions.

**Driftstekniske egenskaper****Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk**

Smeltekapasitet,  
smeltehastighet,  
smelteeffekt

Ved -2°C:

- vannfritt: 15.7 g is/g CMA (Vejdirektoratet 2006)
- 25% løsn: 3.0 g is/g CMA (Vejdirektoratet 2006)

Ved -5°C:

- vannfritt: 7.3 g is/g CMA (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)
- 25% løsn: 1.0 g is/g CMA (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)

Ved -10°C:

- vannfritt: 4.2 g is/g CMA (Vejdirektoratet 2006)
- 25% løsn: 0.3 g is/g CMA (Vejdirektoratet 2006)

Stoffet har en langsom smelteeffekt (Vaa and Sakshaug 2007).

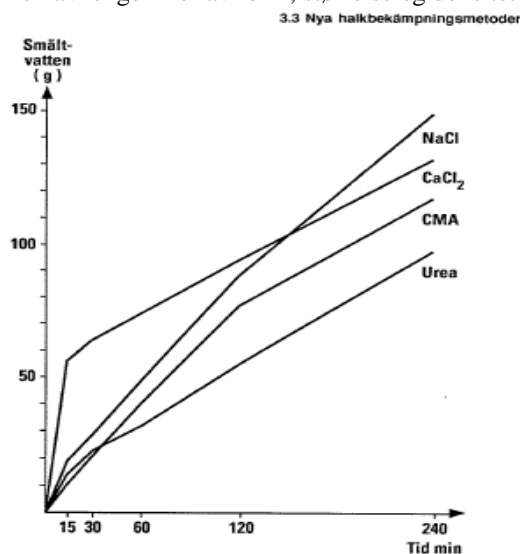
Fra (McElroy, Blackburn et al. 1988):

Smeltetest med 1 times oppfølging, ved temperaturene -4, -9, -12 og -15°C og med lik mengde (102 g/m<sup>2</sup>) strømiddel for alle typene (steinsalt og to typer CMA). CMA var ubrukelig ved -9°C og lavere.

Fra (Gustafson 1994):

CMA har dårligere smelteeffekt enn CaCl<sub>2</sub> og NaCl, men bedre enn urea. Det bemerkes at CMA har meget lav initial smeltreaksjon, mens NaCl og spesielt CaCl<sub>2</sub> har en veldig rask smelteeffekt.

De samme forholdene gjaldt også ved -6 og -10 gr, men med en enda tydeligere tregere smelteeffekt for CMA sammenlignet med NaCl og CaCl<sub>2</sub>. Smelteeffekten til CMA varierer ikke så mye pga Ca/Mg-forholdet, men avhenger mer av form, størrelse og densitet på partiklene.



Figur 3.44 Smelteeffekten hos ulike halkbekämpningsmedel vid laboratorieförsök i -2°C. Försök på isblock. Pålagd saltmängd 20 g/114 cm<sup>2</sup>.

VTI RAPPORT 369

136

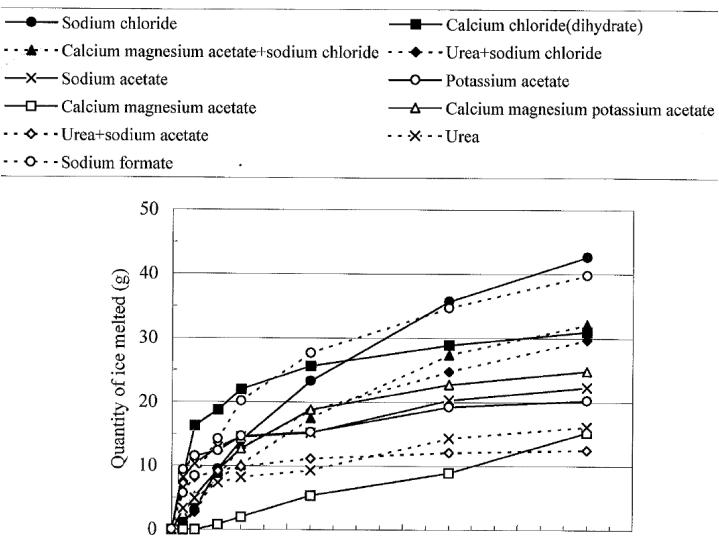
Fra (Vaa and Meland 2002):

CMA har dårligere løselighet i vann enn CaCl<sub>2</sub> og NaCl, og smelteeffekten er derfor langsommere.

Fra (Mori, Meiarashi et al. 2002):

Lab-smeltetest ved -5°C (figuren viser g is smeltet med 5 g kjemikalie):

CMA viser minst smelting gjennom hele tidsperioden 0-3 timer. CMA har

	<p>lavest og tregest smeltekapasitet ift alle andre kjemikalier som ble testet.</p> 
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	Fra (McElroy, Blackburn et al. 1988): CMA er mye mindre effektiv mht penetrasjon og undercutting enn steinsalt ved alle temperaturer.
Urenheter	Inneholder ofte forurensende urenheter (OECD 1989).
Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	<p>-10°C – (-5°C?) (Vaa and Sakshaug 2007).  -10°C, det er observert tendenser til gjenfrysing ved lavere temperaturer (Vaa and Meland 2002).  -7°C (Minsk 1998).  - fungerer best ved temperatur &gt; -4°C (Palmer 1987).  - CMA ubrukelig som issmeltemiddel ved -9°C og lavere (McElroy, Blackburn et al. 1988).  - Reagerte bra med snø og is ved temperatur 0 - -4°C . Ved temperatur lavere enn -4°C er smelteeffekten sterkt redusert (Ernst, Demich et al. 1985).  - fungerer som issmeltemiddel i praksis bare ned til -5°C. Som fast stoff skjer optining meget langsomt, hvis det da ikke er stor trafikkintensitet.</p>
Forbruk ved utstrøing	<p>Fra (Ernst, Demich et al. 1985):  4-600 lbs/lanemile CMA var ikke nok for å oppnå samme resultat som ved bruk av samme mengde Urea.</p> <p>Fra (Vegdirektoratet 1995):  20 g/m<sup>2</sup> gav god virkning ved rim og ved våt veg som fryser. Ved snøvær gav ikke 20 g/m<sup>2</sup> tilfredsstillende virkning, dosering måtte økes til 40 g/m<sup>2</sup> (uklart om effekt er like bra som om man hadde brukt salt). Vegbanen ble ikke så våt som den blir ved bruk av NaCl.</p> <p>Fra (OECD 1989):  Dårligere virkning enn NaCl og behøver dobbel mengde for å oppnå samme effekt.</p>
Preventiv strøing	Fra (Ketcham, Minsk et al. 1996): Løsning med 25% konsentrasjon anbefales til preventiv bruk.

	<p>Fra (Alger, Adams et al. 1994) og (Alger, Beckwith et al. 1994): Ved preventiv bruk viser feltforsøket at CMA fungerer bedre (gir bedre friksjon) som løsning enn som fast stoff. Selv ved dobbel mengde utlagt som tørt stoff ift mengde tørt stoff i løsningen (<math>15.3 \text{ g/m}^2</math> tørt mot <math>7.7 \text{ g/m}^2</math> tørt stoff i løsning) har løsningen bedre effekt i form av best friksjon.</p>
Strøing på rim/tynne islag	<p>Fra (Ernst, Demich et al. 1985): Virker ikke godt som is-smeltemiddel i fast form fordi det tiltrekker vann og har lav densitet som reduserer penetrasjonsevnen.</p> <p>Fra (McElroy, Blackburn et al. 1990): Reagerte bra med snø og is ved temperatur <math>0 - -4^\circ\text{C}</math>, men langsommere enn urea. Pga tregere reaksjon med issålen enn Urea forsvant mye av stoffet pga trafikken. Det antydes at bruk av CMA tidlig under snøvær hindrer oppbygging av såle bedre enn NaCl, og medfører at det går raskere å få fram bar veg. CMA karakteriseres som et lite effektivt middel for å løse opp is.</p> <p>Fra (Chollar 1984): Bruk av CMA og NaCl for å smelte bort 38 mm pakket snøsåle. Begge leverte bar veg på 2,5 t, NaCl noe raskere, ved bruk av <math>100\text{g/m}^2</math>, temperatur var <math>-1^\circ\text{C}</math>.</p>
Strøing under snøvær	<p>Fra (Minsk 1998): CMA virker mest effektivt for å beholde snøen melen og dermed lett å brøyte bort. Krever 40 % mer middel for å virke like effektivt som NaCl. Har rest-effekt.</p> <p>Fra (McElroy, Blackburn et al. 1990): Reagerte bra med snø og is ved temperatur <math>0 - -4^\circ\text{C}</math>, men langsommere enn urea. Det antydes at bruk av CMA tidlig under snøvær hindrer oppbygging av såle bedre enn NaCl, og medfører at det går raskere å få fram bar veg.</p> <p>Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): Refererte feltforsøk i US: Ved forbruk på 1.1 – 1.7 så mye CMA som NaCl oppnås samme effekt som av NaCl ved temperatur ned til <math>-5^\circ\text{C}</math>. Ved lavere temperatur virket CMA langsommere enn salt.</p> <p>Egne feltforsøk/driftooppfølginger: Burlington: 1.4 – 1.7 ganger saltforbruket medførte samme effektivitet som bruk av NaCl. Effektiv smelting av løs snø ved normale testforhold (lett snø, mye trafikk, temperatur <math>&gt;-5^\circ\text{C}</math>. Residual effekt, dvs langtidsvirkning, ble observert. Owen Sound, kaldere klima: Samme effektivitet som NaCl ved smelting av løs snø og løse opp pakket snø når temperatur <math>&gt;-5^\circ\text{C}</math>. Ved lavere temperatur virket CMA signifikant langsommere. CMA løste løs og pakket snø til "slush" som lett lot seg brøyte bort. Residual effekt ble observert. Dekket forble vått i timer eller dager. Fokksnø smeltet ikke så raskt som den ble tilført, men festet seg ikke til dekket. Det er under diskusjon om CMA kan regnes som et effektivt avisings middel</p> <p>Fra (Palmer 1987): Virker langsommere enn NaCl.</p> <p>Fra (Ernst, Demich et al. 1985): Hindret oppbygging av issåle ved snøvær bedre enn NaCl. NaCl smeltet mer av snøen i brøtekantene enn CMA. Framtidig testing burde se på bruk av begrensede mengder CMA (125-200 lbs/lanemile) ved starten av snøvær. Besparing fra mindre ploging mm kan gjøre at totalkostnaden blir nærme den ved bruk av NaCl</p>



	<p>Fra (Bjerrum, Pedersen et al. 1991): CMA kan smelte snø og is ved omtrent like lave temperatur som veisalt, men fungerer langsommere. Til gjengjeld har CMA en lengrevarende effekt, således virker det forebyggende ved gjentatte frostsituasjoner. Ved snøfall og islag danner CMA en bløt form for slaps som skal ha bedre friksjonsegenskaper enn tilsvarende mengde slaps dannet av veisalt. For å oppnå helt bar veg vil det kreve utlegging av større mengder CMA enn veisalt. Men hvis det kan aksepteres en viss mengde slaps, kan CMA-doseringen reduseres betydelig. CMA fungerer ved lavere temperatur enn Urea. Dosering må være 50 % større enn for NaCl for å oppnå et rimelig føre.</p> <p>Fra (anon 1993): Uttalelse fra distriktsledelsen i Caltrans: CMA er klebrig og den har lang levetid sammenlignet med NaCl. CMA har effekt i lange perioder. Ved utlegging til rett tid ved snøvær opplever vi at snøen ikke binder seg til dekket.</p> <p>Fra (Øberg, Gustafson et al. 1991): CMA har lignende effekt som NaCl for å få bar veg, men skiller seg fra NaCl på to måter: Har en langsommere smelteeffekt og krever derfor 1,4-1,7 ganger høyere dosering for å oppnå samme effekt. Men residual-effekten er i alminnelighet bedre. Totalt ble derfor forbrukt "bare" 20-40 % høyere enn på NaCl-strekningen det ble sammenlignet mot.</p> <p>Fra (Chollar 1988), driftsforsøk i Wisconsin: I 3 stormer i november '86 ble CMA og NaCl benyttet i forhold 1,6:1. Avisingen var effektiv på begge strekningene. I desember, 7 stormer, ble CMA benyttet i forhold 1,4:1. Da smeltet CMA vanligvis snøen langsommere enn salt. Ingen av testene foregikk ved temperatur lavere enn -6°C. Konklusjoner: Ved temperatur 0 - -4°C av-iser CMA vegeer like effektivt som salt, men bruker lengre tid på å gi bar veg. I snitt ble 1,4 – 1,6 ganger mer CMA brukt pr gang enn salt. Men ved det doseringsforholdet var det ikke nødvendig å gjøre så mange tiltak med CMA som med NaCl. Totalt ble bare 1,1 – 1,2 ggr mer CMA (vekt) brukt enn salt i de fleste stormene. Det ble også observert resteffekt fra CMA ift til at smelteegenskaper ble bevart også til neste snøfall. CMA hindret pakking av snø til såle bedre enn NaCl.</p> <p>(Fritzsche 1991) refererer til erfaringer fra andre: Fra Massachusetts DOT: Et tidlig tiltak med CMA i et snøvær som startet ved 0°C der temperaturen sank til -15°C. Brøyting foregikk kontinuerlig. Snøen ble bare pakket på få steder av trafikken. På en sammenlignende strekning med bruk av NaCl pakket den våte snøen seg sammen og frøs til issåle.</p> <p>Fra OklahomaDOT – sjåfør: CMA ser ut til å vare dobbelt så lenge som NaCl.</p> <p>Fra Pennsylvania: CMA reagerte som forventet, det gjorde at snøen ikke pakket seg.</p> <p>Fra (Hamilton, Miner et al. 1989): Det ble oppnådd ferdig smeltet vegbane 1 time etter NaCl når det ble brukt 1.6 ganger mer av CMA ved spredning. CMA synes å være bedre til å hindre binding av snø til vegbanen og hindre pakking til issåle enn å være et smeltemiddel</p> <p>Fra (Harris, Turner et al. 1993): For mye utspredd CMA kan forklare en melkaktig væske funnet på vegen under testen. CMA var effektivt for å smelte issåle ved temperatur &gt; -4°C. Ved temperatur under -7°C var det ingen smelting. CMA dannet en lett snø som noen ganger var vanskelig å brøyte vekk fra midten av vegen.</p>
--	---

	<p>Fra (Manning and Crowder 1989): Oppfølging av tiltak og forbruk i 2 hele vintersesonger med sammenligning av NaCl og CMA på høytrafikks motorveg: Viser detaljert oversikt over tiltak og forbruk for hvert av materialene for alle stormene i en vintersesong. Totalt ble det brukt 1.2 ganger mer CMA enn salt for å oppnå bar veg - færre tiltak, men 1.5 til 1.7 ganger mer pr tiltak. De fleste snøfall var ved temperatur i området 0 - -5°C. Bar veg ble oppnådd på omtrent samme tid på begge strekninger (med ett unntak). Året etter i et oppfølgingsforsøk på samme sted, men med andre typer snøfall (mindre og flere) ble det gjennomsnittlig brukt 1.4 ganger mer CMA enn NaCl, men med samme oppnådde effekt, dvs bar veg, på omtrent samme tid.</p> <p>Fra (Manning and Perchanok 1993): Videreføring av arbeidet beskrevet i forrige avsnitt. Utprøving i 2 sesonger på veger i et kaldere klima og med lavere trafikk. Forsøkene i 4 sesonger viser at CMA kan være en effektiv erstatning for NaCl ved begrensede temperaturforhold. Men benyttet som erstatning for salt fullt ut, ville det bety en signifikant minskning av servicenivået mht snø- og isfjerning, selv om budsjettet skulle tillate ubegrenset bruk av CMA.</p> <p>Fra (Smith Jr 1989): 48% mer CMA og CMA/sand blanding ble brukt enn NaCl gjennom vinteren for å oppnå bar veg (28 stormer). Mannskapet bedømte NaCl som mest effektiv i 60 % av stormene og CMA ble bedømt best i 1 storm. Både CMA og NaCl var mer effektive ved høyere trafikk og høyere temperatur. Ved liten trafikk var CMA typisk dårligere enn NaCl. CMA løste seg raskere når dekketemperaturen var høyere. Lengde på uvær så ikke ut til å ha noen betydning for forskjell i bedømt virkning. Det ble ikke registrert forskjeller i smelting mellom CMA-strekninger på betong eller asfalt.</p> <p>Fra (Dahl 2009): CMA brukte så lang tid på smeltingen at lite av snøen smeltet i løpet av forsøket.</p>
Opptørkingsegenskaper	<p>Fra (Palmer 1987): Stoffet tørker ikke opp og er dermed utsatt for tilfrysing ved frost.</p> <p>Fra (Ernst, Demich et al. 1985): Den største ulempen var at overflaten ikke tørket opp og krevde nye tiltak for å unngå tilfrysing ved (natte)frost.</p> <p>Fra (Chollar 1988): Etter opptørking er CMA-strekningene mørkere i fargen enn NaCl-strekningene.</p> <p>Fra (Ihs and Gustafson 1996): CMA blir beskrevet som et akseptabelt is-smeltemiddel, men ikke like effektivt som salt. Ved temperaturer lavere enn -5°C er det betydelig dårligere. CMA ser ut til å være mer et preventivt middel mht is, og også aktuelt ved snøvær for å hindre pakking av såle. For at CMA skal virke effektivt er det avhengig av høyere temperatur og høyere fuktighet, og har større følsomhet mht tidspunkt for utførelse og ÅDT enn NaCl. CMA bør spres i en tidlig fase av snøværet, i en stor mengde. Noen undersøkelser viser lenger varighet av tiltaket, og derfor behov for færre tiltak. Er også observert å ha en residual-effekt mellom to snøfall (både spredd som fast stoff og løsnings). Dette forklares av at CMA har bedre vedheft mot vegbanen.</p>
Andre egenskaper (friksjon)	<p>Fra (Chollar 1988): Film på bilruter fra CMA-strekningene var vanskeligere å fjerne enn fra salt-strekningene</p>

<b>Håndtering</b>									
Lagring (inkl additiver) og spredning	<p>Fra (Palmer 1987): CMA støver, og er dermed et sikkerhetsproblem ved spredning. Mannskap må bære støvmaske ved lessing. CMA har lav densitet og blåser derfor lett av bilen under transport/utlegging. Stoffet tenderer til å kake seg på planet og i utlegger.</p> <p>Fra (McElroy, Blackburn et al. 1988): Pga oppmalingsgraden er ikke pulveret fra RAD-Services bedømt å være brukelig i vanlige spredere, og ansees derfor uaktuelt selv om dette var mest virkningsfullt i labtestene.</p> <p>Fra (Ernst, Demich et al. 1985): Meget støvete ved håndtering, krevde støvmaske. Støver ved spredning</p> <p>Fra (Chollar 1988): Lav densitet gjør at den blåser av lasteplanet hvis den ikke dekkes til, og spretter også bort fra vegdekket. Sprederen tettet seg til med CMA. Støv ble opplevd som et problem ved håndteringen</p> <p>Fra (Fritzsche 1991): I motsetning til før er CMA som brukes i dag en tett, hard pellet og ikke et støvete pulver.</p> <p>Fra (Harris, Turner et al. 1993): CMA-kornene spratt ofte av vegbanen ved utlegging. CMA renner ut av sprederen ukontrollert og fører til sløsing/overforbruk. CMA størknet og kaket seg i sprederen. CMA produserer mye støv og støvmaske behøves ved handling. Det lukter eddik.</p> <p>Fra (OECD 1989): Helseskadelige effekter for mannskapet (luftveier og hud). Høy hygroskopisitet som medfører lagrings-vanskeligheter.</p> <p>Fra (TRB 1991): Legges vanligvis i større mengder enn NaCl, vanligvis 20 % eller mer, men varierende fra gang til gang. Pga lav densitet kreves mer lastebilkapasitet og større lagerplass (60 % større eller mer).</p> <p>Fra (Bjerrum, Pedersen et al. 1991): CMA ble tidligere levert på pulverform som medførte støvproblemer ved håndtering (svie i øyne, svelg og på hender samt mageproblem). Senere har det blitt framstilt som granulat, noe som har gjort at det ikke er arbeidsmiljømessige problemer lenger.</p> <p>Fra (Shi, Fay et al. 2009): Følgende rangering (best kommer først) hevdes knyttet til håndteringen av noen kjemikalier:</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>MgCl<sub>2</sub></td> <td>lettere øyeirritasjon</td> </tr> <tr> <td>NaCl</td> <td>lettere øyeirritasjon</td> </tr> <tr> <td>CMA</td> <td>lettere øyeirritasjon, hudirritasjon</td> </tr> <tr> <td>CaCl<sub>2</sub></td> <td>øyeirritasjon, hudirritasjon, giftig hvis støv inhaleres</td> </tr> </table> <p>Fra (Vejdirektoratet 2006): Materialet har en tydelig eddiklukt som primært er til sjenanse for de som oppholder seg i nærheten ved lossing o.l. CMA i fast form skal oppbevares i vanntett emballasje.</p>	MgCl <sub>2</sub>	lettere øyeirritasjon	NaCl	lettere øyeirritasjon	CMA	lettere øyeirritasjon, hudirritasjon	CaCl <sub>2</sub>	øyeirritasjon, hudirritasjon, giftig hvis støv inhaleres
MgCl <sub>2</sub>	lettere øyeirritasjon								
NaCl	lettere øyeirritasjon								
CMA	lettere øyeirritasjon, hudirritasjon								
CaCl <sub>2</sub>	øyeirritasjon, hudirritasjon, giftig hvis støv inhaleres								

Andre vurderinger	
(sammenlign mot NaCl?)	<p>Fra (OECD 1989): Kan ikke bli regnet som et effektivt alternativ til NaCl for bruk i stor skala.</p> <p>Fra (TRB 1991): Funn i publiserte rapporter indikerer følgende: Fra feltforsøk: Har fungert akseptabelt, men generelt ikke på samme måte og så effektivt eller konsekvent som NaCl. Sammenlignet med NaCl reagerer det seinere og er mindre effektivt ved temperatur &lt; -5°C, og i underkjølt regn, tørt snøvær, og lett trafikk. Tidspunkt for utlegging er mer kritisk enn for NaCl. Ved for sein utlegging vil effekten være særlig redusert. Komitéen tror at bruk av CMA som generell erstatning for NaCl er lite trolig og uberettiget. Komiteen tror at selektiv bruk på utsatte/følsomme strekninger mht miljøpåvirkning, og på nye konstruksjoner som vil være utsatt for korrosjon ved bruk av kloridsalter, vil være de aktuelle bruksområdene.</p> <p>Fra (Attrup 2004): For Storebelt-forbindelsen går man bort fra å bruke alternative midler til glattførebehandling (CMA og KFo) pga - smeltekapasiteten til alternativene er dårligere enn for NaCl - 22%-løsning av NaCl er mindre aggressiv overfor varmforzinkede konstruksjoner enn alternativene.</p>

## Oppsummering for materialet

### Lagring

Pga materialets hygroskopisitet må CMA oppbevares/lagres i luft- og vanntette sekker. Leveringsformen i dag er enten pellets eller granulat, og støvproblemet er derfor mindre enn da materialet ble levert som pulver. Allikevel rangeres CMA som mer skadelig ved håndtering enn  $MgCl_2$  og NaCl, men bedre enn  $CaCl_2$ . CMA kan gi lettere øyerritasjon og hudirritasjon. Den tydelige eddiklukten fra stoffet kan være til sjenanse for de som oppholder seg i nærheten ved lessing. Pga materialets lave densitet, og det faktum at forbruket er større for å oppnå samme smelteeffekt som ved bruk av NaCl, gjør at lagerplassen må være vesentlig større enn det som behøves for NaCl.

### Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning

Teoretisk smelteeffekt er for CMA ørlite større enn for heksahydrat av  $MgCl_2$ , men atskillig lavere enn NaCl. Fra feltforsøkene som inngår i referansene er det varierende erfaringer med hvor mye mer CMA som må benyttes for å oppnå tilfredsstillende effekt, sammenlignet med mengde NaCl som har blitt spredd på referansestrekningen. Men de fleste ser ut til å rapportere et merforbruk på 1.4 - 1.7 ganger mer enn NaCl. Derimot tyder rapporteringene på at CMA har en noe lenger virkningstid som gjør at antall strøtiltak i løpet av et snøfall kan være noe færre ved bruk av CMA. Totalt sett er derfor merforbruket av CMA i forhold til NaCl ikke så høyt som 1.4 - 1.7, men mer trolig 1.2 - 1.4 ganger mer enn NaCl. Lavere densitet og høyere dosering gjør at hvert lass ved strøing på langt nær dekker samme strekning som et lass med NaCl. Derfor er utlegging av CMA mindre effektiv og dermed mer kostbar enn for NaCl.

At materialet er emballert forutsetter at effektive lesseanordninger tilpasset dette finnes tilknyttet lageret.

**Utspredning**

CMA strøes som tørt stoff eller løsning. Utlagt som tørt stoff forekommer problemer med at CMA-kornene er lette og spretter ofte av vegbanen ved utlegging. CMA renner ut av sprederen ukontrollert og fører til sløsing/overforbruk, og CMA størkner og kaker seg i sprederen.

**Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

CMA har dårligere smelteeffekt enn  $\text{CaCl}_2$  og  $\text{NaCl}$ . Det bemerkes at CMA har meget lav initial smelteeksjon, mens  $\text{NaCl}$  og spesielt  $\text{CaCl}_2$  har en veldig rask smelteeffekt. Men det er noe motstridende opplysninger mht om hvilket materiale som har best smelteeffekt av CMA og urea.

Pga langsom løselighet i vann egner ikke CMA seg som fast stoff til preventive tiltak, da bør heller løsning benyttes. 25 % konsentrasjon er det som er referert benyttet for CMA-løsning.

Lav densitet og tiltrekningen av vann uten at det løser seg opp gjør at CMA ikke duger til å penetrere is og det regnes som et lite egnet ismeltemiddel, særlig ved temperaturer under  $-4^\circ\text{C}$ .

Under snøvær ser det ut til at CMA utlagt til rett tid og i forholdsvis stor mengde holder snøen melen og hindrer såledannelse bedre enn  $\text{NaCl}$ , og gjør snøen lettere å brøyte bort. 40% mer CMA enn  $\text{NaCl}$  må legges ut for å få denne effekten.

**Brukstemperatur**

Som ismeltemiddel er det ikke rapportert om brukbare resultater ved temperaturer lavere enn  $-5^\circ\text{C}$ . Ellers rapporteres det om at CMA kan brukes ned mot  $-10^\circ\text{C}$  (antagelig da som strømiddel ved snøvær).

**Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Stoffet tørker ikke opp og er dermed utsatt for tilfrysing ved frost. Tilfrysing unngås med nye strøtiltak. Men dermed har stoffet også residual effekt som kan vedvare til neste snøfall. Dette forklares av at CMA har bedre vedheft mot vegbanen enn  $\text{NaCl}$ .

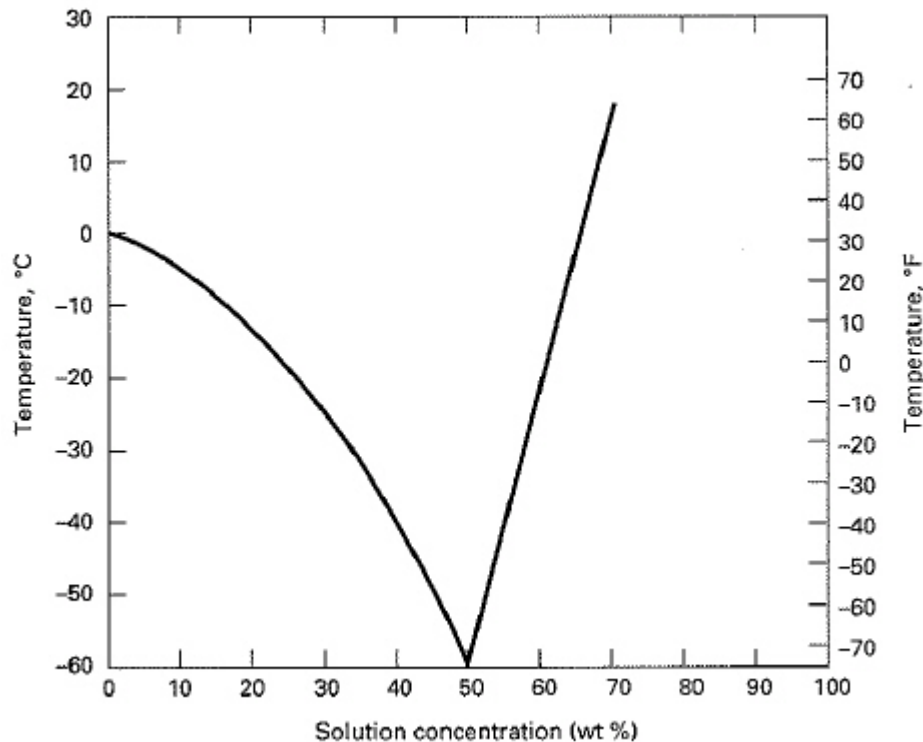
### 3.3.2 Kaliumacetat – CH<sub>3</sub>COOK (KAc)

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	Framstilles som reaksjon mellom eddiksyre og kaliumkarbonat
Leveringsform	- hvite, krystallinske flak, - fargeløse, utflytende krystaller (pulver med saltsmak) Kommersielt tilgjengelig i form av løsning med konsentrasjon på 50%
Anvendelsesform	Fra (Ketcham, Minsk et al. 1996): 50%-løsning 50%-løsning er også benyttet som befuktningvæske for NaCl
Løselighet i vann	255g pr 100 g H <sub>2</sub> O (20°C). Dårligere løselighet i vann enn NaCl. Absorberer luftfuktighet og løser seg opp. Litt glatt film på overflaten (Minsk 1998).
Laveste frysepunkt	-60°C (Ketcham, Minsk et al. 1996) <-50 (Bjerrum) (-40 ved 50 vekt-% løsning iht Gustafson, stemmer ikke med fasediagram til Minsk)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	49% (Ketcham, Minsk et al. 1996).
Hygroskopisitet	Hygroskopisk (i fast form må den vernes mot fuktighet)

#### Fasediagram

Fra (Minsk 1998):



**Driftstekniske egenskaper**

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Smelter 4 g is pr g strømiddel ved -5°C (Vaa and Sakshaug 2007).</p> <p>Meget bra smelteeffekt (Minsk 1998).</p> <p>Fra (Bjerrum, Pedersen et al. 1991): KAc ser ut til å reagere hurtigere enn de fleste andre midler. Men fungerer dårlig på massiv is fordi det har en tendens til å flyte vekk</p> <p>Fra (Mori, Meiarashi et al. 2002): Lab-smeltetest ved -5°C (figuren nedenfor, figuren viser g is smeltet med 5 g kjemikalie): CMA viser minst smelting gjennom hele tidsperioden 0-3 timer. KAc viser i lab-øvelsen smeltekapasitetsegenskaper bedre enn urea og CMA gjennom hele testperioden. De første 30 min er smelteeffekten også bedre enn NaCl. KAc og NaAc er omtrent likeverdige gjennom hele forsøket.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Figure 5. Results of measurement of quantity of ice melted (-5°C, 5g)</p> <p>Fra (Øberg, Gustafson et al. 1991): Lavt frysepunkt og utlegging som løsning medfører rask smelteeffekt. Raskere og bedre effekt enn urea ved feltforsøk. Langtidseffekten blir det derimot satt spørsmåltegn ved.</p> <p>Fra (Vaa and Meland 2002): Det er funnet at kalsiumacetat har en hurtigere og bedre effekt enn urea, men det er stilt spørsmål ved langtidseffekten til kjemikaliet</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	<p>Fra (Fay, Shi et al. 2009): Penetrasjonstest ble gjennomført med følgende materialer: NaAc (s), NaF (s), NaCl (s), MgCl<sub>2</sub> (l), KAc (l) og ABP (l, med høyt innhold av klorider). Ved 0°C pentrerte både KAc (l), MgCl<sub>2</sub> (l) og ABP til bunns i løpet av 30 min. Penetrasjonen avtok gradvis ved senking av temperaturen. De faste stoffene virket alle ganske godt ved 0°C, med unntak av NaAc (s) som ikke penetrerte i det hele tatt. NaF (s) NaCl (s) penetrerte ikke ved -12°C. (s = stoff) (l = løsning)</p>

	Termiske egenskaper ble testet i lab ved å bruke Differential Scanning Calorimetry (DSC). Resultatene viste at KAc hadde den laveste effektive temperaturen for å smelte is, fulgt av MgCl <sub>2</sub> .
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	-25°C (Minsk 1998). Vil fungere under -20°C, men har ikke vært testet ved så lave temperaturer (Bjerrum, Pedersen et al. 1991).
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	Fra (Bjerrum, Pedersen et al. 1991): Kun få utprøvinger er gjort på rullebane. Kun ved moderat frost, -3 til -4°C, og kun ved tynne islag. Under disse betingelsene synes KAc å være hurtigvirkende i forhold til bl.a. urea. Til gjengjeld indikerer noen forsøk at KAc ikke er særlig effektivt overfor tykkere islag. Det er gjennomført enkelte tester av KAc ved temperatur under -15°C som viser at KAc kan reagere over for snø og is ved disse temperaturer, men det kan ikke konkluderes nærmere ut fra så få tester.  Fra (Gustafson 1994): Har raskere og bedre smelteeffekt enn Urea, men det stilles spørsmål ved varigheten. Materialet er veldig hygroskopisk og kan dermed føre til mer langvarig vått dekke, og kan lede til uttynning og tilfrysing.
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	Fra (Øberg, Gustafson et al. 1991): KAc er hygroskopisk. Det medfører lengre periode med våt vegbane og risiko for tilfrysing.
Andre egenskaper (friksjon)	Fra (Fay, Shi et al. 2009): Den ABP baserte løsningen gav lavest friksjon i labtest, både før og etter at isen har smeltet, ift de andre kjemikaliene NaCl (s), MgCl <sub>2</sub> , KAc, NaAc, NaF, CMA og blanding av NaAc/NaF.
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	
	Bruk på flyplasser øker, i form av løsning med 50% konsentrasjon, fordi KAc er lite korrosivt og har god smelteeffekt.  Fra (Vaa and Meland 2002): KAc er framstilt som et alternativ til urea til bruk på flyplasser. Det er funnet at kaliumacetat har en hurtigere og bedre effekt enn urea, men det er stilt spørsmål ved langtidseffekten. Kaliumacetat er hygroskopisk og leveres derfor i flytende form. En klar fordel med KAc framfor urea er at stoffet er lite korrosivt.



## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

KAc leveres, lagres og brukes som løsning med konsentrasjon 50%.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

I forhold til f.eks. 22% NaCl-løsning er smeltekapasiteten bedre for KAc, noe som ihvertfall i teorien gjør det mulig med mindre dosering ift NaCl-løsning, og dermed vil strøstrekningen være større mellom hver påfylling, noe som øker effektiviteten ved utspredning.

### **Utspredning**

Brukes kun som ferdigblandet løsning.

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

KAc har rask reaksjon og bra smelteeffekt samt lavt frysepunkt, også lavere enn  $MgCl_2$ . På massive islag fungerer det erfaringsmessig dårligere ved at kun isoverflaten blir løsere. Fungerer raskere og bedre enn Urea.

### **Brukstemperatur**

Kan benyttes ved temperatur ned til  $-25^{\circ}C$ .

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Hygroskopisiteten medfører at lengre perioder med våt veg og dermed risiko for tilfrysing når konsentrasjonen tynnes ut.

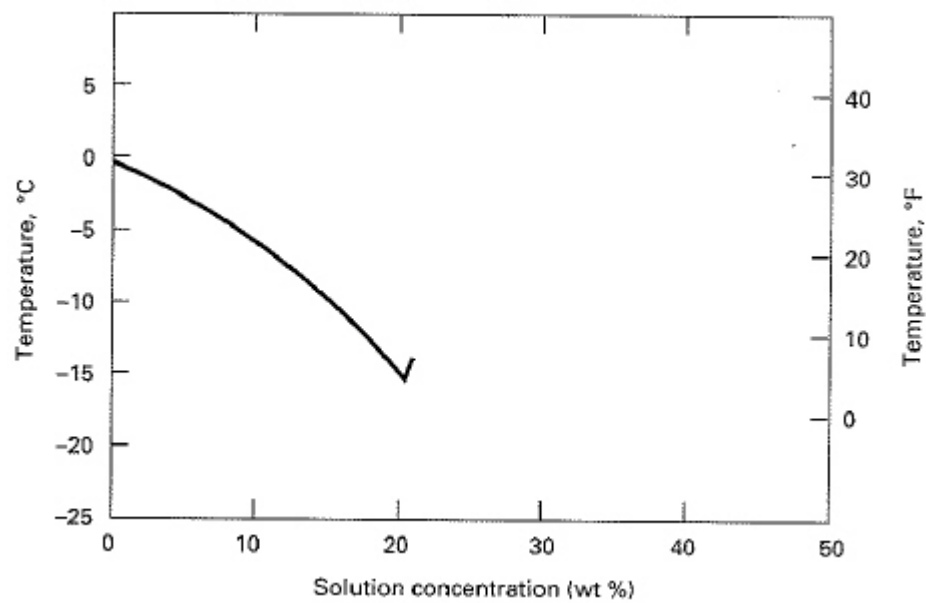
### 3.3.3 Natriumacetat – CH<sub>3</sub>COONa (NaAc)

#### *Fysikalske-/kjemiske egenskaper*

Typer/framstilling	
Leveringsform	Pulver Granulat
Anvendelsesform	
Løselighet i vann	
Laveste frysepunkt	-17°C
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	23%
Hygroskopisitet	Hygroskopisk

#### *Fasediagram*

Fra (Minsk 1998):



**Driftstekniske egenskaper**

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>God smelteeffekt (Minsk 1998)</p> <p>Smelteeffekt i g is pr g strømiddel ved -5°C er 10.8 g (SafewaySD Hoechst/Clariant Svedakemi) (Meyer and Nygaard 2001).</p> <p>Fra (Mori, Meiarashi et al. 2002): Veldig rask smeltreaksjon, samme som for NaCl de første 20 min, iht labforsøk vist i figuren nedenfor. Totalt sett er smelteegenskapene omtrent som for KAc:</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	-10°C (Minsk 1998)
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	Fra (Takeshi, Kobayashi et al. 2004): I feltforsøk med måling av friksjon og observasjon av føreforhold på strekninger behandlet med NaAc og CaCl <sub>2</sub> var stoffene likeverdige.
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper	<p>Gir ikke glatt overflate (Minsk 1998).</p> <p>Fra (Takeshi, Kobayashi et al. 2004): I lab-forsøk av friksjon ved bruk av NaCl, CaCl<sub>2</sub> og NaAc viser resultatene at friksjonskoeffisienten til NaAc bare var marginalt lavere enn for CaCl<sub>2</sub>. NaCl gav en bedre friksjonskoeffisient.</p>
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	

### **Oppsummering for materialet**

#### **Lagring**

Det er ikke beskrevet noe knyttet til lagring av NaAc i referansene. Men stoffet er hygroskopisk, og det må derfor antas at det kreves luft- og vanntett emballering av stoffet i fast form.

#### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Ikke nevnt i referansene.

#### **Utspredning**

Ikke nevnt i referansene.

#### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

NaAc har god smelteeffekt, omtrent som for KAc.

#### **Brukstemperatur**

Kan brukes ved temperatur ned til -10°C.

#### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Det er beskrevet at stoffet ikke gir en glatt overflate etter påføring. Andre forhold knyttet til opptørkingsfasen er ikke nevnt, men siden materialet er hygroskopisk vil det som for andre hygroskopiske materialer medføre at det blir lengre perioder med våt veg enn om NaCl hadde vært benyttet, og det er i den perioden risiko for tilfrysing når konsentrasjonen tynnes ut. Men dette er ikke nevnt spesielt i referansene til NaAc.

### 3.3.5 KalsiumMagnesiumKaliumAcetat (CMKAc)

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	
Leveringsform	Fast stoff (Mori, Meiarashi et al. 2002)
Anvendelsesform	Fast stoff (Mori, Meiarashi et al. 2002)
Løselighet i vann	
Laveste frysepunkt	
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	
Hygroskopisitet	

#### Fasediagram

Mangler

#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Fra (Mori, Meiarashi et al. 2002): Smelteforsøk med ulike kjemikalier som vist i figuren nedenfor:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p> <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border-radius: 50%;"></span> Sodium chloride  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Calcium chloride(dihydrate)  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Calcium magnesium acetate+sodium chloride  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Urea+sodium chloride  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-style: dashed; margin-right: 5px;"></span> Sodium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> Potassium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-style: dashed; margin-right: 5px;"></span> Calcium magnesium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-style: dashed; margin-right: 5px;"></span> Calcium magnesium potassium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Urea+sodium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Urea  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Sodium formate         </p> </div> <p style="text-align: center;">Figure 5. Results of measurement of quantity of ice melted (-5°C, 5g)</p> <p>Figuren viser at materialet har bedre issmelteegenskaper enn urea og CMA, og ørlite bedre total smelteeffekt enn NaAc og KAc, men de første 40 min er smelteeffekten til NaAc og KAc bedre enn for kalsiummagnesiumkaliumacetat.</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
Egenskaper fra drifts- og feltforsøk	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	
Forbruk ved utstrøing	

Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	I et enkeltstående feltforsøk kom materialet dårlig ut mht friksjon etter strøtiltak, sammenlignet med andre organiske strømaterialer.
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper (friksjon)	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	

### **Oppsummering for materialet**

Referanser til materialet beskriver bare et enkelt lab- og feltforsøk i én referanse. Grunnlaget er derfor for lite til ha bestemte oppfatninger om materialets egenskaper i vinterdriften. Lab-forsøket antyder at CMKAc har noe bedre total smelteeffekt enn NaAc og KAc, men har noe seinere reaksjon og fungerer dårligere de første 40 min.

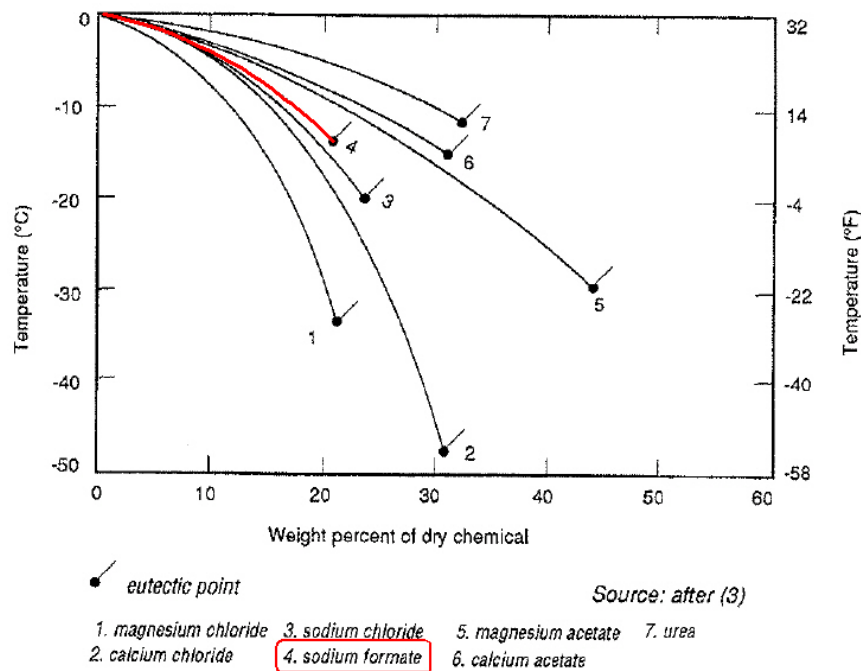
### 3.3.6 Natriumformiat – HCOONa (NaF)

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

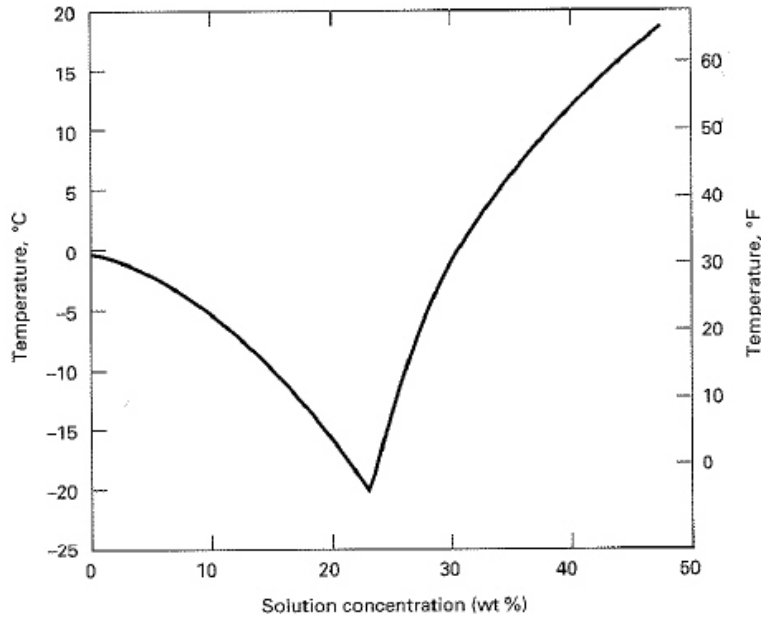
Typer/framstilling	Kan framstilles ved å lede CO gjennom oppvarmet NaOH (kaustisk soda). Er også et biprodukt ved framstilling av polyole kjemikalier som pentaerythritol (Minsk 1998).
Leveringsform	Hvitt, luktløst, utflytende krystallinsk pulver. Stoffet kan komprimeres til granulat (Minsk 1998). Densitet er 1.92 g/cm <sup>3</sup> ( <a href="http://de.wikipedia.org/wiki">http://de.wikipedia.org/wiki</a> )
Anvendelsesform	
Løselighet i vann	44g/100g H <sub>2</sub> O ved 0°C (= 30,6 vekt-%) (Minsk 1998) Lettløselig i vann (Vaa and Sakshaug 2007)
Laveste frysepunkt	ca -14°C (Perchanok, Manning et al. 1991) -14°C ved 20% løsning (Vaa and Sakshaug 2007) -14°C ved 21% løsning (Järvinen 1995) -17.5°C (Meyer and Nygaard 2001) -18°C ved 25% konsentrasjon (Minsk 1998)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	I området 21-23% iht fase diagrammene i neste avsnitt. 25% (Minsk 1998)
Hygroskopisitet	

#### Fasediagram

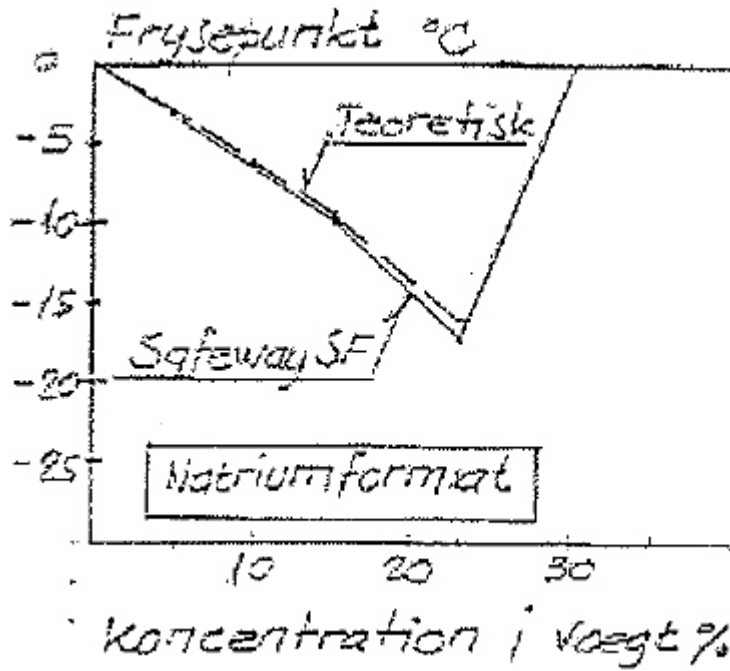
Fra (Perchanok, Manning et al. 1991):



Fra (Minsk 1998):



Fra (Meyer and Nygaard 2001):





**Driftstekniske egenskaper**

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Fra (Vaa and Sakshaug 2007): Smelteeffekt i g is pr g strømiddel ved -5°C er 11.6 g, dvs noe større smelteeffekt enn NaCl (11,3 g).</p> <p>Fra (Meyer and Nygaard 2001): Smelteeffekt i g is pr g strømiddel (Safeway SF) ved -5°C er 12 g.</p> <p>Fra (Minsk 1998): Mer effektiv enn urea og CMA, nesten like effektiv som NaCl, og det beholder effekten til en lavere temperatur enn NaCl.</p> <p>Fra (Gustafson 1994): Lab-test med små pellets (&lt; 1 mm) viste likeverdige smelteegenskaper som for NaCl.</p> <p>Fra (Øberg, Gustafson et al. 1991): Smelteeffekt målt på isblokk ved -2 og -6°C var noe raskere for NaF enn for NaCl, mens total smeltekapasitet var noe større for NaCl. Alle forskjeller imellom dem var små. Raskere smelting av formiatet enn kloridet kom trolig av forskjell i kornstørrelsen som var 0-4 mm for NaCl og 0,3 mm for NaF</p> <p>Fra (Vaa and Meland 2002): Smelteeffekten er noe større enn for NaCl, noe som kan ha sammenheng med kornstørrelsen.</p> <p>Fra (Mori, Meiarashi et al. 2002): NaF kommer best ut i smeltetest av ikke-klorid salter, og har smelteegenskaper bedre enn NaCl de første to timene av smeltetesten. De første 30 min er imidlertid CaCl<sub>2</sub> (dihydrat) enda mer effektivt:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p> <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border-radius: 50%;"></span> Sodium chloride  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Calcium chloride(dihydrate)  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Calcium magnesium acetate+sodium chloride  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Urea+sodium chloride  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-style: dashed; margin-right: 5px;"></span> Sodium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-style: dashed; margin-right: 5px;"></span> Potassium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Calcium magnesium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Calcium magnesium potassium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Urea+sodium acetate  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Urea  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Sodium formate </p> </div> <p style="text-align: center;">Figure 5. Results of measurement of quantity of ice melted (-5°C, 5g)</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	Fra (Johnston and Huft 1993): Lab-tester av penetrasjon viser bedre penetrasjonsegenskaper enn rent NaCl for blandinger av NaAc og NaF.
Urenheter	Kan inneholde klorider (Vaa and Meland 2002).
Vanlig benyttet siktekurve	

<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	-11°C (Minsk 1998)  -10°C (Vaa and Sakshaug 2007)  Effektiv temperatur er mellom -5.6 og -10.8°C. Frysepunktnedsettingen er som for NaCl (Vaa and Meland 2002).
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	Fra (Hamilton, Miner et al. 1989): I feltforsøk i 1987-88 ble det lagt ut fra 152 kg pr 2-felts km ved temperatur rundt 0 til 568 kg pr 2-felts km ved temperatur lavere enn -10°C. Samtidig ble salt ble lagt ut med 168-576 kg pr 2-felts km. Natriumformiat penetrerte isen, men spredte seg ikke ut på dekkeoverflaten og løste opp isen. Isteden ble det liggende en remse av slaps mellom sporene. Na-formiat virket bare 50 % ift NaCl ved sammenlignbare forhold. NB! Formiatet inneholdt 531 ppm CaCl <sub>2</sub> som kan ha hatt innvirkning på resultatene. Det ble oppnådd ferdig smeltet vegbane 0,5 time etter referansestrekningen med NaCl når det ble brukt samme mengde ved spredning.  Fra (Gustafson 1994): NaF ble bedømt som likeverdig med NaCl som issmeltemiddel i vinterdriften. Dette ble også vist i et lite feltforsøk der det ble brukt mettet løsning av NaF på rimfrost, og sammenlignet med bruk av NaCl-løsning, og det ble ikke funnet forskjeller mellom dem.  Fra (Øberg, Gustafson et al. 1991): NaF kunne brukes i samme temperaturintervall og med samme dosering som NaCl, men med langsommere smeltehastighet og totalt noe dårligere smeltevirkning i forsøk i Ontario.
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	Fra (Minsk 1998): Ordinære forholdsregler må tas ved håndteringen av stoffet på lager. Unngå innånding av støv.  Fra (Palmer 1987): Kan antagelig legges som mettet løsning eller slurry. Høyere densitet gjør at det også antagelig kan sprees tørt, men da bør kornstørrelsen være stor.
<b>Andre vurderinger</b>	

	<p>Fra (Minsk 1998): Fordi NaF er lite korrosivt har Na-formiat blitt prøvd på flyplasser siden midten av 1980-tallet. Bruken på flyplasser øker, men kostnaden har begrenset bruken på veg.</p> <p>Fra (Hamilton, Miner et al. 1989): NaF kan anbefales dersom tester av påvirkning på betong og miljøpåvirkning faller heldig ut.</p> <p>Fra (Palmer 1987): Er antagelig billigere i produksjon enn CMA fordi den kan lages på CO-gass.</p> <p>Fra (Johnston and Huft 1993): Blanding av NaAc og NaF gir et lavere eutektisk punkt (ned mot -40 gr) enn for hvert av stoffene NaA og NaF. NaA-NaF avisingsmaterialer er alternativer som kombinerer fordelene av lite korrosive, minimal miljø- og toksisk effekt, og avisingssegenskaper lignende som NaCl, men med ulempen høy kostnad og fortsatt bruk av et natriumsalt.</p> <p>Fra (COST 2008): NaF synes å være et aktuelt kjemikalie. Ingen negative effekter på grunnvann. Konduktiviteten bekymrer flyindustrien, men det bør ikke være noe hovedspørsmål for veier. Men en LCA (livssykelanalyse, utført av Gartiser i 2003) konkluderer med at energiforbruket ved produksjon av formiater er større enn ved bruk av kloridsalter i vinterdriften.</p>
--	---

## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

Referansene inneholder ikke opplysninger om stoffets eventuelle hygroskopisitet. Lagerhåndtering må gjøres med "normale" forholdsregler. Støv fra natriumformiat skal ikke innåndes.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Smelteeffekt er oppgitt å være omtrent som for NaCl. Det betyr at strømlengde pr lass bør være omtrent likt med det som oppnås for NaCl siden densiteten er nesten like stor som for NaCl.

### **Utspredning**

Det er ikke rapportert om spesielle forhold knyttet til utspredning av natriumformiat.

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Smelteeffekt er oppgitt å være omtrent som for NaCl, men stoffet er virksomt til enda lavere temperaturer. I labforsøk viser NaF seg som det materialet av ikke-kloridene som har de beste smelteegenskapene. NaF er mer effektivt enn CMA og urea. Feltforsøk antyder imidlertid at effekten på tykk is er dårligere enn effekten fra NaCl når samme utspreidningsmengder ble brukt. På rimfrost er det rapportert at effekten var likeverdig med effekten av NaCl.

### **Brukstemperatur**

Bruksområde er ned til -11°C.

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Det er ikke funnet omtaler av opptørkingsegenskapene og restvirkninger etter bruk av NaF.

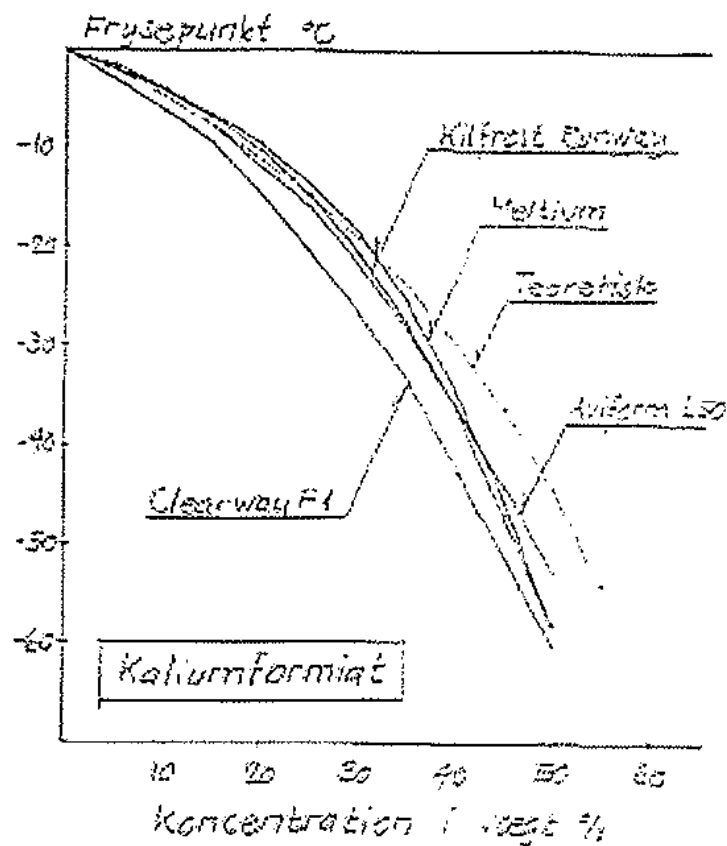
### 3.3.7 Kaliumformiat – KCOOH (KF)

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	
Leveringsform	Som løsning i 50% konsentrasjon.
Anvendelsesform	Løsning
Løselighet i vann	
Laveste frysepunkt	-60 - -78°C (Meyer and Nygaard 2001)  (Vaa and Sakshaug 2007) oppgir -11°C ved 13% løsning (men dette er ikke eutektisk punkt)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	Ca 50% iht fasediagrammene i neste avsnitt
Hygroskopisitet	

#### Fasediagram

Fra (Meyer and Nygaard 2001):



**Driftstekniske egenskaper**

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	Smelteeffekt i g is pr g strømiddel ved -5°C er 3.1 – 5.5 g (Vaa and Sakshaug 2007)  Smelteeffekt i g is pr g strømiddel ved -5°C (Meyer and Nygaard 2001): Clearway F1 (Verdugt Rode&Rode): 5.5 g Kilfrost Runway (Kilfrost ltd/Aero-chem): 3.0 g Aviform L50 (Norsk Hydro Danmark): 3.0 g Safeway KF (Hoechst/ Clariant Svedakemi) ? Meltium (Kemira): 3.2 g
Penetrasjonshastighet i is inkl ”undercutting”	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	-10°C, gjelder Aviform (Vaa and Meland 2002)
Forbruk ved utstrøing	Dosering er fra 15 til 120 g/m <sup>2</sup> avhengig av temperatur (Vaa and Meland 2002).
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	Aviform kan ikke brukes direkte på snø-/istykkelser på over 3 mm (Vaa and Meland 2002).
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	
	Fra (Attrup 2004): I vinterdriften på Storebeltforbindelsen går de bort fra å bruke alternative midler (CMA og kaliumformiat) til glattførebehandling. Pga smeltekapasiteten til alternativene er dårligere enn for NaCl og fordi 22%-løsning av NaCl er mindre aggressiv overfor varmforzinkede konstruksjoner enn alternativene. Beslutningen er basert på undersøkelsene i (Meyer and Nygaard 2001).  Fra (Fay, Shi et al. 2009): Litteratur og eksperimentelle data indikerer at de negative påvirkningene av acetater og formater er større enn tidligere antatt, spesielt mht skader på dekket, konstruksjoner og vannkvalitet. Derfor har CDOT bestemt å ikke bruke kalium- eller andre acetatblandinger.

**Oppsummering for materialet****Lagring**

Blir levert som løsning og krever dermed lagertanker.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Det er ikke funnet opplysninger om spesielle forhold knyttet til effektivitet ved utspredning. Bruksformen er løsning.

### **Utspredning**

Det er ikke funnet informasjon om spesielle forhold knyttet til utspredningen.

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Kaliumformiat er ikke egnet for å smelte tykke snø- og islag (> 3mm).

### **Brukstemperatur**

Ned til -10°C.

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Det er ikke funnet opplysninger om opptørkings- og restvirkningsegenskapene.

### 3.3.8 Kalsiumformiat - $\text{Ca}(\text{COOH})_2$ (CaF)

#### *Fysikalske-/kjemiske egenskaper*

Typer/framstilling	
Leveringsform	Fast, krystallinsk form
Anvendelsesform	
Løselighet i vann	Løselig i vann
Laveste frysepunkt	-11°C (Järvinen 1995; Vaa and Meland 2002)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	13% (Järvinen 1995; Vaa and Meland 2002)
Hygroskopisitet	

#### *Fasediagram*

Ikke funnet fasediagram i litteraturen.

#### *Driftstekniske egenskaper*

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	Lite kjent om virkningen som issmeltemiddel (Vaa and Meland 2002).
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	-4.4°C - -8.5°C (Järvinen 1995)
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper (friksjon)	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	

#### *Oppsummering for materialet*

Foruten opplysninger om det eutektiske punktet til en kalsiumformiatløsning, og anbefalinger om laveste brukstemperatur er det ikke funnet informasjon om dette materialet brukt i vinterdriften.

### 3.3.9 Salter av Levulinsyre

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typen/framstilling	<p>Levulinsyre kan framstilles av ulike biologiske materialer. Kan bl.a. framstilles av cellulose ved behandling med saltsyre. Kjemisk formel for levulinsyre er <math>\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{COOH}</math> (Store Norske Leksikon, <a href="http://www.snl.no">http://www.snl.no</a>).</p> <p>I (Ganjyal, Fang et al. 2007) er det utført lab-forsøk på tre ulike salter som er basert på Levulinsyre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>natriumlevulinat</li> <li>magnesiumlevulinat</li> <li>kalsiumlevulinat</li> </ul> <p>De aktuelle saltene er dannet på levulinsyre framstilt fra durra-korn. Durra er et tropisk kornslag, sorghum på engelsk.</p>
Leveringsform	
Anvendelsesform	
Løselighet i vann	
Laveste frysepunkt	
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	
Hygroskopisitet	

#### Fasediagram

Fasediagram er ikke gitt i kilden, se figur med frysepunkt for løsninger i etterfølgende tabell:

#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk																										
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Fra (Ganjyal, Fang et al. 2007):</p> <p>Det ble utført lab-forsøk for å bestemme frysepunkt til saltløsning ved ulike konsentrasjoner av saltet. Med de konsentrasjonene som ble testet, 10 – 40% viste Na-levulinat en større frysepunktnedsettelse enn Ca- og Mg-levulinat. Ved største konsentrasjon som ble testet ble frysepunktet fastsatt til ca <math>-15^\circ\text{C}</math>.</p> <div style="text-align: center;"> <table border="1"> <caption>Data points estimated from Figure 2</caption> <thead> <tr> <th>Concentration (% w/w)</th> <th>NaL (°C)</th> <th>CaL (°C)</th> <th>MgL (°C)</th> <th>NaCl (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>-3</td> <td>-3</td> <td>-3</td> <td>-3</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>-6</td> <td>-4</td> <td>-4</td> <td>-4</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>-10</td> <td>-5</td> <td>-5</td> <td>-5</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>-15</td> <td>-8</td> <td>-10</td> <td>-18</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>Fig. 2. Freezing points of salts at different concentrations.</p>	Concentration (% w/w)	NaL (°C)	CaL (°C)	MgL (°C)	NaCl (°C)	10	-3	-3	-3	-3	20	-6	-4	-4	-4	30	-10	-5	-5	-5	40	-15	-8	-10	-18
Concentration (% w/w)	NaL (°C)	CaL (°C)	MgL (°C)	NaCl (°C)																						
10	-3	-3	-3	-3																						
20	-6	-4	-4	-4																						
30	-10	-5	-5	-5																						
40	-15	-8	-10	-18																						



	<p>Fra et snøsmelteforsøk med kun visuelle observasjoner av smeltingen, ble det fastslått at Na-levulinat virket effektivt ved <math>-6.7^{\circ}\text{C}</math>, mens Ca- og Mg-levulinat ikke gjorde det. Alle tre saltene smeltet snø svært effektivt ved <math>-1.1^{\circ}\text{C}</math>. Følgende temperaturgrenser ble fastsatt for når saltene var effektive mht smelting av snø:</p> <p>Na-levulinat: <math>&gt; -12.2^{\circ}\text{C}</math>  Mg-levulinat: <math>&gt; -6.7^{\circ}\text{C}</math>  Ca-levulinat: <math>&gt; -3.9^{\circ}\text{C}</math></p>
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper (friksjon)	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	
	<p>NB! Frysepunkt-kurven til NaCl synes å være feil. <math>-21</math> oppnås ved 23% konsentrasjon iht all annen litteratur.</p> <p>I konklusjonen sier forfatterne (Ganjyal, Fang et al. 2007) at levulinatene vil minke de negative innvirkningene på kjøretøy, veger og miljø (NB! Dette er ikke dokumentert). Durra egner seg til produksjon av et miljøvennlig produkt for å smelte snø og is.</p>

### **Oppsummering for materialet**

Den ene referansen som foreligger antyder at levulinatsalter, og da særlig Na-levulinat, synes å ha gode egenskaper mht frysepunktnedsetting av en vannløsning, samt for å smelte snø. Et større feltforsøk eller driftsforsøk med materialet vil kunne vise om dette er reelle alternativer til NaCl.

### 3.4 Andre kjemikalier

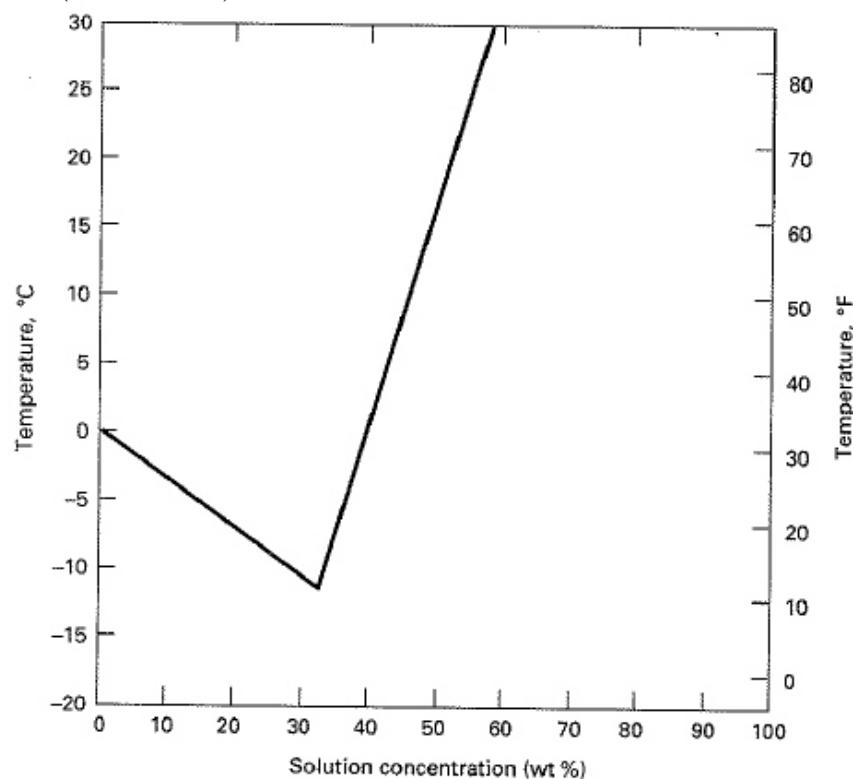
#### 3.4.1 Urea (karbamid) – $\text{NH}_2\text{CONH}_2$

##### *Fysikalske-/kjemiske egenskaper*

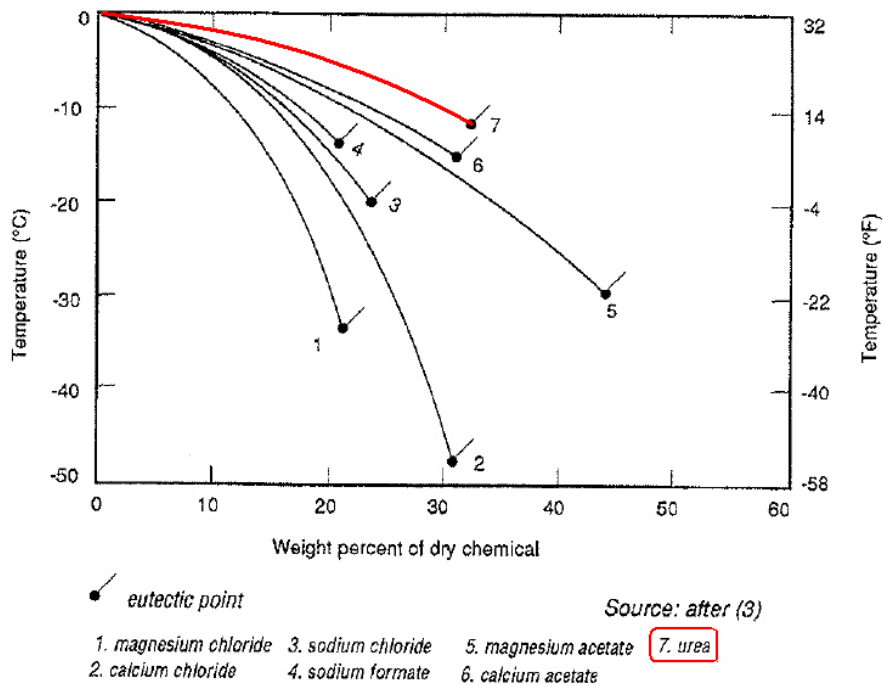
Typer/framstilling	Framstilles ved reaksjon mellom vannfri ammoniakk og $\text{CO}_2$ ved høyt trykk og temperatur 180 - 200°C. Det produseres i store mengder til landbrukskjødsel (Minsk 1998).
Leveringsform	50-80% løsning Fast stoff, pulver eller sfæriske korn. Densitet er 1.33 g/cm <sup>3</sup> iht (Ernst, Demich et al. 1985).
Anvendelsesform	Fast stoff
Løselighet i vann	Hurtig løsning i vann
Laveste frysepunkt	-11.7°C (Minsk 1998) -11.5°C (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	ca 32 %
Hygroskopisitet	Svært hygroskopisk ved fuktighet > 80% og temperatur > 15°C (Minsk 1998).

##### *Fasediagram*

Fra (Minsk 1998):



Fra (Perchanok, Manning et al. 1991):



### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Smelteeffekt ved -2°C (tørt stoff):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 13.3 g is/g urea (Vejdirektoratet 2006)</li> </ul> <p>Smelteeffekt ved -5°C (tørt stoff):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5.3 g is/g urea (Vejdirektoratet 2006; Vaa and Sakshaug 2007)</li> </ul> <p>Smelteeffekt ved -10°C (tørt stoff):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2.7 g is/g urea (Vejdirektoratet 2006)</li> </ul> <p>Urea har ikke høy effekt som issmeltemiddel. Virker 3-4 ganger seinere enn salt (Minsk 1998).</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl. ”undercutting”	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	I sikteanalyse skal 85% gå igjennom 3.15 mm sikten (Vejdirektoratet 2006).
Egenskaper fra drifts- og feltforsøk	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	<p>Bare noen få minusgrader (Vaa and Sakshaug 2007).</p> <p>I praksis virksomt ned til ca -4°C (Vaa and Meland 2002).</p> <p>-4°C (Minsk 1998).</p> <p>-10°C (Perchanok, Manning et al. 1991).</p> <p>-3 - -4°C (Øberg, Gustafson et al. 1991).</p> <p>Virksomt bare til ganske få grader under 0 °C. Hvis det ikke er stor trafikkintensitet skjer opptining meget langsomt (Vejdirektoratet 2006).</p>

Forbruk ved utstrøing	Vanligvis brukes urea i samme mengde og i ved samme temperaturer som NaCl, men smelteeffekten er langsommere (Minsk 1998).  Mindre effektivt enn salt, ca dobbel masse urea behøves i forhold til NaCl (Perchanok, Manning et al. 1991).  Tidligere svenske forsøk viste at forbruket var dobbelt så stort som for NaCl og at friksjonen allikevel var lavere på de urea-behandlede strekningene (Øberg, Gustafson et al. 1991).
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	Smelter is seinere enn salt, og er bare effektiv ved temp > -10°C (Perchanok, Manning et al. 1991).
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	Etterlater en glatt overflate (Minsk 1998)
Andre egenskaper (friksjon)	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	Innånding av støv skal unngås (Minsk 1998). Skal leveres i vanntett emballasje (Vejdirektoratet 2006).
<b>Andre vurderinger</b>	
	Ikke noe realistisk alternativ til NaCl (Øberg, Gustafson et al. 1991).  Mindre effektivt enn NaCl som issmeltemiddel (Vaa and Meland 2002).

## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

Innånding av støv skal unngås. Urea må leveres i vanntett emballasje.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Lavere smeltekapasitet enn NaCl medfører behov for større doseringer. Lavere densitet enn NaCl medfører også plass til mindre masse på hvert lass. Dette medfører en begrensning i utstrøingskapasiteten pga kortere spredstrekninger. Men ved bruk på flyplass spiller dette mindre rolle pga at strøarealet er begrenset og transportavstand sannsynligvis kort.

### **Utspredning**

Strøes både som fast stoff og i løsning

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Saktere virkning og mindre smeltekapasitet i forhold til NaCl gjør at urea er lite aktuelt for bruk på veg. Har vært brukt mye på flyplasser fordi urea virker mindre korrosivt, men brukes nå mindre også der pga stoffet anses å være lite miljøvennlig.

### **Brukstemperatur**

De ulike kildene har noe ulike formeninger om hvilken brukstemperatur som er den laveste for urea. De fleste synes imidlertid å kunne enes om at det er virksomt kun få grader under 0, ned til -3 til -4°C. En referanse oppgir -10°C, men det er så nære det eutektiske punkt at det synes tvilsomt at urea er egnet ved så lav temperatur.

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Etterlater en glatt overflate.

### 3.4.2 Glykoler

Etylenglykol – C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>

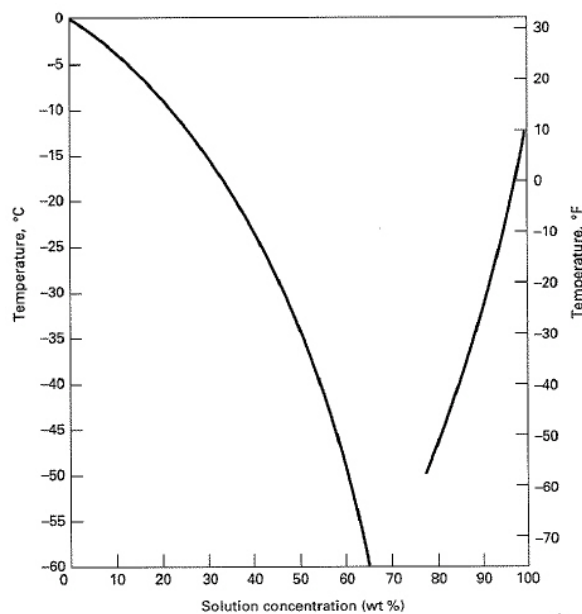
Propylenglykol – C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

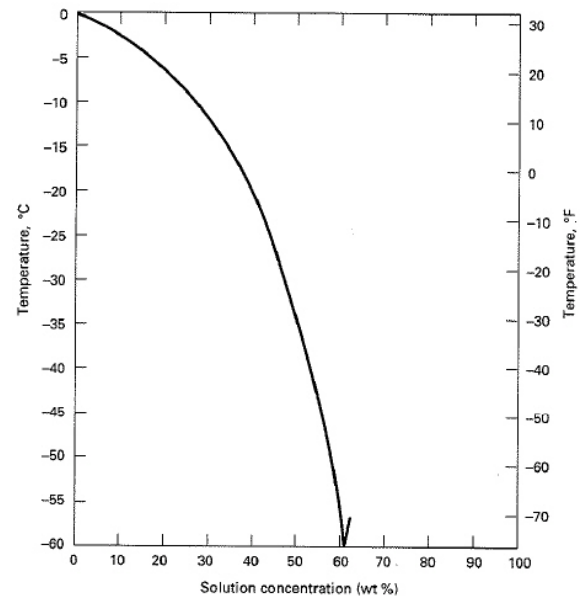
Typer/framstilling	
Leveringsform	Både etylen- og propylenglykol er fargeløse væsker (Minsk 1998).
Anvendelsesform	Væske
Løselighet i vann	Etylenglykol: > 100mg/ml ved 17grC Propylenglykol: Fullstendig blandbar med vann (Minsk 1998)
Laveste frysepunkt	Etylenglykol: -50°C Propylenglykol: -60°C (Minsk 1998).
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	
Hygroskopisitet	Begge glykolene er hygroskopiske (Minsk 1998).

#### Fasediagram

Fasediagrammene for glykolene er vist nedenfor, fra (Minsk 1998):



Etylenglykol



Propylenglykol

#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	Begge glykolene har fortreffelige snøsmeltingsegenskaper (Minsk 1998).
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	
Urenheter	

Vanlig benyttet siktekurve	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	Etylenglykol: -50°C Propylenglykol: -25°C (Minsk 1998)
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper	Etylenglykol: gjør dekkeoverflaten noe glatt Propylenglykol: etterlater en glatt film på dekkeoverflaten (Minsk 1998)
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	Etylenglykol: Krever åndedrettsbeskyttelse og beskyttende klær Propylenglykol: Lagres lufttett (Minsk 1998).
<b>Andre vurderinger</b>	
	<p>Fra (Minsk 1998): Etylenglykol er svært giftig for vannorganismer og pattedyr. Det er skadelig ved svelging og er et teratogen (fremkaller fostermisdannelse).</p> <p>Etylenglykol har vært brukt i vinterdriften på spesielle steder på vegger som broer, samt på rullebane på flyplasser. Hensyn til kostnader, sikkerhet og miljø har ført til mindre bruk. Etylenglykol er hovedbestanddelen i væsker for avising av flykroppene.</p> <p>Propylenglykol er ikke skadelig for mennesker, men det brytes ned langsommere enn etylenglykol og bruker mer oksygen ved nedbryting. Det er brukt i mat, medisiner og i kosmetikk.</p>

### **Oppsummering for materialet**

Selv om glykolene har gode frysepunktnedsettende egenskaper, er det kun rapportert om bruk av materialet på broer i tillegg til bruken på flyplasser og til avising av fly. Glatt dekkeoverflate etter utspreidning svekker imidlertid glykolenes brukbarhet på veg, i tillegg til de miljømessige betenksomme sidene med etylenglykol.

### 3.4.3 Metanol – CH<sub>3</sub>OH

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	Hydrogenering av karbonmonoksid under høyt trykk i nærvær av katalysatorer («metanolsyntesen») eller Partiell oksidasjon av hydrokarboner fra naturgass. Før: Tørredestillasjon av tre. (Store Norske Leksikon, <a href="http://www.snl.no">http://www.snl.no</a> )
Leveringsform	Fargeløs, lettbevegelig og lettantennelig væske.
Anvendelsesform	Væske
Løselighet i vann	Fullstendig blandbar med vann (Dunn and Shcenk 1980)
Laveste frysepunkt	-120°C (Dunn and Shcenk 1980)
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	
Hygroskopisitet	

#### Fasediagram

#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	
Penetrasjonshastighet i is inkl ”undercutting”	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
Egenskaper fra drifts- og feltforsøk	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tykke islag	
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper (friksjon)	
Håndtering	
Lagring (inkl additiver) og spredning	Antennelighet ansees kun som et faremoment ved lagring og utlegging. Påført på frosset eller snødekt veg synes det å være vanskelig, om ikke umulig, å få det til å tenne (Dunn and Shcenk 1980).
Andre vurderinger	
	Fra (Minsk 1998): Metanol er veldig effektivt for å senke frysepunktet til vann, men det er giftig i store mengder og har en meget stor fordampingsgrad.

## **Annet**

### ***Oppsummering for materialet***

Det er ikke rapportert om bruk av metanol til vinterdrift av veger, men de frysepunktnedsettende egenskapene gjør at stoffet teoretisk burde kunne brukes. Eventuell bruk av stoffet vil måtte medføre at spesielle forhåndsregler tas i forbindelse med brannfaren ved lagerhåndteringen.



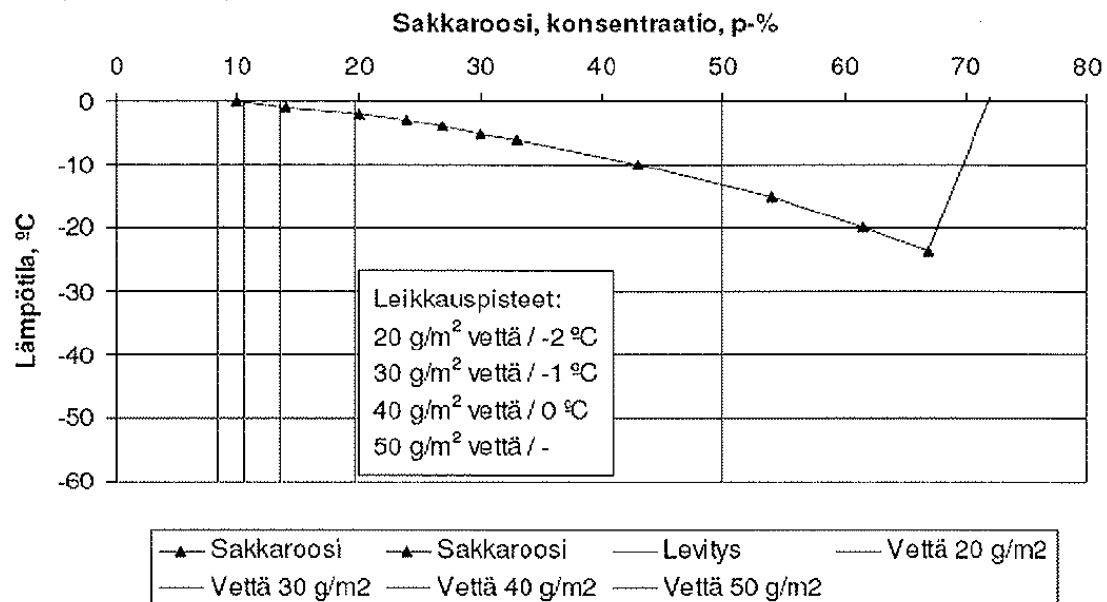
### 3.4.4 Sukker - C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	
Leveringsform	
Anvendelsesform	
Løselighet i vann	
Laveste frysepunkt	ca -23°C iht fasediagram nedenfor
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	ca 67% iht fasediagram nedenfor
Hygroskopisitet	

#### Fasediagram

Fra (Möller 2007):



#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	
Penetrasjonshastighet i is inkl "undercutting"	
Urenheter	
Vanlig benyttet siktekurve	
Egenskaper fra drifts- og feltforsøk	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tykke islag	
Strøing under snøvær	Ingen synlig smelting av snø ved bruk av sukker (Dahl 2009)
Opptørkingsegenskaper	

Andre egenskaper (friksjon)	
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	
(sammenlign mot NaCl?)	

### **Annet**

#### **Oppsummering for materialet**

I de fleste kildene er sukker brukt i vinterdriften kun brukt som tilsetningsstoff til NaCl. Bruk av bare sukker som is-/og snøsmeltemiddel er bare rapportert om i et enkelt lab- og feltforsøk, uten videre suksess.

Se kapittel 4 for omtale om sukker brukt som tilsetningsstoff.

### 3.4.5 Betain - C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>2</sub> (trimetylglycin)

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Typer/framstilling	Restprodukt fra produksjon av sukker fra sukkerbeter (TRB 2008)
Leveringsform	Utflytende, fargeløse krystaller Leveres også som 50 % løsnings
Anvendelsesform	Som 50 % løsnings (Alatypö 2008)
Løselighet i vann	God løselighet i vann (611 g/l ved 19°C) (www.wikipedia.de)
Laveste frysepunkt	
Konsentrasjon ved laveste frysepunkt (vekt-%)	
Hygroskopisitet	

#### Fasediagram

Det er ikke funnet fasediagram for betain.

#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk																					
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt																					
Penetrasjonshastighet i is inkl. "undercutting"	<p>Fra (Alatypö 2008): Lab-test av penetrasjon viser at betain (50% løsnings) penetrerer i is noe i underkant av halvparten penetrasjonsdybden til KF (50% løsnings) og noe under fjerdedelen av penetrasjonsdybden til NaCl (s), som vist i figuren:</p> <table border="1"> <caption>Penetration test (SHRP H-205.3-4.)</caption> <thead> <tr> <th>Substance</th> <th>-2°C &amp; 10 minutes</th> <th>-2°C &amp; 30 minutes</th> <th>-6°C &amp; 10 minutes</th> <th>-6°C &amp; 30 minutes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Betaine (50 %)</td> <td>~3.5</td> <td>~4.5</td> <td>~4.5</td> <td>~4.5</td> </tr> <tr> <td>Potassium formate (50 %)</td> <td>~5.5</td> <td>~8.5</td> <td>~6.5</td> <td>~7.5</td> </tr> <tr> <td>Sodium chloride (solid)</td> <td>~10.5</td> <td>~19.5</td> <td>~9.5</td> <td>~9.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Figure 1 - Results of the penetration test made on betaine, potassium formate and sodium chloride.[1] [2]</p>	Substance	-2°C & 10 minutes	-2°C & 30 minutes	-6°C & 10 minutes	-6°C & 30 minutes	Betaine (50 %)	~3.5	~4.5	~4.5	~4.5	Potassium formate (50 %)	~5.5	~8.5	~6.5	~7.5	Sodium chloride (solid)	~10.5	~19.5	~9.5	~9.5
Substance	-2°C & 10 minutes	-2°C & 30 minutes	-6°C & 10 minutes	-6°C & 30 minutes																	
Betaine (50 %)	~3.5	~4.5	~4.5	~4.5																	
Potassium formate (50 %)	~5.5	~8.5	~6.5	~7.5																	
Sodium chloride (solid)	~10.5	~19.5	~9.5	~9.5																	
Urenheter	Betain i fast form i Danisco's handelsprodukt Betafrost S inneholder minimum 82 % betain ( <a href="http://www.danisco.com">www.danisco.com</a> ).																				
Vanlig benyttet siktekurve																					
Egenskaper fra drifts- og feltforsøk																					
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur																					

Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	Fra (Alatypö 2008): Betain i 50% løsning er likeverdig med KF (kaliumformiat) i 50 % løsning mht å smelte is i et feltforsøk.
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper	Fra (Alatypö 2008): Friksjonsmålinger viser at tiltak med betain øker dekkefriksjonen nesten like mye som med bruk av formiater og acetater ved bruk på islagte dekker. I forhold til bruk av urea er friksjonsforbedringen etter bruk av betain bedre. NB! Dette gjelder for temperatur ned til -2°C. Resultater av friksjonsmålinger ved lavere temperaturer er ikke vist.
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	
	Fra (Alatypö 2008): Selv om betain viser lavere smelteeffekt av is enn formiater og acetater, fungerer det allikevel som issmeltemiddel i praktisk bruk. Dette er tilsvarende som for urea.  Det er ikke funnet referanser som omtaler bruk av betain på veg.

### **Oppsummering for materialet**

#### **Lagring**

Ingen opplysninger

#### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Ingen opplysninger

#### **Utspredning**

Ingen opplysninger

#### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Feltforsøk på flyplass tyder på at materialet fungerer like bra som formiater og acetater mht friksjonsforbedring ved bruk på islagte dekker ved moderat temperatur. Det er ikke funnet dokumentasjon om egenskapene ved temperaturer lavere enn -2°C.

#### **Brukstemperatur**

Ingen opplysninger

#### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Ingen opplysninger

### 3.5 Ukjent materialsammensetning

I (Wang, Li et al. 2009) omtales et nytt is-smeltemiddel som påstås å være miljøvennlig og å ha utmerkede is-smelte egenskaper. Materialet skal heller ikke virke korrosivt mot vegdekker, metall eller negativt i forhold til grønne planter.

Materialsammensetningen er ikke oppgitt, men beskrives å bestå av tre typer råmaterialer, organisk materiale "A" og "B" samt "C" som er en stabilisator.

Råmaterialene er frie for klorider, sulfater og andre korrosive ingredienser.

Det er utført en lab-test av frysepunkt til stoffet som gir frysepunkt på  $-27.8^{\circ}\text{C}$ .

Det er også utført tester av materialets korrosjon på betong og stål, samt innvirkning på en ukjent type plante.

Fra feltforsøk har man funnet at utspreiding av  $130\text{ g/m}^2$  av stoffet smelter et 13 cm tykt snølag på 30 min ved  $-16^{\circ}\text{C}$  og trafikert veg. Tilsvarende forsøk med industrielt salt viste at det tok 50 min å smelte samme snømengde ved samme trafikkintensitet.

## 4 Tilsetningsstoffer til NaCl

### 4.1 CMA - Kalsiummagnesiumacetat

#### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Se kap 3.3.1 for fysikalske-/kjemiske egenskaper for CMA.

Anvendelsesform for CMA som tilsetningsstoff til NaCl er enten i form av blanding av CMA som tørt stoff med tørt NaCl, eller som løsning av CMA for befruktning av tørt NaCl.

#### Fasediagram

Se kap 3.3.1 for fasediagram for rent CMA. Det er ikke funnet informasjon i kildene om fasediagram for blandinger av CMA og NaCl.

#### Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Fra (Ihs, Gustafson et al. 1996; Gustafson and Ihs 1997): Labtest av smeltehastighet ved <math>-6^{\circ}\text{C}</math> og <math>-10^{\circ}\text{C}</math>, 10 g strømiddel på en iskube med <math>114\text{ cm}^2</math> flate (også 20 g strømiddel ble testet, men resultater fra dette forsøket er ikke vist). Konklusjonene er at 20/80 blandingen av CMA/NaCl overveiende har samme is-smelte egenskaper som NaCl. Eksempel ved temperatur <math>-6^{\circ}\text{C}</math> er vist i figuren:</p> <p>Note: 10 g deicer spread on blocks of ice.</p> <p>FIGURE 5 Ice-melting rate at <math>-6^{\circ}\text{C}</math> for various deicers. Figuren viser imidlertid noe mindre smelting med NaCl/CMA-blanding ift rent NaCl.</p> <p>Fra (Vegdirektoratet 1995): Lab-undersøkelser viser at salt har klart bedre evne til å smelte is enn CMA. Resultatene antyder at CMA bidrar til å forsinke og/eller redusere saltets smelteegenskaper når det blandes med saltet.</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl undercutting	
Urenheter (i tilsetningsstoffet)	Se kap 3.3.1
Egenskaper fra drifts- og feltforsøk	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	
Forbruk ved utstrøing	<p>Fra (Ihs, Gustafson et al. 1996; Gustafson and Ihs 1997): I et driftsforsøk som pågikk gjennom to vintersesonger der forsøks- og referansestrekningen ble byttet om i det andre forsøksåret, viste det seg at man i de to sesongene kom til motsatte resultater mht totalforbruk av</p>

	<p>hhv 20/80-blandingen og rent salt. Av dette ble det antatt at det var lokale klimaforhold langs prøvestrekningene som var årsaken til at det var større materialforbruk på den samme strekningen begge årene. Det påpekes imidlertid at det er ulike asfalttyper på de to forsøksstrekningene, den ene har HABS og den andre har HABT.</p> <p>Hovedkonklusjonen fra forsøket var at 20/80-blandingen fungerer like bra som NaCl i de fleste situasjonene.</p>
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	<p>Fra (Mori, Meiarashi et al. 2002):</p> <p>I et lite driftsforsøk (et kraftig snøvær over 36 timer) var bedømmingen til brøytesjåførene at det var vanskeligere å brøyte bort snøen på strekningen med 40% innblanding av CMA i NaCl enn på strekningen med bare NaCl.</p> <p>Fra (Vegdirektoratet 1995):</p> <p>I driftsforsøk gjennom en vintersesong med 20/80 blanding av CMA/NaCl ble det ikke registrert vesentlige forskjeller i virkningen for CMA/salt-blandingen og rent NaCl. Det ble brukt mindre strømiddel på CMA/salt-rodene i forhold til på referansen. Dette skyldes strøpolicyen på de to rodene, men også egenskaper hos CMA kan ha bidratt til dette resultatet ved at det går seinere i oppløsning enn NaCl, som igjen betyr at det sannsynligvis ikke er behov for å strø så ofte.</p>
Opptørkingsegenskaper	<p>Fra (Ihs, Gustafson et al. 1996; Gustafson and Ihs 1997):</p> <p>Effekten av 20/80 blandingen ble ikke observert å vare lenger enn for NaCl.</p> <p>Fra (Vegdirektoratet 1995):</p> <p>Det ble registrert at vegene strødd med CMA/NaCl-blanding ikke ble så fuktige etter utspredning som vegene som ble strødd med rent NaCl. Det angis også at dette også er observert gjennom tilsvarende forsøk i Sverige.</p>
Andre egenskaper	<p>Fra (Ihs, Gustafson et al. 1996; Gustafson and Ihs 1997):</p> <p>Fra driftsforsøk gjennom to vintersesonger viste friksjonsmålinger at 20/80 CMA/NaCl fungerte like bra som NaCl i de fleste situasjonene med glatt føre.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>FIGURE 8 Friction measurements conducted in northbound driving lane during snow storm in March 1995. Numbers in parenthesis refer to sampling sections within test and control sections.</p> <p>Fra (Mori, Meiarashi et al. 2002):</p> <p>I et lite feltforsøk med sammenligning av 40% innblanding av CMA i NaCl utlagt på bar veg, viser samme friksjonsegenskaper som med bruk av rent NaCl.</p>
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og	Fra (Vegdirektoratet 1995):

spredning	<p>Det er ikke registrert vesentlige problemer under blanding, lagring, håndtering eller utspredning av CMA/salt-blanding (20/80), selv om man under blanding registrerte noe støving.</p> <p>Erfaringer fra Sverige er at det har oppstått enkelte problemer under utspredning pga. klumping (20/80-blanding).</p>
<b>Andre vurderinger</b>	
	<p>Fra (Ihs and Gustafson 1996): Brukt sammen med NaCl er det rapportert negative effekter mht ismelting ved at CMA tiltrekker seg fuktighet og forhindrer dermed at NaCl går i oppløsning.</p> <p>Fra (Johnson 1994): To års testing av 20/80 blanding CMA/NaCl ved Minnesota DOT og Michigan DOT konkluderte med at CMA er en effektiv korrosjonsinhibitor blandet med NaCl. Lab-tester viser at 20% CMA innblanding kan resultere i 80% reduksjon av korrosjon. 20/80 blandinger var kommersielt tilgjengelig i USA til konkurransedyktige priser sammenlignet med salt med andre inhibitorer.</p>

## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

Det er ikke funnet referanser som tilsier at CMA brukt som tilsetning til NaCl medfører særskilte problemer utover de åpenbare ulempene med lagerhold av to materialer istedenfor ett.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

De fleste kildene refererer til bruk av 20/80-blanding av CMA/NaCl. Med såvidt liten innblanding er det ikke rapportert om at CMA's lavere egenvekt medfører problemer ift lasstørrelser og utspreidningsstrekning pr lass.

### **Utspredning**

Det er ikke rapportert om systematiske problemer knyttet til utspredning, men at klumping kan være et problem.

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Erfaringer fra driftsforsøk i Sverige og Norge tilsier at 20/80-blandinger av CMA/NaCl kan regnes som likeverdige med NaCl.

Fra Japan derimot er resultatet fra et begrenset feltforsøk under intenst snøvær at det er vanskeligere å brøyt bort snøen og sålen fra en veg som strøs med 40/60 CMA/NaCl-blanding, enn en veg som strøs med rent NaCl.

### **Brukstemperatur**

Det er ikke funnet opplysninger om laveste brukstemperatur for CMA som tilsetning til NaCl.

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Det ble observert at der CMA blandes med NaCl er vegnbanen tørrere etter smeltingen enn der rent NaCl benyttes som strømiddel.



## 4.2 Kalsiumklorid

### *Fysikalske-/kjemiske egenskaper*

Se kap. 3.2.1 for fysikalske-/kjemiske egenskaper.

Anvendelsesform som tilsetningsstoff til NaCl er som blanding av løsninger av de to saltene, eller som befuktningssløsning til fast NaCl. Det er også rapportert fra noen forsøk der materialene har vært blandet tørt.

### *Fasediagram*

Se kap. 3.2.1 for fasediagram for tilsetningsstoffet.

Basert på egne lab-forsøk har (Iverson, McGraw et al. 1997) tegnet opp ternære (trefoldig) fasediagrammer for blandingsløsninger av NaCl, CaCl<sub>2</sub> og vann for 4 temperaturer, 22°C, 0°C, -15°C og -28°C. Diagrammene er gjengitt her:

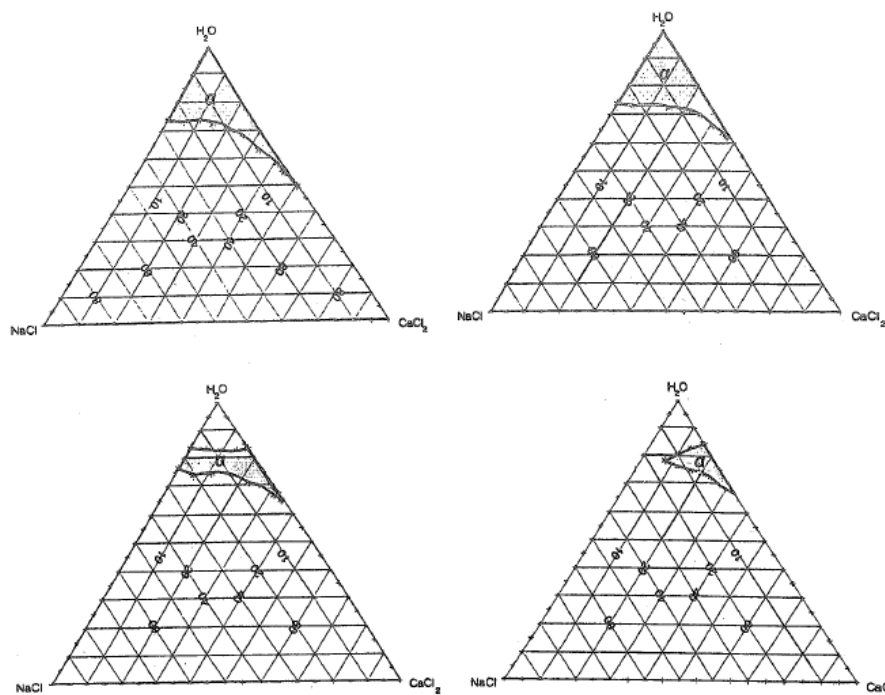


FIG. 4. Ternary Phase Diagrams of NaCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O at: (a) 22°C; (b) 0°C; (c) -15°C; (d) -28°C [These Locate Liquid Phases (α) of Mixtures to Be Effective Prewet Deicers]

**Driftstekniske egenskaper**

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Fra (Iverson, McGraw et al. 1997): Fra lab-forsøkene som ble utført for å framstille de ternære fasediagrammene er følgende figur tatt fram for å vise frysepunkt for blandinger av CaCl<sub>2</sub> og NaCl:</p> <p><b>FIG. 3. Freezing Points of Mixtures as Function NaCl Concentration</b></p> <p>Av figuren kan man f.eks. lese at en løsning med ca 15% NaCl, og 10% CaCl<sub>2</sub> i vann gir et frysepunkt på ca -27°C. NB! Figuren refererer et lab-forsøk der løsemidlet er destillert vann. Forfatteren påpeker at resultatene kan bli noe annerledes ute på veien.</p>
Penetrasjonshastighet i is inkl undercutting	
Urenheter (i tilsetningsstoffet)	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	Fra (Persson and Ihs 1998): NaCl befuktet med CaCl <sub>2</sub> -løsning har -17°C som laveste brukstemperatur.
Forbruk ved utstrøing	Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): Det er antatt at forbruk av salt vil gå ned hvis man tilsetter CaCl <sub>2</sub> -løsning til tørt salt fordi CaCl <sub>2</sub> tiltrekker fuktighet som hjelper NaCl-kornene til å binde seg til overflaten. Redusert forbruk rapporteres av flere vegmyndigheter, men det er ikke gjort noen objektive undersøkelser på om dette virkelig stemmer.
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	Fra (Comfort 1994): For bruk på vindutsatte strekninger testet Comfort å befukte NaCl med CaCl <sub>2</sub> -løsning. NaCl befuktet med CaCl <sub>2</sub> -løsning hadde en raskere reaksjonstid enn både tørt NaCl og NaCl befuktet med vann, mht å oppnå god friksjon. God friksjon ble oppnådd etter 20 min med CaCl <sub>2</sub> -befuktning, mens minst 30 min var nødvendig for tørt salt. Reaksjonstiden til NaCl befuktet med vann var samme som for tørt NaCl, men vindstyrken var bare 7 m/s. Det forventes at NaCl befuktet med vann vil ha bedre egenskaper enn tørt NaCl når det er sterkere vind fordi da vil befuktningen føre til at flere saltkorn blir liggende.

Opptørkingsegenskaper	Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): Fra tester på en strekning utsatt for drivsnø der tørt CaCl <sub>2</sub> (i flak) blandet med tørt NaCl ble brukt, oppsto raskt situasjoner med at saltløsningen ble uttynnet av snøfokket og den uttynnete saltløsningen frøys til is.
Andre egenskaper	Fra (Luker, Rokosh et al. 2004): En lab-test av tiden til ønsket friksjon gjenopprettes etter snøfall ble utført ved tre ulike temperaturer (-1, -5 og -10°C) og for ulike kjemikalier (NaCl, MgCl <sub>2</sub> , ABP m.fl.). 32% CaCl <sub>2</sub> -løsning ble brukt som befuktningmiddel. NaCl befuktet med CaCl <sub>2</sub> gjenopprettet friksjonen raskere enn de andre kjemikaliene som var ulike typer MgCl <sub>2</sub> -løsninger, tørt NaCl samt NaCl befuktet med destillert vann.
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	Fra (DeVries 2006): Blandinger av løsninger av NaCl og CaCl <sub>2</sub> fungerer best i et 90/10-forhold mellom NaCl-løsning og CaCl <sub>2</sub> -løsning. Ved større innblanding av CaCl <sub>2</sub> -løsning kan resultatet bli at løsningen blir lite flytende og har likheter med gelatin eller majones.  Fra (McElroy 1988): En labtest av befuktning av lagerhauger av med CaCl <sub>2</sub> -løsning indikerte at befuktet steinsalt i haug utkonkurrerte tørt steinsalt mht smelting og smeltehastighet ved alle temperaturer. Det var imidlertid viktig med høy konsentrasjon på befuktningensløsningen for å unngå lekkasje fra lagerhaugen varme sommerdager. Anbefalt tilsetning er 30.3 l 42% CaCl <sub>2</sub> -løsning pr tonn NaCl. (ca 2.2 vekt-%).
<b>Andre vurderinger</b>	
	Fra (Fu, Sooklall et al. 2006): For befuktning av NaCl fungerte CaCl <sub>2</sub> bedre enn MgCl <sub>2</sub> . CaCl <sub>2</sub> virket også bedre enn NaCl-løsning som befuktningmiddel.

## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

Det er ikke funnet referanser som tilsier at CaCl<sub>2</sub> brukt som tilsetning til NaCl medfører særskilte problemer utover de åpenbare ulempene med lagerhold av to materialer istedenfor ett og at tilsetning av CaCl<sub>2</sub>-løsning krever et anlegg for produksjon av løsning.

Forutsatt god kontroll på eventuelt lekkasjevann fra lagerhaug med NaCl, kan hele lagerhaugen befuktes, hvilket gjør håndteringen like effektiv ved bruk som om det var rent NaCl.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Det er en forventning om at CaCl<sub>2</sub>'s evne til å tiltrekke seg fuktighet bidrar til at NaCl-kornene holder seg på veggen og at tapet blir mindre. Dette ville gitt lavere doseringsbehov, men denne effekten er ikke blitt dokumentert. Ved samme dosering forventes samme effektivitet i utspredning som ved befuktning med NaCl-løsning eller vann.

### **Utspredning**

Det er i en referanse beskrevet at ved blanding av NaCl-løsning og CaCl<sub>2</sub>-løsning bør

ikke  $\text{CaCl}_2$  utgjøre mer enn 10% fordi løsningen blir lite flytende ved større innblandinger.

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Tilsetning av  $\text{CaCl}_2$  til  $\text{NaCl}$  senker frysepunktet til saltløsningen og utvider dermed muligheten til å kjemisk fjerning av snø og is ved lave temperaturer. Resultater fra feltforsøk tyder på at reaksjonshastigheten øker ift bruk av rent  $\text{NaCl}$ .

### **Brukstemperatur**

I en av referansene er  $-17^\circ\text{C}$  angitt som laveste brukstemperatur for  $\text{NaCl}$  befuktet med  $\text{CaCl}_2$ .

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Ulempen er at de hygroskopiske egenskapene gjør at løsning ikke tørker opp som  $\text{NaCl}$ , og det er da fare for tilfrysing når løsningen etterhvert blir uttynnet.

## 4.3 Magnesiumklorid

### Fysikalske-/kjemiske egenskaper

Se kap. 3.2.2 for fysikalske-/kjemiske egenskaper for tilsetningsstoffet.

For  $\text{MgCl}_2$  tilsatt til  $\text{NaCl}$  har (Rekstad and Hardarsson 2005) utført teoretiske beregninger og utført lab-forsøk for å fastsette frysepunkt for en gitt blanding (6:70) av  $\text{MgCl}_2$  og  $\text{NaCl}$  løsning. Ved ulike konsentrasjoner har frysepunkt til løsningen blitt målt. Et beregningseksempel viser følgende frysepunkt nedsetting:

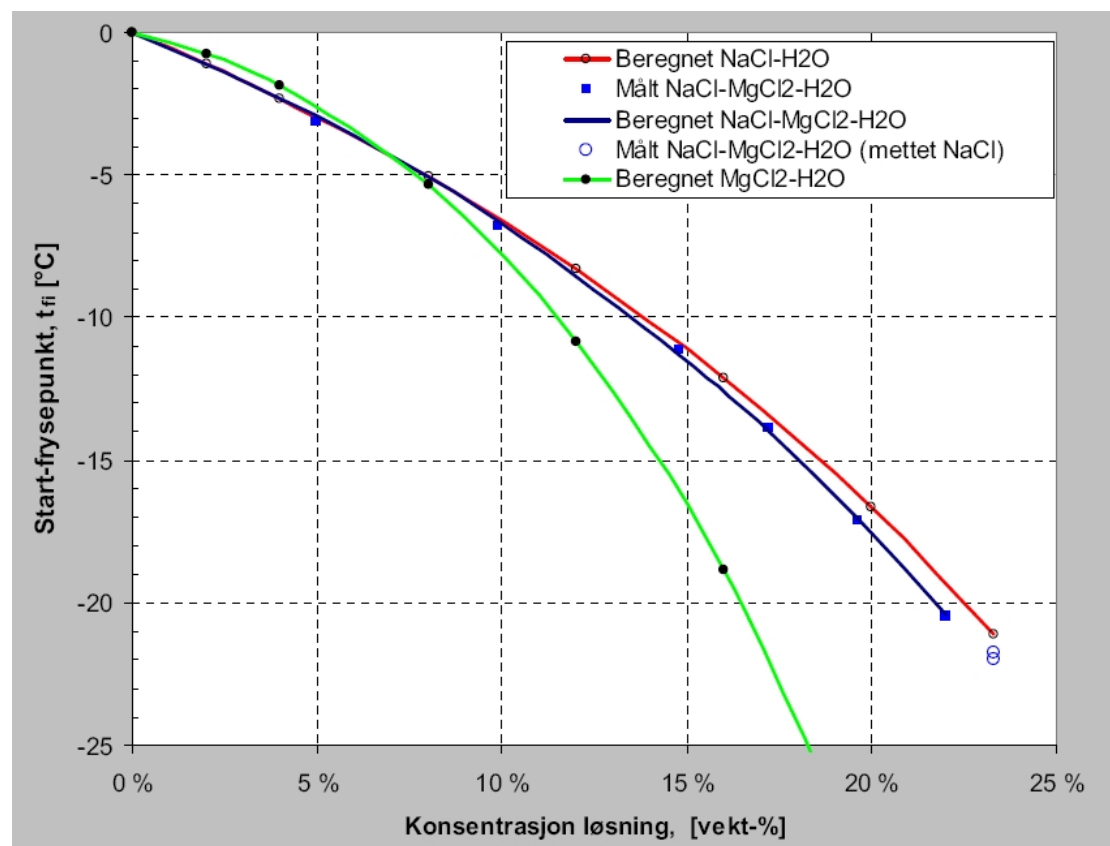
En 20 vekt-% løsning av  $\text{NaCl}$  har frysepunkt på  $-16.7^\circ\text{C}$ . Ved tilsetning av 1,71 g vannfritt  $\text{MgCl}_2$  blir frysepunktet senket til  $-19.4^\circ\text{C}$ . Konsentrasjonen til saltløsningen er da 21.3 vekt-%.  $\text{MgCl}_2$  innholdet i  $\text{NaCl}$  er på 6:70 (vektforhold, tilsvarer at 7.8% av tørrstoffet er  $\text{MgCl}_2$ ).

Anvendelsesform som tilsetningsstoff til  $\text{NaCl}$  er som befuktning-løsning til fast  $\text{NaCl}$ .

### Fasediagram

Se kap. 3.2.2 for fasediagram for tilsetningsstoffet.

For en  $\text{MgCl}_2$ : $\text{NaCl}$  løsning med vektforhold 6:70 har (Rekstad and Hardarsson 2005) tatt fram følgende del av kurven i fasediagrammet for denne blandingen. Diagrammet inneholder også deler av fasediagrammene til  $\text{MgCl}_2$  og  $\text{NaCl}$ .



**Driftstekniske egenskaper**

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	Fra (Hernes 2005): Når man ser på resultatene fra laboratorieforsøkene der de to saltene ble sammenlignet (NaCl befuktet med hhv MgCl <sub>2</sub> og NaCl-løsninger), så kan man se at forsøk med befuktning med MgCl <sub>2</sub> løsning ser ut til å ha bedre verkning enn forsøk med befuktning med NaCl løsning. Det kan man spesielt se i forsøk ved lave temperaturer (-10°C og -15°C), da befuktning med MgCl <sub>2</sub> løsning har oppnådd bedre resultat enn befuktning med NaCl løsning på samtlige forsøk.
Penetrasjonshastighet i is inkl undercutting	
Urenheter (i tilsetningsstoffet)	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): 80% NaCl tilsatt 5% MgCl <sub>2</sub> og 15% korrosjonsinhibitor er effektiv ned til -18°C når man benytter samme dosering som for NaCl hevdes det av leverandør.
Forbruk ved utstrøing	Fra (Vaa and Meland 2002; Vaa and Meland 2005): I driftsforsøk i Oslo hvor NaCl ble befuktet med MgCl <sub>2</sub> -løsning ble det ved hvert tiltak gjennomsnittlig benyttet 15 g/m <sup>2</sup> NaCl (s) og 5 g MgCl <sub>2</sub> -løsning. Konsentrasjon på MgCl <sub>2</sub> -løsningen var 20%. Doseringsen har vært "standard" befuktningdosering med 30 vekt-% løsning og 70 vekt-% tørt salt.  Fra (Vaa and Meland 2002; Vaa and Meland 2005): Befuktning med MgCl <sub>2</sub> -løsning gav en reduksjon i saltforbruket på 20-25% ift tørt NaCl. Tiltaksbehovet (antall tiltak) er sett under ett for hele perioden nokså likt.  Fra (Hernes 2005): Årsaken til at 30:70 blanding er benyttet ved de norske forsøkene er at dette blandingsforholdet benyttes med gode resultater i Tyskland (udokumentert).
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tykke islag	
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	Fra (Hernes 2005): Det er ein hypotese er at tiltak utført med magnesiumkloridløsning vil oppnå ein høgare restsaltkonsentrasjon, på grunn av at denne løysinga har høgare viskositet enn NaCl løysinga. Dette vil igjen kunne føre til eit lågare saltforbruk totalt sett. I tillegg antek ein at tiltak utført med magnesiumkloridløsning vil halde lenger på fuktigheita på vegen, då denne er meir hygroskopisk enn natriumkloridløysinga.
Andre egenskaper	Fra (Vaa and Meland 2002; Vaa and Meland 2005): Det er ved temp under -6°C høyere friksjon på MgCl <sub>2</sub> -strekningen sammenlignet med strekning strødd med NaCl uten tilsetningsstoff.
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	
	Fra (Fu, Sooklall et al. 2006): For befuktning av NaCl fungerte CaCl <sub>2</sub> bedre enn MgCl <sub>2</sub> . CaCl <sub>2</sub> virket også bedre enn NaCl-løsning som befuktningmiddel.

	<p>Fra (Perchanok, Manning et al. 1991): Det er antatt at forbruk av salt vil gå ned hvis man tilsetter <math>MgCl_2</math>-løsning til tørt salt fordi <math>MgCl_2</math> tiltrekker fuktighet som hjelper <math>NaCl</math>-kornene til å binde seg til overflaten. Redusert forbruk rapporteres av flere vegmyndigheter, men det er ikke gjort noen objektive undersøkelser på om dette virkelig stemmer.</p> <p>Fra (Vaa and Meland 2002; Vaa and Meland 2005): På grunn av høy pris sammenlignet med <math>NaCl</math> er det ikke aktuelt å bruke <math>MgCl_2</math> som strømiddel i ren form hverken i tørr tilstand eller som løsning. Den metoden som anses som mest aktuell er å befukte <math>NaCl</math> med <math>MgCl_2</math>-løsning.</p>
--	--

## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

Som for  $CaCl_2$  er det heller ikke funnet referanser som tilsier at  $MgCl_2$  brukt som tilsetning til  $NaCl$  medfører særskilte problemer utover de åpenbare ulempene med lagerhold av to materialer istedenfor ett og at tilsetning av  $MgCl_2$ -løsning krever et anlegg for produksjon av løsning.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Driftsforsøk i Oslo viste at gjennomsnittlig utlagt mengde var ca  $15 \text{ g/m}^2$  tørt salt befuktet med ca  $5 \text{ g/m}^2$   $MgCl_2$ -løsning. Dette er omtrent som doseringsanbefalingene i vegvesenets salttabell for befuktning med  $NaCl$ -løsning på våt veg, tynn is og før nedbør ved temperatur  $> -5^\circ\text{C}$ . Det ble gjennom 4 sesongers driftsforsøk allikevel påvist at saltbruken ble redusert med 20-25% ved bruk av  $MgCl_2$  som befuktningssløsning ift referansestrekningen som ble strødd med tørt  $NaCl$ .

### **Utspredning**

Det er ikke funnet omtale av spesielle forhold knyttet til utspredning når  $MgCl_2$  er benyttet som tilsetningsstoff sammenlignet med  $NaCl$  - løsning.

### **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Tilsetning av  $MgCl_2$  til  $NaCl$  i det forholdet som er benyttet i de norske forsøkene, 30:70 ( $MgCl_2$ -løsning: $NaCl$  (s)), tilsvarende 6:70 for tørt stoff, senker teoretisk frysepunkt med  $2.7^\circ\text{C}$ . Til tross for denne beskjedne nedgangen er oppgitt anbefalt brukstemperatur atskillig lavere enn for  $NaCl$  uten tilsetning (se nedenfor).

Det er rapportert at det ved temperatur under  $-6^\circ\text{C}$  er høyere friksjon på  $MgCl_2$ -strekningen sammenlignet med strekning strødd med  $NaCl$  uten tilsetningsstoff.

### **Brukstemperatur**

Anbefalt laveste brukstemperatur er oppgitt til  $-18^\circ\text{C}$  i en referanse, men dette er oppgitt å være opplysninger fra leverandør. Det er ikke funnet vitenskapelig begrunnede anbefalinger knyttet til laveste brukstemperatur.

### **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Det er antatt at de hygroskopiske egenskapene til  $MgCl_2$  vil medføre at veggen er fuktig lenger enn ved bruk av  $NaCl$ .

## 4.4 Sukker

### **Fysikalske-/kjemiske egenskaper**

Se kap. 3.4.4 for fysikalske-/kjemiske egenskaper.

Anvendelsesform som tilsetningsstoff til NaCl er innblanding av tørt sukker i tørt NaCl, og som blanding av sukkerløsning og NaCl-løsning.

### **Fasediagram**

Se kap 3.4.4 for fasediagram for sukker i vannløsning.

### **Driftstekniske egenskaper**

<b>Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk</b>	
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	
Penetrasjonshastighet i is inkl undercutting	
Urenheter (i tilsetningsstoffet)	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	Fra (Gustafsson and Gabrielsson 2006): Driftsforsøk: Ved rimfrost og tynn is på vegbanen har det ikke vært forskjeller verd å nevne. Eventuelle fordeler med seinere tilfrysing av sukkerblandingen har ikke kunnet verifiseres pga nye tiltak har blitt gjort av trafikksikkerhetsgrunner.
Strøing under snøvær	Fra (Gustafsson and Gabrielsson 2006): Driftsforsøk: 100% salt gav et bedre resultat på veg ved snøfall sammenlignet med sukker/saltløsningen.  Fra (Dahl 2009): Feltforsøk med NaCl, sukker, CMA, Aviform og 70/30 blanding av salt/sukker. NaCl, Aviform og 70/30 salt/sukker hadde best effekt i forsøket. Rent sukker og CMA hadde dårligere effekt. Ingen synlig smelting av sukker, CMA brukte så lang tid at lite av snøen smeltet i løpet av forsøket.
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper	Fra (Gustafsson and Gabrielsson 2006): Feltforsøk: Oppfølging av friksjon over en tidsperiode – illustrerer preventiv bruk og uttynning med vann. sukkerløsning (25%) / saltløsning (23%) i ulike blandingsforhold. Sukkeret i løsningen er basert på betemjøl: b1: 100/0 b2: 50/50 b3: 25/75 b4: (35/65) Sukkerløsning basert på invertsukker (vanlig sukker):



	<p>i2: 50/50 i3: 25/75 i1: 25/75 (35% sukkerløsning) i4: 25/75 (73% sukkerløsning)</p> <p>Alle blandinger unntatt 100% sukker (b1) viser tilnærmet samme friksjon som NaCl, men b2 og b3 har dog noe lavere friksjonsverdier.</p> <p>Feltforsøket benytter vann som uttynningsmiddel og ikke fallende snø. Sukkerets evne til å smelte fallende snø er mindre (ingen?) ift NaCl, så resultatene kan ikke tillegges så stor vekt.</p> <p>Driftsforsøk_2: Forsøk med løsning som i drift_1 verifiserte at det er friksjonsmessig likeverdig om 25% av saltløsningen erstattes med sukkerløsning. Forsøk med befuktet 50/50 blanding av salt/råsuksker gav heller ikke nevnbare forskjeller i friksjonsverdi.</p> <p>Fra (COST 2008): Sukker reduserer den negative miljøpåvirkningen til klorider ved tilsetning til en akseptabel kostnad. Det har også blitt foreslått at slike produkter kan være markør for restsalt på veggen pga fluoriserende egenskaper.</p>
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	<p>Fra (Gustafsson and Gabrielsson 2006): Betemjøl er meget hygroskopisk og lagres i storsekk i tørre lokaler. Også råsuksker er hygroskopisk, tilsvarende som for hvitt sukker. Ved relativ luftfuktighet over 83-85% er vannopptaket så stort at det går i løsning.</p> <p>I 50/50 blandinger av tørt NaCl og tørt sukker er det observert at det dannes en hard overflate hvis blandingen blir liggende ubrukt, angivelig pga hygroskopisiteten til råsukskeret. Dette har imidlertid ikke medført problemer ved bruken/utspredningen.</p>
<b>Andre vurderinger</b>	
	<p>Fra (Möller 2007): Grunntanken bak innblanding av sukker i salt er å utnytte at sukker har en suksessiv innfrysing. Sukker smelter ikke snø og is, men hvis sukker kan forhindre en plutselig tilfrysing av vann eller snøslaps kan det medføre færre tiltak og lengre varighet på hvert tiltak, noe som igjen vil medføre at saltforbruket kan bli redusert.</p>

## Oppsummering for materialet

### Lagring

Sukker i form av betemjøl er meget hygroskopisk og leveres i storsekk, og må lagres i tørre lokaler. Råsuksker er også hygroskopisk, tilnærmet samme som for hvitt sukker. Hvis tørt sukker eller blandinger med NaCl (tørt) blir liggende kan det dannes hard overflate pga hygroskopisiteten.

### Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning

I forsøkene som er rapportert er mengdene som er benyttet inkl løsning omtrent samme som mengden NaCl den erstatter. Bruk av sukker som tilsetningsstoff vil derfor ikke ha noen innvirkning på effektiviteten ved utlegging.

### Utspredning

Det er ikke sagt noe i referansene om spesielle forhold knyttet til utspredningen.

**Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Det er få forsøk med bruk av sukkeertilsetning. Det ene driftsforsøket som er dokumentert antyder at tilsetning av 25% sukkerløsning til en NaCl-løsning ved rimfrost og tynn is var likeverdig med bruk av ren NaCl-løsning. Ved snøvær derimot var erfaringen at NaCl uten tilsetning gav et bedre resultat på veggen enn sukker/salt-løsningen.

**Brukstemperatur**

Det er antatt at tilsetning av sukker vil hindre tilfrysing av løsningen i større grad enn ren NaCl-løsning, men dette er ikke påvist gjennom driftsforsøkene.

**Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Det er ikke funnet spesiell omtale om opptørkingsegenskapene til NaCl tilsatt sukker, men løsningens fluoriserende egenskaper antas å kunne brukes for å bedømme mengden restsalt på veggen.

## 4.5 ABP - Agricultural Byproduct

ABP som er trebokstavforkortelsen til Agricultural Byproduct betyr ”restprodukt fra landbruket”. Ut fra de omtaler som finnes om ABP-er i forbindelse med vinterdrift av veg, så kan det antas at dette egentlig er restprodukter fra næringsmiddelindustrien.

Det hevdes fra leverandørhold at tilsetning av ABP-er til NaCl forbedrer egenskapene til NaCl i forbindelse med bruk i vinterdrift. ABP-er skal redusere korrosjon på konstruksjoner og materialer, og også forbedre de fysiske/kjemiske egenskapene som NaCl har i forbindelse med vinterdrift. Produktene skal også være skånsomme mot miljøet.

Litteratursøket resulterte i flere referanser knyttet til ABP-er. ABP-ene er delt i to hovedgrupper, der det kommersielle produktet Safecote omhandles i eget kapittel, og andre ABP-er omtales for seg. Det er Safcote som p.t. er det ABP-produktet som er mest omtalt i referansene fra Europa. I USA finnes flere andre kommersielle ABP-produkter.

### 4.5.1 Safecote

#### **Materialsammensetning og fysiske-/kjemiske egenskaper**

Iht produsenten er Safecote en blanding av naturlige miljøvennlige ingredienser. Det opplyses ikke om hvilke stoffer de enkelt ingrediensene er. Stoffet leveres som løsning. I produktdatabladet/produktspesifikasjonen fra 2007 som er gjengitt i rapporten til (Klein-Paste 2008), framgår det at innholdet av Safecote er ca 56% tørrstoff.

Tørrstoffet består av følgende stoffer (i % av løsning):

- 15.7% sukker
- 7.5% organiske syrer
- 9.5% betanin
- 1.5% aminosyrer
- 21.6% lettløselige mineralsalter

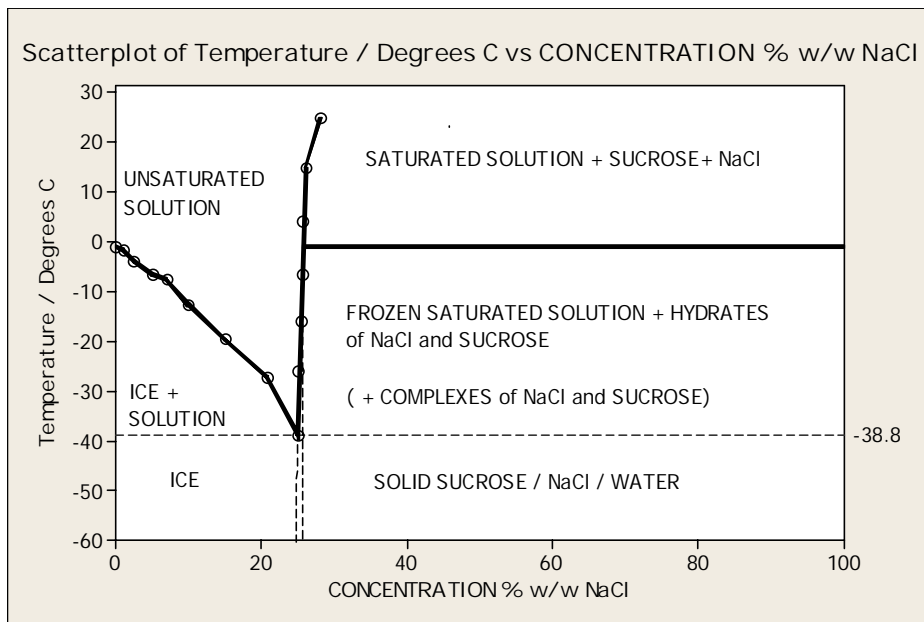
Ca 35% er altså organiske materialer, 22% mineralsalter og resten er vann. Det betyr at det er et stort innslag av mineraler selv om produktet framstilles som et organisk produkt.

Minaeralinnholdet er følgende (i % av løsning):

- 6.0% kalium
  - 0.9% natrium
  - 1.4% klorid
  - 0.4% svovel
- samt mindre mengder av forsfor, magnesium, jern, sink og kobber.

## Fasediagram

Det er ikke funnet fasediagram for NaCl-løsninger tilsatt Safecote. Imidlertid foreligger fra Safecote Ltd følgende fasediagram for blanding av NaCl-løsning og sukkerløsning. Det er ikke oppgitt hvem som har utarbeidet fasediagrammet.



Fasediagrammet viser effekten av sukertilsetning til saltløsning. Fra figuren kan man lese at løsningen har eutektisk pkt på  $-39^{\circ}\text{C}$  ved et vektforhold mellom sukker:NaCl på ca 25:75.

Se også fasediagrammer til NaCl og sukker i hhv kap 3.1 og 3.4.4.

## Driftstekniske egenskaper

Egenskaper hovedsakelig undersøkt i lab-forsøk													
Smeltekapasitet, smeltehastighet, smelteeffekt	<p>Fra (Burtwell 2004): Lab-resultatene viser at tilsetning av 22.2 l Safecote pr tonn NaCl (tørt) er litt mer effektiv enn steinsalt for smelting av is, ispenetrasjon og undercutting i forsøk over 1 time. Ved 30 min var stoffene like. Tilsetning av Safecote til salt ser ut til å skynde på løsningsprosessen jf bare steinsalt. Basert på testene er Safecote best egnet for avising av dekker når det blir brukt som tilsetning til salt i forholdet 3 vekt-%.</p> <p>Fra (Wilson, Burtwell et al. 2003): Ved 3 og 5% løsninger av Safecote var frysepunktnedsettelsen minst så god som for NaCl alene. Bruk av Safecote (S1 og S2) viste ingen ødeleggende effekt på friksjon ift bruk av kun NaCl.</p> <p>Fra (Hagan 2006): Måling av frysepunkt for ulike blandingsforhold av konsentrert NaCl løsning (23%) og Safecote.</p> <table> <tr> <td>10/90 Safecote/NaCl:</td> <td>-27.1</td> </tr> <tr> <td>20/80:</td> <td>-30.8</td> </tr> <tr> <td>30/70:</td> <td>-32.3</td> </tr> <tr> <td>40/60:</td> <td>-37.1</td> </tr> <tr> <td>50/50:</td> <td>-40.4</td> </tr> <tr> <td>100% Safecote:</td> <td>&lt; -72.5</td> </tr> </table>	10/90 Safecote/NaCl:	-27.1	20/80:	-30.8	30/70:	-32.3	40/60:	-37.1	50/50:	-40.4	100% Safecote:	< -72.5
10/90 Safecote/NaCl:	-27.1												
20/80:	-30.8												
30/70:	-32.3												
40/60:	-37.1												
50/50:	-40.4												
100% Safecote:	< -72.5												

Penetrasjonshastighet i is inkl undercutting	
Urenheter (i tilsetningsstoffet)	
<b>Egenskaper fra drifts- og feltforsøk</b>	
Erfaringsmessig laveste brukstemperatur	
Forbruk ved utstrøing	
Preventiv strøing	
Strøing på rim/tynne islag	
Strøing under snøvær	
Opptørkingsegenskaper	
Andre egenskaper	<p>Fra (Klein-Paste 2008): Kun måling av restsalt, ikke dokumentasjon av friksjon/effekt på vegen. Konklusjonen i rapporten er at det ikke er funnet økning av saltets levetid på vegen ved å bruke tilsetningsstoffet Safecote. I alle tester var levetid av salt med tilsetningsstoff sammenlignbar med salt uten tilsetningsstoff.</p> <p>Fra (Woodward 2006): I laboratorieundersøkelser har man funnet at mengden av Safecote-løsning som brukes for befuktning av steinsalt ikke har signifikant innvirkning på friksjonen til vegdekket.</p>
<b>Håndtering</b>	
Lagring (inkl additiver) og spredning	
<b>Andre vurderinger</b>	
	<p>Fra (Burtwell 2004): Safecote har potensiale til å bli brukt som befuktningmiddel for befuktet salt. Dette kan redusere ugunstige effekter på miljøet, konstruksjoner og mengde salt som benyttes.</p> <p>Fra (Wilson, Burtwell et al. 2003): Basert på testene synes Safecote å være best for avising når det brukes som tilsetning til NaCl ved standard tilsetning på 3% (vekt-%). Brukt uforynnet og i mengder på 10-20g/m<sup>2</sup> blir punktutslippene for store mht UK-krav til grunnvannsforurensing.</p> <p>Fra (Lewis 2007): Finner ikke vitenskapelig gjennomførte feltforsøk som underbygger påståtte egenskaper til ABP-er. Veloverveid avgjørelse om bruk av ABP materialer kan ikke bli tatt uten å ha mer kunnskap om egenskapene.</p>

## **Oppsummering for materialet**

### **Lagring**

Safecote leveres som væske.

### **Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning**

Bruksområdet for Safecote er som befuktningsvæske til NaCl. Lavere dosering (3 %) enn ved bruk av NaCl-løsning til befuktning gjør at effektiviteten ved utspreidningen minst er like god som for NaCl med befuktning av NaCl-løsning.

## **Utspredning**

Det er ikke sagt noe i referansene om spesielle forhold knyttet til utspredningen.

## **Fysisk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift**

Tilsetning av 3 vekt-% anses å være optimal mengde. Egenskapene ift frysepunktnedsettelse er da minst like gode som for NaCl. Friksjon etter tiltak er heller ikke dårligere enn om bare NaCl hadde blitt benyttet. Lab-måling av frysepunktnedsettelse viser at ublandet Safecote har et vesentlig lavere frysepunkt enn NaCl, og at alle blandinger av Safecote og NaCl har lavere frysepunkt enn NaCl. Ved så liten tilsetning som er anbefalt i flere referanser (3 %) så vil frysepunktnedsettelsen til NaCl-løsningen være 1-2°C forutsatt en noenlunde lineær utvikling av frysepunktnedsettelsen slik lab-forsøket tyder på.

## **Brukstemperatur**

Det foreligger ikke informasjon fra feltforsøk eller driftsforsøk som beskriver effekten Safecote kan ha ved bruk ved lavere temperaturer enn det NaCl normalt kan brukes ved. Men lab-forsøk over frysepunktnedsettelse til blandinger av Safecote og NaCl viser at frysepunktet til NaCl-løsning synker ved tilsetning av Safecote.

## **Opptørking og restvirkning/ettervirkning**

Det er ved måling av restsaltmengder i driftsforsøk funnet at Safecote tilsatt NaCl (50:50) ikke gir lenger restlevetid/ettervirkning enn bruk av kun NaCl. Restsaltkonsentrasjonene var like på prøve- og kontrollstrekningen.

#### 4.5.2 Andre ABP-er

Fra (Fay, Shi et al. 2009):

Den ABP-baserte løsningen gav lavest friksjon i labtest, både før og etter at isen har smeltet, ift de andre kjemikaliene NaCl (s=solid), MgCl<sub>2</sub>, KAc, NaAc, NaF, CMA og blanding av NaAc/NaF.

Penetrasjonstest ble gjennomført med følgende materialer: NaAc (s), NaF (s), NaCl (s), MgCl<sub>2</sub> (l=liquid), KAc (l) og ABP (l, med høyt innhold av klorider). Ved 0°C penteterte både KAc (l), MgCl<sub>2</sub> (l) og ABP til bunns i løpet av 30 min.

Penetrasjonen avtok gradvis ved senking av temperaturen. De faste stoffene virket alle ganske godt ved 0°C, med unntak av NaAc (s) som ikke penetrerte i det hele tatt. NaF (s) NaCl (s) penetrerte ikke ved -12°C.

Fra (Kahl 2002):

ABP-løsninger bør brukes til preventive tiltak og som befuktningmiddel, ikke som issmeltemiddel. Referansen oppgir følgende ABP-produkter som brukes (i Michigan):

Ice Beeter M-50	(1:1 med MgCl <sub>2</sub> -løsning)
Caliber M1000	(1:9 med MgCl <sub>2</sub> -løsning)
Ice Ban M-80	(1:4 med MgCl <sub>2</sub> -løsning)
Ice Ban CM-80	(1:4 med CaCl <sub>2</sub> -løsning)
Ice Ban Cm-93	(7:93 med CaCl <sub>2</sub> -løsning)
First Down	(1:1 med vann)

Fra (Lewis 2001):

Hoveddelen av det uorganiske innholdet av Caliber M1000 og Caliber M2000 var veldig likt innholdet i MgCl<sub>2</sub>-løsning. Uorganisk materiale utgjorde fra 30-45% av innholdet i alle tre typene, og mer enn 95% av uorganiske fast stoff var magnesium og klorider. Stoffene inneholdt også kalsium, natrium, kalium og sulfater, men det var i små mengder i forhold til magnesium og klor.

Analysene indikerer at CaliberM1000 og M2000 er basert på MgCl<sub>2</sub>, men inneholder i tillegg større mengder av fosfater, nitrogen og organisk materiale.

#### 4.9 Andre produkter

Referansene (Clines 2003), (DeVries 2006) og (Kaiser 2002) inneholder oppstilling og noe omtale/informasjon om noen kommersielle produkter til bruk i vinterdriften.

Dette er naturlige blandesalter, blandesalter som er restprodukter fra annen virksomhet, blandinger av salter og organiske stoffer, mm. Innholdsbeskrivelsen er oftest ikke utfyllende, men det antas å være stor sannsynlighet for at de består av stoffer som allerede er behandlet i denne rapporten. Disse produktene er det derfor ikke gjort ytterligere undersøkelser rundt.

## 5 Diskusjon/konklusjon

Oppsummeringen av litteraturstudiet gjøres i tabellene som følger nedenfor. Kommentarer og vurderinger knyttet til hvert alternative materiale eller tilsetningsstoff er relatert til referansematerialet NaCl.

### 5.1 Alternative kjemikalier

Materiale	Materialenes egenskaper med hensyn til:					
	Lagring	Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning	Utspredning	Fysikalsk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift	Bruks-temperatur	Opptørking og restvirkning/ettervirkning
NaCl - referansematerialet	<i>Fleksibel lagring av tørt salt pga lite hygroskopisk. Lagres på gulv, under tak.</i>	<i>Effektiv lessing. Lav dosering pga gode smelteegenskaper gir mange strøkm pr lass</i>	<i>Fleksibelt i forhold til aktuell vær-situasjon. Spres som tørt, befuktet, slurry, eller løsnings.</i>	<i>Gode (de beste) smelteegenskaper, men reagerer saktere enn eksoterme materialer.</i>	<i>Ned til -6 til -10°C, befuktet salt best ved lavest temperatur.</i>	<i>Tørker fullstendig opp på veggen, med en hvit-farget rest igjen etter opptørking.</i>
CaCl <sub>2</sub>	-- Mindre fleksibelt, må lagres i luft- og vanntett emballasje. Dårligere mht arbeidsmiljø.	= Omtrent likeverdig mht strøkm pr lass. Emballasje kan forlenge opplastingstid	+ Spres tørt eller som løsning. Tørt stoff hefter bedre til veggen enn NaCl pga rask tiltrekking av fuktighet.	+ Raskere virkning ved alle temperaturer. Forøvrig omtrent likeverdig smeltekapasitet	++ Ned til -25°C	- Tørker ikke opp, og veggen forblir våt og glattere. Uttynning av restsaltet medfører fare for tilfrysing.
MgCl <sub>2</sub>	- Må lagres i luft- og vanntett emballasje. Uproblematisk mht arbeidsmiljø.	- Hvis brukt som heksahydrat (vanligste form) er smelteeffekt lavere og høyere dosering er nødvendig, og dermed oppnås færre strøkm pr lass.	+ Spres tørt eller som løsning. Tørt stoff hefter bedre til veggen enn NaCl pga rask tiltrekking av fuktighet.	+ - Veldig rask virkning etter utlegging, men egner seg ikke til å smelte tykke islag.	+ Ned til -23°C. Løsning ned til -7°C.	- Tørker ikke opp, og veggen forblir våt og dermed redusert friksjon mens den er våt. Uttynning av restsaltet medfører fare for tilfrysing.
KCl				-- Dårligere penetrasjons- og undercuttings egenskaper. Eutektisk punkt ved høyere temperatur.	-- Ned til -5°C.	



Materiale	Materialenes egenskaper med hensyn til:					
	Lagring	Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning	Utspredning	Fysikalsk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift	Bruks-temperatur	Opptørking og restvirkning/ettervirkning
CMA	- - Mindre fleksibelt, må lagres i luft- og vanntett emballasje. Dårligere mht arbeidsmiljø. Krever større lagervolum.	- Mindre effektiv strøing pga høyere dosering og lavere densitet som gir mindre materiale pr lass.	- Ved utlegging av tørt stoff blir mindre værende igjen på vegbanen. Kan størkne og kake seg i spreder.	- - Dårlig smelteeffekt, veldig tregsmelte-reaksjon. Langsom oppløsning i vann. Lite egnet is-smeltemiddel. Viser bedre egenskaper i forhold til å hindre pakking av snø hvis utlagt i stor mengde tidlig under snøvær.	- Som ismeltemiddel ned mot -4 til -5°C, under snøvær ned til -10°C.	-/= Stoffet tørker ikke opp og er dermed utsatt for tilfrysing ved frost. Residual-effekten er bedre, som resulterer i behov for færre tiltak.
KAc	- Leveres og lagres som løsning. Krever derfor store lagertanker ved utstrakt bruk.	+ Bedre smeltekapasitet enn 22% NaCl-løsning tilsier lavere dosering og lenger utspredningsstrekning mellom hver tankfylling.	- Bare aktuell som løsning, har derfor begrenset bruksområde (mindre aktuell under snøvær og på snø/issåle).	- Rask reaksjon og bra smelteeffekt samt lavt frysepunkt sammenlignet med NaCl-løsning. Ikke samme effekt som tørt NaCl. Dårligere på å smelte islag.	++ Ned til -25°C.	- Hygroskopisiteten medfører lengre perioder med våt veg med risiko for tilfrysing etter hvert som væsken tynnes ut.
NaAc	- Det er ikke nevnt noe om lagring i referansene, men stoffet er hygroskopisk og det må antas at stoffet i fast form må lagres i luft- og vanntett emballasje.			- NaAc har god smelteeffekt, omtrent som for KAc-løsning, men lavere enn tørt NaCl. Noe høyere eutektisk punkt enn NaCl.	= Ned til -10°C.	- Ikke nevnt i referansene, men hygroskopisiteten antas å medføre lengre perioder med våt veg med risiko for tilfrysing etter hvert som væsken tynnes ut.

Materiale	Materialenes egenskaper med hensyn til:					
	Lagring	Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning	Utspredning	Fysikalsk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift	Bruks-temperatur	Opptøring og restvirkning/ettervirkning
CMKAc				- Som tørt stoff antyder det ene lab-forsøket noe bedre smelteeffekt enn NaAc, men langt dårligere enn tørt NaCl.		
NaF	- Støv må ikke innåndes, andre opplysninger er ikke funnet	= Egenskaper omtrent som for NaCl gir og samme utsprednings-effektivitet		+ / - Smelteeffekt omtrent lik med NaCl, men virksomt til noe lavere temperatur. På tykk is er effekten dårligere.	= Ned til -11°C	
KF	- Leveres kun som løsning, og krever derfor store lagertanker ved utstrakt bruk av materialet.			- - Smelteegenskaper dårligere enn for NaCl. Ikke egnet for å smelte tykk is og snø (> 3 mm).	= Ned til -10°C	
CaF					- Ned til -8.5°C	
Na-levulinat Mg-levulinat Ca-levulinat				- Levulinat-salter er kun testet i lab, ikke i felt eller driftsforsøk. Lab forsøk antyder at særlig Na-levulinater frysepunkt ned settende nesten i samme grad som NaCl.		
Urea	- Innånding av støv skal unngås. Stoffet skal leveres i vanntett emballasje.	- Lav densitet og høy dosering medfører kortere spredningstrakninger pr lass.	(-) Kan benyttes både som fast stoff og i løsning.	- - Sakte virkning og mindre smeltekapasitet.	- - Ned til -3 til -4°C.	- Etterlater en glatt overflate

Materiale	Materialenes egenskaper med hensyn til:					
	Lagring	Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning	Utspredning	Fysikalsk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift	Bruks-temperatur	Opptørring og restvirkning/ettervirkning
Etylenglykol Propylen-glykol	- Væsker, krever store lagertanker. Propylen-glykol må lagres lufttett.			+ Fortreffelige snøsmeltningsegenskaper.	+ Etylenglykol: -50°C Prop.glykol: -25°C.	- Glatt dekkeoverflate etter utspredning.
Metanol	- Brannfare ved lagring (er ingen fare etter utspredning pga uttynning).			+ Veldig effektivt for å senke frysepunktet.		
Sukker	+ Fast stoff, ikke skadelig ved håndtering			- - Kun en referanse på bruk av rent sukker. I forsøket var det ikke synlig smelting av snø.		
Betain				- Labforsøk viser dårligere penetrasjonsegenskaper enn NaCl. Penetrasjon til 50% løsning er som for KF. I feltforsøk oppnås omtrent samme friksjonsforbedring etter tiltak som for acetater og formiater, og bedre enn urea.	- Ikke dokumentasjon på virkning ved temperatur lavere enn -2°C.	

Blanke celler i tabellen viser egenskaper som det ikke er beskrevet noe om i referansene. Dermed gir tabellen et raskt visuelt uttrykk for hvilke materialer som er utprøvd knyttet til de viktigste egenskapene ved bruk av materialet i vinterdriften. Tabellen viser at det mangler informasjon om en eller flere egenskap for mange av materialene. En mulig årsak til dette kan være at materialet er lite aktuelt å benytte i vinterdriften av andre årsaker enn materialets egenskaper knyttet til vinterdrift. Det vil da ikke være så aktuelt å teste ut materialet mht alle egenskapene materialet bør ha for å fungere i vinterdriften.

Et materiale kan være uaktuelt å bruke i vinterdriften bl.a. pga:

- materialet har en uakseptabel høy pris
- materialet har nedbrytende effekt på materialer
- materialet har negativ påvirkning på omgivelser/miljø

De materialene som har referanser knyttet til alle vinterdriftsegenskapene i tabellen er  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ , CMA, KAc og urea. De tre første er typiske materialer som benyttes på veg som alternativ til NaCl. KAc og urea er mest brukt på flyplasser. I forhold til NaCl har disse materialene oppnådd følgende vurdering totalt mht vinterdriftsegenskapene i tabellen ovenfor:

- $\text{CaCl}_2$ : 1 +
- $\text{MgCl}_2$ : 1 -
- CMA: 7 -
- KAc: 1 -
- Urea: 7.5 -

Vurderingen er summering av pluss- og minustegn for materialet fra tabellen. Dette er en forenklet metode for vurdering siden egenskapene ikke er vektet seg i mellom og egenskapene anses på denne måten like viktige. Denne forenklete metoden indikerer at det er  $\text{CaCl}_2$  etterfulgt av  $\text{MgCl}_2$  og KAc som er de alternativene til NaCl som har de beste egenskapene for bruk i vinterdriften.

CMA og urea faller igjennom i rangeringen og viser betydelig dårligere egenskaper sammenlignet med NaCl og de tre alternative materialene  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  og KAc. Både CMA og urea har dårligere eller også betydelig dårligere egenskaper knyttet til alle de parameterne som har inngått i sammenligningen (lagring, mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspreddning, utspreddning, fysikalsk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift, brukstemperatur, opptørking og restvirkning/ettervirkning).

For å kunne gjøre den endelige/praktiske vurderingen mht valg av materiale til bruk i vinterdriften, bør man skille mellom de fysikalske/kjemiske egenskapene og driftsrelaterte egenskaper. De fysikalske/kjemiske egenskapene er basisegenskaper til materialene og kan ikke gjøres noe med, mens de driftsrelaterte egenskapene kan omgås/håndteres ved tilpasninger av metoder og løsninger for lagerhold, håndtering og utspreddning.

I tillegg er det i vurderingene ikke tatt hensyn til øvrige faktorer og egenskaper som ikke har med vinterdrift å gjøre, men som også må vektlegges ved vurdering av egnet materiale. Dette gjelder de alternative kjemikalienes innkjøpspris, nedbrytning av materialer og innvirkning på miljø og omgivelser.

Øvrige materialer som har beskrivelser knyttet til de fleste vinterdriftsegenskapene i tabellen ovenfor er NaAc, NaF, KF og glykoler. Av disse er det NaAc, NaF og KF som er omtalt i flest referanser og som kan anses som mest interessante mht ytterligere undersøkelser med tanke på bruk i vinterdrift samt disse materialenes pris, nedbrytende effekt på materialer, og innvirkning på miljø og omgivelser.

## 5.2 Tilsetningsstoffer til NaCl

Materiale	Materialenes egenskaper med hensyn til:					
	Lagring	Mengde og forbruk i forhold til effektivitet ved utspredning	Utspredning	Fysikalsk/kjemiske egenskaper ift behovene i vinterdrift	Bruks-temperatur	Opptørring og restvirkning/ettervirkning
CMA	- Lagerhold av to materialer	= Liten (20/80) innblanding gir effektivitet som for NaCl	- Klumping kan være et problem	= 20/80 blandinger regnes som likeverdig		+ Tørrere veg etter smelting av snø
CaCl <sub>2</sub>	- Lagerhold av to materialer	+ Forventer mindre tap av NaCl etter utspredning pga CaCl <sub>2</sub> tiltrekker fuktighet som binder NaCl-korn til vegen	=	+ Raskere reaksjon	+ Kan brukes ned til -17°C og øker muligheten for kjemisk fjerning av is/snø ved lave temperaturer	- Løsningen tørker ikke opp, og det er fare for tilfrysing ved uttynning
MgCl <sub>2</sub>	- Lagerhold av to materialer	+ Mindre forbruk av NaCl	=	+ høyere friksjon ift NaCl etter tiltak ved lave temperaturer	+ -18°C, men udokumentert påstand	- Hygroskopisiteten medføre fare for tilfrysing etter uttynning
Sukker	- Lagerhold av to materialer. NB! Betemjøl istedenfor råsuksker krever mer tilberednings-utsyr	=	=	- Like egenskaper ved preventiv bruk og på rim/tynn is. Dårligere ved snøvær.	(=) Det er ikke dokumentert/påvist i forsøk at lavere frysepunkt for sukker/salt-løsning gir positive effekter i vinterdriften.	
Safecote	- Lagerhold av to materialer	= Pga liten tilsetningsmengde er effektiviteten minst like god som ved be-fuktning med NaCl		= Minst like gode egenskaper som NaCl ved 3 % tilsetning.		= Mengde restsalt i tidsperiode etter tiltak er den samme som for NaCl uten tilsetning

Som for de alternative kjemikalierne som ble oppsummert i forrige kapittel, gjelder det i denne oppsummeringen at blanke celler i tabellen viser egenskaper som det ikke er beskrevet noe om i referansene. Dermed gir tabellen et raskt visuelt uttrykk for hvilke materialer som er utprøvd knyttet til de viktigste egenskapene ved bruk av tilsetningsstoffet i vinterdriften. Tabellen viser at det mangler informasjon om en eller flere egenskaper for flere av tilsetningsstoffene.

Alle tilsetningsstoffene med ett unntak har blitt bedømt på fem av de seks ulike vinterdriftsegenskapene i tabellen. Unntaket som er sukker har blitt bedømt utfra tre egenskaper. En forenklet totalvurdering slik det ble gjort også for de alternative kjemikaliene til NaCl viser følgende rangering mellom de ulike tilsetningsstoffene:

- CaCl<sub>2</sub>: 1 +
- MgCl<sub>2</sub>: 1 +
- CMA: 1 -
- Safecote: 1 -
- Sukker: 2 -

Vurderingen er summering av pluss- og minustegn for materialet fra tabellen. Dette er en forenklet metode for vurdering siden egenskapene ikke er vektet seg i mellom og egenskapene anses på denne måten som like viktige. Denne forenklete metoden indikerer at det er CaCl<sub>2</sub> og MgCl<sub>2</sub> som synes å ha de beste egenskapene som tilsetningsstoff til NaCl. CMA og Safecote følger deretter, mens sukker kommer dårligst ut i rangeringen av mulige tilsetningsstoffer til NaCl for bruk i vinterdriften.

Den enkle rangeringen antyder at det ikke er voldsomt store forskjeller mellom materialene totalt sett, og det vil derfor være naturlig at alle disse tilsetningsstoffene vurderes ift de viktige parameterne pris, innvirkning på miljø og omgivelser og nedbrytende effekt på materialer og konstruksjoner.

## 6 Referanser

Alatypö, V. (2008). Efficiency of runway de-icing chemicals in practice. Managing Road and Runway Surfaces to Improve Safety. Cheltenham, England.

Alger, R. G., E. E. Adams, et al. (1994). Anti-icing study : controlled chemical treatments. Washington, D.C., Strategic Highway Research Program, National Research Council.

Alger, R. G., J. P. Beckwith, et al. (1994). "Comparison of Liquid and Solid Chemicals for Anti-icing Applications on Pavements." Transportation Research Record(1442): 162-169.

anon (1993). "Caltrans tests acetate based deicers." Public works 124(8).

Attrup, P. (2004). "Brug af tømidler på Storbælt."

Bjerrum, J., K. Pedersen, et al. (1991). Alternative af-isningsmidler til broer og lufthavne : rapport. [Copenhagen], Vejdirektoratet, Broområdet.

Burtwell, M. (2004). Assessment Of Safecote: New Deicer Product. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington.

Chollar, B. H. (1984). "Federal Highway Administration Research on Calcium Magnesium Acetate - An Alternative Deicer." Public Roads 47(4): 113-118.

Chollar, B. H. (1988). "Field evaluation of calcium magnesium acetate during the winter of 1986-87." Public roads 52(1): 13-18.

Clines, K. (2003). "BID LIST ; Materials for Deicing and Anti-icing." Better roads 73: 52-65.

Comfort, G. (1994). Laboratory tests of the performance of highway de-icing chemicals and winter sand on compacted snow and ice. Ontario, Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation.

COST (2008). New developments for winter service on European roads : final report. COST Action 353. Winter service strategies for increased European road safety. [Brussels], COST Office.

Dahl, G. (2009). "Utprøving av alternative kjemikalier for vinterdrift av veier."

DeVries, R. M. (2006). "Chloride cocktail : department in Illinois finds good results mixing their own deicer/anti-icer." Roads & bridges 44(8): 50.

Dunn, S. A. and R. U. Shcenk (1980). "Alternatives to Sodium Chloride for Highway Deicing." Transportation Research Record(776): 12-15.

Ernst, D. D., G. Demich, et al. (1985). "CMA Research in Wahington State." 19.

Fay, L., X. Shi, et al. (2009). "Laboratory evaluation of Alternative Deicers: The Path to Decision-Making Based on Science and Agency Priorities."

Fritzsche, C. J. (1991). "CMA has unique role in deicing strategy." Roads & bridges 29(6): 43.

Fu, L., R. Sooklall, et al. (2006). "Effectiveness of alternative chemicals for snow removal on highways." Transportation Research Record.(1948): 125-134.

Ganjyal, G., Q. Fang, et al. (2007). "Freezing points and small-scale deicing tests for salts of levulinic acid made from grain sorghum." Bioresource technology 98(15): 2814-2818.

Goetzfried, F. and H. Badelt (2002). The effectiveness of different de-icing salts. XIth PIARC International Winter Road Congress = XIeme Congres International de la Viabilite Hivernale de l' AIPCR, Sapporo, Japan, PIARC.

Gustafson, K. (1994). Test and evaluation of salt/CMA mixtures (VTI särtryck, 225). Linköping, Sweden, Statens väg- och transportforskningsinstitut.

Gustafson, K. and A. Ihs (1997). Test and Evaluation of Calcium Magnesium Acetate - Sodium Chloride Mixture in Sweden. Snow removal and ice control, Fourth International Symposium, Reno, Nevada.

Gustafsson, A. and G. Gabrielsson (2006). Vinterdrift. Sockerprodukter i kombination med NaCl. Borlänge, Vägverket Produktion.

Hagan, P. (2006). "Freezing Point Determinations of Safecote Brine Mixtures."

Hamilton, G. B., W. M. Miner, et al. (1989). "1987-1988 City of Ottawa, Ontario, Canada Deicer Field Trials." Transportation Research Record (1246): 27-38.

Harris, G. P., R. Turner, et al. (1993). "Field Test Comparison of Calcium Magnesium Acetate to Salt." Journal of Transportation Engineering 119(6): 889-904.

Hernes, I. (2005). Magnesiumkloridløysingar som friksjonsforbetrande tiltak – laboratorieforsøk og oppfølging av feltarbeid. Trondheim, NTNU-Institutt for bygg, anlegg og transport.

Ihs, A. (1998). Test and evaluation of alternative deicing methods and materials in Sweden (VTI särtryck, 287). [Linköping], Statens väg- och transportforskningsinstitut.

Ihs, A. and K. Gustafson (1996). Kalciummagnesiumacetat (CMA) - ett alternativt halkbekämpningsmedel : litteraturstudie (VTI meddelande, 789). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.

Ihs, A., K. Gustafson, et al. (1996). Utvärdering av CMA/NaCl-blandning : effekt på väglag/friktion, smältförmåga, korrosion och betongpåverkan (VTI meddelande, 788). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.



- Ihs, A. and S. Möller (2000). Halkbekämpfung vid låga temperaturer (VTI notat, 72). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Iverson, D. L., J. W. McGraw, et al. (1997). "Mixing Ratio of CaCl<sub>2</sub> and NaCl for Effective Deicer." Journal of Materials in Civil Engineering 9(2): 62-64.
- Johnson, K. L. (1994). Alternative deicers: recent developments in acetate-based deicing compounds. IXth PIARC International Winter Road Congress = IXeme Congres International de la Viabilite Hivernale de l' AIPCR, Seefeld, Austria, PIARC.
- Johnston, D. P. and D. L. Huft (1993). "Sodium Salts of Carboxylic Acids as Alternative Deicers." Transportation Research Record(1387): 67-70.
- Järvinen, H.-L. (1995). "Technical Characteristics and Environmental Impacts of Deicing Chemicals." 52.
- Kahl, S. (2002). Agricultural by-products for anti-icing and deicing use in Michigan. Lansing, Michigan Department of Transportation.
- Kaiser, K. (2002). "The future of solid deicers." Roads & bridges 72(4): 56-57.
- Ketcham, S. A., L. D. Minsk, et al. (1996). "Manual of Practice for an Effective Anti-icing Program."
- Klein-Paste, A. (2008). SaltSMART : reduksjon av saltforbruk ved bruk av tilsetningsstoffer - feltforsøk vinter 2007/08 (Teknologirapport 2523). Oslo, Vegdirektoratet. Teknologivdelingen.
- Knudsen, F., F. Lidstrøm, et al. (2009). "Vintertjeneste i de nordiske land. Statusrapport 2009."
- Lewis, G. (2007). "ABP treated de-icing road salt."
- Lewis, W. M. (2001). Evaluation and comparison of three chemical deicers for use in Colorado. Denver, Colorado, Colorado Department of Transportation.
- Luker, C., B. Rokosh, et al. (2004). Laboratory melting performance comparison : rock salt with and without prewetting. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington, Transportation Research Board.
- Manning, D. G. and L. W. Crowder (1989). "Comparative Field Study of the Operational Characteristics of Calcium Magnesium Acetate." Transportation Research Record (1246): 18-26.
- Manning, D. G. and M. S. Perchanok (1993). "Trials of Calcium Magnesium Acetate Deicer on Highways in Ontario." Transportation Research Record(1387): 71-78.
- McElroy, A. D. (1988). "Study on wetting salt and sand stockpiles with liquid calcium chloride." Transportation Research Record(1157): 38-43.

- McElroy, A. D., R. R. Blackburn, et al. (1988). "Comparative Study of Chemical Deicers." Transportation Research Record (1157): 1-11.
- McElroy, A. D., R. R. Blackburn, et al. (1988). "Comparativ Evaluation of Calcium Magnesium Acetate and Rock Salt." Transportation Research Record (1157): 12-19.
- McElroy, A. D., R. R. Blackburn, et al. (1990). "Comparative Study of Undercutting and Disbondment Characteristics of Chemical Deicers." Transportation Research Record (1268): 173-180.
- McElroy, A. D., G. Cooper, et al. (1998). Melt volume and ice penetration study of magnesium chloride and calcium chloride deicers. Xth PIARC International Winter Road Congress = Xeme Congres International de la Viabilite Hivernale de I' AIPCR, Luleå, Sweden.
- Meyer, F. and H. Nygaard (2001). Statusrapport alternative tømidler fase 1: egenskaber, data og prøvningsmetoder. Glostrup, Carl Bro.
- Minsk, L. D. (1998). Snow and ice control manual for transportation facilities. New York, McGraw-Hill.
- Mori, N., S. Meiarashi, et al. (2002). "Snowy and Ice Road Countermeasures using Anti-freezing Admixture."
- Möller, S. (2007). Nye tekniker och metoder inom vinterväghållning : en litteraturgenomgång (VTI rapport, 569). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- OECD (1989). Curtailing usage of de-icing agents in winter maintenance : report. Paris, OECD Publishing
- Palmer, D. A. (1987). "Formates as alternative deicers." Transportation Research Record(1127): 34-36.
- Perchanok, M. S., D. G. Manning, et al. (1991). Highway de-icers : standards, practice, and research in the province of Ontario. Ontario, Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation.
- Persson, K. and A. Ihs (1998). Kalciumklorid i vinterväghållningen : Litteraturstudie (VTI meddelande, 829). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Rekstad, H. and V. Hardarsson (2005). Bestemmelse av frysepunkt til natrium-/magnesiumklorid løsninger. Teknisk Rapport. Trondheim, Sintef Energiforskning AS.
- Shi, X., L. Fay, et al. (2009). "Evaluation of Alternative Anti-icing and Deicing Compounds Using Sodium Chloride and Magnesium Chloride as Baseline Deicers - Phase I."
- Sinke, G. C. and E. H. Mossner (1976). "Laboratory Comparison of calcium Chloride and Rock Salt as Ice Removal Agents." Transportation Research Record (598): 54-57.

Smith Jr, R. L. (1989). "Field deicing comparison of calcium magnesium acetate and salt during 1987-1988 in Wisconsin." Transportation Research Record(1246): 39-48.

Takeshi, T., K. Kobayashi, et al. (2004). Development and evaluation of nonchloride antifreeze admixture. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington.

TRB (1991). Highway deicing : comparing salt and calcium magnesium acetate (Special Report, 235). Washington, D.C., Transportation Research Board.

TRB (2008). Impact of Airport Pavement Deicing Products on Aircraft and Airfield Infrastructure. Washington, D.C., Transportation Research Board.

Vegdirektoratet (1995). CMA : Kalsium-magnesium-acetat. Utprøving av alternativ til salt i vintervedlikeholdet. Oslo, Vegdirektoratet. Vedlikeholdskontoret.

Vegdirektoratet (2006). Tømidler, sand og grus til glatførebeholdelse.

Vaa, T. and S. Meland (2002). Vinterfrikasjonsprosjektet - forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2001/2002 (Intern rapport 2299). Oslo, Vegdirektoratet.

Vaa, T. and S. Meland (2005). Forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo. Sesongen 2001/2002 - 2004/2005. Sluttrapport (Rapport 2414 Teknologivdelingen).

Vaa, T. and K. Sakshaug (2007). Salting av veier : en kunnskapsoversikt (Teknologirapport 2493). Oslo, Vegdirektoratet. Teknologivdelingen.

Wang, B., J. Li, et al. (2009). A New-Type Environmental Protection Deicing Agent, ASCE.

Wilson, M. I., M. Burtwell, et al. (2003). Assessment of Safecote de-icer product: Phase 2. Wokingham, Berks., TRL.

Woodward, D. (2006). "Effect of Safecote on Laboratory Measurement of Skid Resistance."

Øberg, G., K. Gustafson, et al. (1991). Effektivare halkbekämpning med mindre salt : MINSALT-projektets huvudrapport. Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.

## Vedlegg 1: Ordforklaringer

Ord	Forklaring
Eksoterm reaksjon	En kjemisk reaksjon som «frigir» energi. Det motsatte av endoterm reaksjon.
Endoterm reaksjon	En kjemisk reaksjon som absorberer energi fra omgivelsene. Hentet fra « <a href="http://no.wikipedia.org/wiki/Endoterm_reaksjon">http://no.wikipedia.org/wiki/Endoterm_reaksjon</a> »
Hygroskopisk	Hygroskopisk er en betegnelse på stoffer som trekker til seg fuktighet (vanndamp) fra omgivelsene. Det fins mange materialer som er hygroskopiske, f.eks. tre, honning, etanol, konsentrert svovelsyre og konsentrert natriumhydroksid. Noen stoffer, som f.eks. kalsiumklorid er så hygroskopiske at de tar opp så mye vann at de løses opp i det.  Hentet fra « <a href="http://no.wikipedia.org/wiki/Hygroskopisk">http://no.wikipedia.org/wiki/Hygroskopisk</a> »
Penetrasjonshastighet i is	Saltkorn smelter seg ned i isen og brer seg ut på dekkeoverflaten under isen. Den første fasen omtales som penetrasjon, og den siste som undercutting. Det finnes egne SHRP-tester for både penetrasjon og undercutting.
Råsukker	Uraffinert sukker
Saltløsning	En oppløsning av salt (NaCl) i vann. Oppløsningen inneholder 22 – 24 % salt. Lavest frysepunkt, - 21,12 °C, oppnås med 23,3 % saltinnhold. Hensikten er å oppnå god vedheft til vegdekket og rask effekt med et minimalt saltforbruk (fra Temahefte til Hb 111).
Saltslurry	Blanding av knuste saltkorn og saltoppløsning. Hensikten er å oppnå god vedheft til vegdekket og rask effekt med et minimalt saltforbruk (fra Temahefte til Hb 111).
Smeltekapasitet	Med smeltekapasitet menes hvor mye is som smeltes av en gitt mengde av et issmeltingskjemikalie ved en gitt temperatur over et gitt tidsrom. Det finnes egen SHRP-test for dette med betegnelsen SHRP-H-332.
Undercutting	Se Penetrasjonshastighet i is.

## Vedlegg 2: Vurdering av kildene

Referanse	Metode	Præsentationsform	Udførende av undersøgelsen	Ar utgift	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsøk (Ja-Nei))	Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans til litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materiælets fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
Alatypó, Vile (2008). Efficiency of runway de-icing chemical in practice. International Conference Managing road and runway surfaces to improve safety. Cheltenham, U.K.	Lab- og feltforsøk	Konferanse "paper"	Konsulent/rådgiver	2008	Ja	2	x				1	3	3	Betaine (50%) KF (50%) NaCl (s)	
Alger, R. G., E. E. Adams, et al. (1994). Anti-icing study : controlled chemical treatments. Washington, D.C., Strategic Highway Research Program, National Research Council.	Feltforsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitusjon	1994	Ja	3	x				2	3	3	NaCl MgCl2 CMA KAc Urea	CaCl2
Alger, R. G., J. P. Beckwith, et al. (1994). "Comparison of Liquid and Solid Chemicals for Anti-icing Applications on Pavements." Transportation Research Record(1442): 162-169.	Analysforsøk på data fra eget feltforsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Forskningsinstitusjon	1994	Ja	2	x				1	2	2	NaCl MgCl2 CMA KAc Urea	CaCl2
Amundsen, Bjørn Olav (2010). "Sukker og salt: A sweet solution." Våre Veger nr 3 (2010): 26-27.	Driftforsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Journalist	2010	Nei	1	x				2	2	2		Safecote
anon (1985). "Search continues for alternative deicing chemicals." Better roads 55(6): 44-45.	Annet	Artikkel i fagtidsskrift	Journalist	1985	Nei	1	x				1	1	2	CMA	
anon (1993). "Caltrans tests acetate based deicers." Public works 124(8).	Intervju	Artikkel i fagtidsskrift	Journalist	1993	Nei	1	x				1	1	2	CMA	C92 (acetatbasert tilsetning til sand) C92 løsning som tilsetning til fast CMA
anon (1999). "Agricultural residue evaluated as deicer." Civil Engineering 69(10): 26-26.	Lab- og feltforsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Journalist	1999	Nei	1	x				1	2	3		IceBan IceBan sammen med salt
anon (2005). "Pre-wetting and Anti-icing - Techniques for Winter Road Maintenance." Wisconsin Transportation Bulletin(No. 22).	Informasjon/gode råd	Artikkel i fagtidsskrift	Vegførvalter	2005	Nei	1	x	x			2	1	1	NaCl MgCl2 CaCl2	
Attrup, P. (2004). Brug af tømider på Storebælt. Dansk Vejtidsskrift, oktober 2004.	"State of Practice"	Artikkel i fagtidsskrift	Vegførvalter	2004	Nei	2	x				1	3	3	NaCl CMA KFO	
Bjerrum, J., K. Pedersen, et al. (1991). Alternative af-isningsmidler til broer og lufthavne : rapport. [Copenhagen]. Vejdirektoratet, Broområdet.	Litteraturstudie	Fou-rapport	Vegførvalter	1991	Nei	1	x				1	2	3	CMA KAc	

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgitt	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsk) (Ja-Nei)	Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen	
							Materialers fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)				
Blackburn, R. R., E. J. McGrane, et al. (1993). "Current Status of U.S. Anti-Icing Technology Development." Transportation Research Record (1387): 29-39.	Driftforsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Forskningsinstitusjon	1993	Ja	1			x	1	2	1	MgCl2 - løsning Steinsalt	Steinsalt betuktet med - Freezeguard Plus - MgCl2-løsning - CaCl2 løsn. - NaCl løsn. - CMA-løsn eller KAc løsn - NaCl løsn+CMA løsn
Burtwell, M. (2004). Assessment Of Safecote: New Deicer Product. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington.	Lab-forsøk	Konferanse "paper"	Forskningsinstitusjon	2004	Ja	2		x		1	3	3	Safecote og Steinsalt (Safecote og MgCl2) (Safecote og CaCl2)	
Buscemi, C. D., K. A. Hoehnke, et al. (1992). "Recent Research on Alternative Deicers at Chevron." Transportation Research Record(1347): 75-83.	Lab-forsøk	Konferanse "paper"	Produsent/leverandør	1991	Ja	3			x	1	3	1	Flere kjemikalier	
Chappelow, C. C. (1993). Evaluation procedures for deicing chemicals and improved sodium chloride. Washington, D.C., Strategic Highway Research Program, National Research Council.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitutt	1993	Ja	3	x			1	3	2	Del 1: smeltehastighet NaCl, CaCl2 Del 2: NaCl som fast stoff/løsning	
Chappelow, C. C., A. D. McElroy, et al. (1992). Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers. Washington, D.C., Strategic Highway Research Program, National Research Council.	"State of Practice"	Lærebok	Forskningsinstitutt	1992	Nei	2				1	3	1		
Cholliar, B. H. (1984). "Federal Highway Administration Research on Calcium Magnesium Acetate - An Alternative Deicer." Public Roads 47(4): 113-118.	Driftforsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Vegforvalter	1984	Ja	2		x		1	2	2	CMA NaCl	
Cholliar, B. H. (1988). "Field evaluation of calcium magnesium acetate during the winter of 1986-87." Public roads 52(1): 13-18.	Driftforsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Vegforvalter	1988	Ja	2		x		1	2	2	NaCl CMA	
Clines, K. (2003). "BID LIST : Materials for Deicing and Anti-icing." Better roads 73: 52-65.	Produktoversikt	Artikkel i fagtidsskrift	Journalist	2003	Nei	1				2	1	2		<b>ClearLane</b> , Cargill Deicing Technology, MgCl2 og melasse fra sukkerør <b>TC Econo Brine</b> , Tiger Calcium Services Inc., løsning av NaCl(20%) og CaCl2(4%) <b>CorGuard TG</b> , Tiger Calcium Services Inc., CaCl2(29%) og MgCl2(1%) <b>Enviro Brine</b> , Reed Systems Ltd, lav-fosforholdig organisk ismeltestoff <b>De-ice</b> , Road Solutions Inc., løsning med 55% organisk løststoff med frysepkt -4gr, helt uten klorider <b>De-ice M</b> , Road Solutions Inc., løsn. av 50/50 vol-% blanding av 30%MgCl2 og sukkerbeter. Samlet 42 % tørrstoff, frysepkt -41gr <b>De-ice S</b> , Road Solutions Inc., løsn. av 50/50 vol-% blanding av 23%NaCl og sukkerbeter. Samlet 39 % tørrstoff, frysepkt -34gr <b>Geomelt</b> , Horizon Products (bestanddelene ikke oppgitt)
Comfort, G. (1994). Laboratory tests of the performance of highway de-icing chemicals and winter sand on compacted snow and ice. Ontario, Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitutt	1994	Ja	3		x		1	2	1		NaCl betuktet med CaCl2-løsning
COST (2008). New developments for winter service on European roads : final report. COST Action 353. Winter service strategies for increased European road safety. [Brussels], COST Office.	Annet	Fou-rapport	Annet	2008	Nei	1				1	2	2	NaF	ABP Sukker

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgift	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsøk (Ja-Nei))	Er undersøkelsen datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans ift litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materiells fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
Dahl, Gjermund (2009). Masteroppgave - Uprøving av alternative kjemikalier for vinterdrift av vegger. Trondheim, NTNU.	Lab- og feltforsøk	Fou-rapport	Universitet/høgskole: Masteroppgave	2009	Ja	3	x			1	3	3	Kjemikalier i undersøkelsen	70/30 NaCl/sukker	
DeVries, R. M. (2006). "Chloride cocktail - department in Illinois finds good results mixing their own deicer/anti-icers." Roads & bridges 44(8): 50.	Driftforsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Vinterdriftsentreprenør	2006	Ja	2		x		3	2	1		85%NaCl-løsning 10% De-ice 55 (Geo-melt) 5% CaCl2	
Dunn, S. A. and R. U. Shcenk (1980). "Alternatives to Sodium Chloride for Highway Deicing." Transportation Research Record(776): 12-15.	Teoretisk utredning og udokumenterte praktiske forsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Forskningsinstitusjon	1980	Nei	3	x			1	3	3	Melanol CMA		
Ernst, D.D., G. Demich, T. Wieman (1985). CMA Research Project. Washington DOT.	Driftsoppfølging	Fou-rapport	Vegforvatter	1985	Ja	3		x		1	3	2	NaCl CMA Urea		
Fay, L., K. Volkering, et. al. (2008). Performance and Impacts of Current Deicing and Anti-icing Products: User Perspective versus Experimental Data. Montana State University.	Lab- og spørreundersøkelse	Konferanse "paper"	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2008	Ja	2	x			1	2	2	NaCl (t+s) MgCl2 CaCl2 CMA KAc NaAc KF	ABP (ice-B-Gon, ++) Clearlane (NaCl,MgCl2) IceSlicer (NaCl, KCl, MgCl2)	
Fay, L., X. Shi, et. al. (2009). Laboratory Evaluation of Alternative Deicers: The Path to Decision-Making Based on Science and Agency Priorities. Montana State University.	Lab-forsøk	Konferanse "paper"	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2009	Ja	3	x			1	3	3	NaCl (s) MgCl2 KAc NaAc NaF CMA NaAc/NaF	ABP	
Fleege, E. (1990). "Minnesota DOT Tests Deicing Alternatives." Public works 121(8): 58-59.	Driftsoppfølging	Artikkel i fagtidsskrift	Vegforvatter	1990	Ja	1			x	1	1	1			
Fritzsche, C. J. (1991). "CMA has unique role in deicing strategy." Roads & bridges 29(6): 43.	Driftforsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Produsent/leverandør	1991	Nei	1			x	1	1	2	CMA (ice-B-Gon)		
Fu, L., Sooklall, et. al. (2006). "Effectiveness of alternative chemicals for snow removal on highways." Transportation Research Record.(1948): 125-134.	Driftforsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2006	Ja	2		x		2	3	2	NaCl (s) NaCl befulktet med NaCl (l)	CaCl2 som befulkning av NaCl MgCl2 som befulkning av NaCl	
Genjyal, G., Q. Fang, et al. (2007). "Freezing points and small-scale deicing tests for salts of levulinic acid made from grain sorghum." Bioresource technology 98(15): 2814-2818.	Lab-forsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2007	Ja	3	x			1	3	3	Na-levulinat Ca-levulinat Mg-levulinat		
Gartiser, S., R. Reuther and C.O. Gensch (2003). Feasibility study for the formulation of requirements for a new eco-label for de-icing agents for roads and ways following DIN EN ISO 14024.	Annet	Fou-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2003	Ja	2	x			1	3	1	NaCl NaF Urea + mange flere		
Goetzfried, F. and H. Badelt (2002). The effectiveness of different de-icing salts. Xlth PIARC International Winter Road Congress = XIeme Congres International de la Viabilite Hivernale de l' AIPCR, Sapporo, Japan, PIARC.	Lab-forsøk	Konferanse "paper"	Produsent/leverandør	2002	Ja	3			x	2	3	2	NaCl i ulike korngrederinger CaCl2 Løsninger på NaCl, CaCl2 og MgCl2.		
Gustafson, K. (1994). Test and evaluation of salt/CMA mixtures (VTI särtryck, 225). Linköping, Sweden, Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Feltforsøk	Konferanse "paper"	Forskningsinstitusjon	1994	Ja	2			x	1	3	3	CMA NaF KAc (Clearway-1)	80/20 NaCl/CMA	
Gustafson, K. (1995). Proov med CMA/saltblandning (VTI särtryck 240). [Linköping]. Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Feltforsøk	Konferanse "paper"	Forskningsinstitusjon	1995	Ja	2			x	1	3	3	CMA NaF KAc (Clearway-1)	80/20 NaCl/CMA	
Gustafson, K. and A. Ihs (1997). Test and Evaluation of Calcium Magnesium Acetate - Sodium Chloride Mixture in Sweden. Snow removal and ice control. Fourth International Symposium, Reno, Nevada.	Lab-forsøk og driftsoppfølging	Konferanse "paper"	Forskningsinstitusjon	1997	Ja	2			x	1	3	3		80/20 NaCl/CMA	



Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgitt	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsøk (Ja-Nei))	Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans til litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materiælets fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
Gustafsson, A. and G. Gabrielsson (2006). Vinterdrift. Sockerprodukter i kombinasjon med NaCl. Botånge, Vägverket Produktion.	Feltforsøk og driftsforsøk	Four-rapport	Vinterdriftsentreprener	2006	Ja	3						1	3		0/100 NaCl/Beta 50/50 NaCl/Beta 75/25 NaCl/Beta Driftsforsøk med løsning av 75/25 NaCl/sukker ++
Hellberg, S., A. Gustafsson, et al. (2007). Anti-Skid Treatment Tests with Glucose, Fructose and Unrefined Sugar. Transportation Research Board 86th Annual Meeting. Washington, D.C., Transportation Research Board.	Felt- og driftsforsøk	Konferanse'paper"	Vinterdriftsentreprener	2007	Ja	2		x	x			1	2	1	sukker, 2 typer invert og beta , blanding av 75% kons NaCl-løsning og 25% sukkerløsning med konsentrasjon fra 25-73%.
Hagan, P. (2006). "Freezing Point Determinations of Safecote Brine Mixtures."	Lab-forsøk	Four-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2006	Ja	3	x					2	3	3	Safecote
Hagan, P. (). Freezing point determinations of Safecote brine mixtures.	Lab-forsøk	Four-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2006	Ja	1	x					1	3	3	Safecote blandet med 23%NaCl-løsning Safecote blandet med 20%MgCl2-løsning Safecote blandet med 20%CaCl2-løsning
Hamilton, G. B., W. M. Mimer, et al. (1989). "1987-1988 City of Ottawa, Ontario, Canada Deicer Field Trials." Transportation Research Record (1246): 27-38.	Driftsforsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Konsulent/rådgiver	1989	Ja	3		x				1	3	3	NaCl NaF CMA
Harris, G. P., R. Turner, et al. (1993). "Field Test Comparison of Calcium Magnesium Acetate to Salt." Journal of Transportation Engineering 119(6): 889-904.	Driftsforsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Konsulent/rådgiver	1993	Ja	3		x				1	2	2	CMA NaCl
Hernes, J. (2005). Masteroppgave - Magnesiumkloridløsninger som friksjonsforbedrende tilfukt-laboratorieforsøk og oppfølging av feltarbeid. NTNU, Trondheim.	Lab- og feltforsøk	Four-rapport	Universitet/høgskole (student)	2005	Ja	3		x				1	2	3	NaCl befuktet med MgCl2-løsning (20% i feltforsøket) NaCl befuktet med NaCl-løsning (23%)
HITEC - The Highway Innovative Technology Evaluation Center (1999). CERF.	Annet	Four-rapport	Komitearbeid	1999	Nei	2		x				1	3	1	IceBan sammen med MgCl2.
Ihs, A. (1998). Test and evaluation of alternative deicing methods and materials in Sweden (VTI särtryk, 287). [Linköping]. Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Driftsforsøk	Konferanse'paper"	Forskningsinstitusjon	1998	Ja	2		x				1	2	2	CMA KAc CaCl2 Vergilimit Grikol MgCl2
Ihs, A. and K. Gustafson (1996). Kalciummagnesiumacetat (CMA) - ett alternativt halkbekämpningsmedel : litteraturstudie (VTI meddelande, 789). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Litteraturstudie	Four-rapport	Forskningsinstitutt	1996	Nei	2		x				2	3	3	CMA
Ihs, A., K. Gustafson, et al. (1996). Utvärdering av CMA/NaCl-blanding : effekt på väglagfriktions, småförmåga, korrosion och betongpåverkan (VTI meddelande, 788). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Driftsforsøk	Four-rapport	Forskningsinstitutt	1996	Ja	3		x				1	3	3	CMA/NaCl 20/80
Ihs, A. and S. Möller (2000). Halkbekämpning vid låga temperaturer (VTI notat, 72). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Litteraturstudie	Four-rapport	Forskningsinstitusjon	2000	Nei	1		x				1	3	1	NaCl CaCl2 CMA Urea NaF KAc
Iverson, D. L., J. W. McGraw, et al. (1997). "Mixing Ratio of CaCl2 and NaCl for Effective Deicer." Journal of Materials in Civil Engineering 9(2): 62-64.	Lab-forsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Vegforvalter	1997	Ja	3						1	3	2	CaCl2
Jiríček, I., J. Macák, et al. (2008). Advanced Low-impact Solution for Deicing. 15th International Conference on the Properties of Water and Steam (15th ICPWS), Berlin.	Feltforsøk	Konferanse'paper"	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2008	Ja	1		x				1	2	2	NaF Andre formiater Acetater

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgift	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsk (Ja-Nei)	Er undersøkelsen datagrunnlagt/ resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans ift litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materialers fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
Johnson, K. L. (1994). Alternative deicers: recent developments in acetate-based deicing compounds. IXth PIARC International Winter Road Congress = IXeme Congres International de la Viabilite Hivernale de l'AlPCR, Seefeld, Austria, PIARC.	"State of Practice"	Konferanse "paper"	Produsent/leverandør	1994	Nei	1					1	1	1	CMA CMA-løsning Befuktet CMA KAc NaAc Ingen dokumentasjon	CMA/NaCl
Johnston, D. P. and D. L. Huff (1993). "Sodium Salts of Carboxylic Acids as Alternative Deicers." Transportation Research Record(1387): 67-70.	Lab-forsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Vegforvalter	1993	Ja	3	x				1	3	3	NaCl CaCl2 SDD (Na-carboxylate) NaAc NaF NaAc-NaF bl.	
Järvinen, H.L. (1995). Technical Characteristics and Environmental Impacts of Deicing Chemicals. Tampere University of Technology.	Literaturstudie	Fou-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	1995	Nei	2	x				1	2	3	NaCl CaCl2 MgCl2 CMA NaAc KAc NaF CaF Urea	
Kahl, S. (2002). Agricultural by-products for anti-icing and deicing use in Michigan. Lansing, Michigan Department of Transportation.	Lab- og driftsoppløsing	Fou-rapport	Vegforvalter	2002	Ja	3					1	2	2		Ice Beeter (1:1 mix med MgCl2-løsn) Caliber M-1000 (1:9 med MgCl2 løsn) Ice Ban M-80 (1:4 med MgCl2 løsn) First Down (mono- og di karboksylsyre salter + aldoser 1:1 med vann) Ice Ban CM-80 (1:4 med CaCl2 løsn) Ice Ban CM-93 (7:93 med CaCl2 løsn)
Kahl, S. (2004). Agricultural by-products for anti-icing and deicing use in Michigan. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington.	Lab- og driftsoppløsing	Konferanse "paper"	Vegforvalter	2004	Ja	1	x				1	2	2		Ice Beeter (1:1 mix med MgCl2-løsn) Caliber M-1000 (1:9 med MgCl2 løsn) Ice Ban M-80 (1:4 med MgCl2 løsn) First Down (mono- og di karboksylsyre salter + aldoser 1:1 med vann) Ice Ban CM-80 (1:4 med CaCl2 løsn) Ice Ban CM-93 (7:93 med CaCl2 løsn)
Kaiser, K. (2002). "The future of solid deicers." Roads & bridges 72(4): 56-57.	"Selger"-artikkel	Artikkel i fagtidsskrift	Produsent/leverandør	2009	Nei	1					2	1	3		Ice-Slicer Mineral Meit
Karlsson, J.-Å. (1988). Preventiv salting. "Årvidabergforsøket" (BD-rapport, 88202-46). Borlänge, Vägverket.	Driftsoppløsing	Fou-rapport	Vinterdriftsentreprenør	1988	Ja	2		x			2	2	1	NaCl	
Karlsson, J.-Å. (1989). Enkel befuktning med vatten " Årvidabergsmetoden " : redovising av vintern 1988-89 års erfaringer och provverksamhet (BD-rapport, 89201-46). Borlänge, Vägverket.	Driftsoppløsing	Fou-rapport	Vinterdriftsentreprenør	1989	Ja	3		x			2	2	1	NaCl	
Karlsson, J.-Å., J. Ölander, et al. (1989). Halkbekämpfung med saltløsning (BD-rapport, 88302-46). Borlänge, Vägverket.	Driftsoppløsing	Fou-rapport	Vinterdriftsentreprenør	1990	Ja	3	x				2	2	1	NaCl	
Keitcham, S.A., Minsk et.al. 1996. Manual of practice for an Effective Anti-icing Program. A Guide for Highway Winter Maintenance Personnel. New Hampshire: US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory.	"State of Practice"	Lærebok <a href="http://www.fhwa.dot.gov/reports/mopeap/mop0296a.htm">http://www.fhwa.dot.gov/reports/mopeap/mop0296a.htm</a>	Forskningsinstitusjon	1996	Nei	2	x				3	2	2	NaCl CaCl2 MgCl2 CMA KAc	
Klein-Paste, A. (2008). SaltSMART : reduksjon av saltforbruk ved bruk av tilsetningsstoffer - feltforsk vinter 2007/08 (Teknologirapport 2523). Oslo, Vegdirektoratet. Teknologidivdelingen.	Feltforsk	Fou-rapport	Vegforvalter	2008	Ja	2			(x)		1	2	2		50/50 Safecole/NaCl
Knudsen, F., Lidström .. (2009). Vinterfjernes i de Nordiske land. Statusrapport 2009 (NVF).	"State of Practice"	Fou-rapport	Konsulent/rådgiver	2009	Nei	1					1	1	1	NaCl	

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgitt	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsk) (Ja/Nei)	Er undersøkelsens datagrunnlag/ resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende litteratur-studiet	Relevans til litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materiells fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)				
Larsen, T., J. M. Johansen, et al. (1996). Utprøving av saltyper for bruk i vintervedlikeholdet. [Oslo]. Nordisk vegteknisk forbund.	Lab- og driftsforsøk	Presentasjonsform Fou-rapport	Konsulent/rådgiver	1996	Ja	2	x	x	x	2	2	1	NaCl	
Leggett, T. S. and G. D. Sdoutz (2001). "Liquid Anti-icing Chemicals on Asphalt: Friction Trends." Transportation Research Record(1741): 104-113.	Lab-forsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Konsulent/rådgiver	2001	Ja	3		x		1	3	1	CMA CaCl2 + andre komm. produkter	CMA 25 (Levelton Engineering) CF7 (Cryotech De-Icing Technology) CMAK (Cryotech Industries) Corguard 2000 (General Chemical) = CaCl2 30-32% og 7-8% korrosjonsinhibitor CaCl2-32% (General Chemical) Freezegard 0 Freezegard 0 Plus TEA Freezegard 0 Plus IceBan Freezegard 0 with Shield LS 1.5 Percent Ice Stop 2000 (Reilly Industries) = 30% MgCl2 med 2.2% korrosjonsinhibitor. IceBan M-50 = 50/50 MgCl2/IceBan IceBan C-50 = 50/50 CaCl2/IceBan Liquidow Liquidow Armor (Dow Chemical) Cal Ban (America West Environmental Supplies) = CaCl2 og IceBan MCP
Lewis, G. (2007). "ABP treated de-icing road salt." Highways Agency (2007). Use of ABP treated de-icing road salt. Highways Agency, UK.	Litteraturstudie	Fou-rapport	Konsulent/rådgiver	2007	Nei	2		x		1	3	3		Safecote Ecothaw (= ABP)
Lewis, W. M. (2001). Evaluation and comparison of three chemical deicers for use in Colorado. Denver, Colorado, Colorado Department of Transportation.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Vegforvalter	2001	Ja	3			x	1	2	1	Caliber	
Luker, C., B. Rokosh, et al. (2004). Laboratory melting performance comparison : rock salt with and without prewetting. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington, Transportation Research Board.	Lab-forsøk	Konferanse"paper"	Konsulent/rådgiver	2004	Ja	3		x		1	3	3	Steinsalt Liquid Corn Salt Caliber M2000 LSW Mineral Melt Elite	Befuktningstøffinger til steinsalt bestående av : - destillert vann - 32% CaCl2 - Ice Ban Performance Plus M - Ice Ban Ultra M
Manning, D. G. and L. W. Crowder (1989). "Comparative Field Study of the Operational Characteristics of Calcium Magnesium Acetate." Transportation Research Record (1246): 18-26.	Driftsoppfølging	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Vegforvalter	1989	Ja	3		x		2	3	3	NaCl CMA	
Manning, D. G. and M. S. Perchanok (1993). "Trials of Calcium Magnesium Acetate Deicer on Highways in Ontario." Transportation Research Record(1387): 71-78.	Driftsoppfølging	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Vegforvalter	1993	Ja	2			x	2	3	3	NaCl CMA	
Marakuni, M. (1997). (Murakuni ??) A new evaluation of the effectiveness of salt for road anti-icing. Third International Conference of Snow Engineering: Recent Advances. Sendai, Japan, Balkema: 435-.	Lab-forsøk	Konferanse"paper"	Vegforvalter	1997	Ja	3			x	1	3	2	NaCl	
McElroy, A. D. (1988). "Study on wetting salt and sand stockpiles with liquid calcium chloride." Transportation Research Record(1157): 38-43.	Lab-forsøk	Konferanse"paper"	Forskningsinstitusjon	1988	Ja	3				1	3	2		NaCl befuktet på lager med CaCl2
McElroy, A. D., R. R. Blackbum, et al. (1988). "Comparative Study of Chemical Deicers." Transportation Research Record (1157): 1-11.	Lab-forsøk	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Forskningsinstitutt	1988	Ja	2			x	1	3	2	CaCl2 NaCl KCl Urea	NaCl med carboxymethylcellulose Mixture of NaCl with KCl og 1% Urea Mixture of NaCl and urea.

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgitt	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsk (Ja-Nei)	Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans til litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materialers fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
McElroy, A. D., R. R. Blackburn, et al. (1988). "Comparative Evaluation of Calcium Magnesium Acetate and Rock Salt." Transportation Research Record (1157): 12-19.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitusjon	1988	Ja	3	x			1	3	3	Stensalt CMA - fra RAD Services CMA - fra Chevron (Ice-B-Gon) - CMA fra Chevron blandet med sand		
McElroy, A. D., R. R. Blackburn, et al. (1990). "Comparative Study of Undercutting and Disbondment Characteristics of Chemical Deicers." Transportation Research Record (1268): 173-180.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitusjon	1990	Ja	3	x			1	2	2	CaCl <sub>2</sub> - pellets CaCl <sub>2</sub> - flak NaCl (to typer/produkter) KCl Urea - pellets CMA	NaCl med carboxymethylcellulose Mixture of NaCl with KCl og Urea Mixture of NaCl and urea.	
McElroy, A. D., G. Cooper, et al. (1998). Melt volume and ice penetration study of magnesium chloride and calcium chloride deicers. Xth PIARC International Winter Road Congress = Xeme Congres International de la Viabilité Hivernale de l'AlPCR, Luleå, Sweden.	Lab-forsøk	Konferanse"paper"	Forskningsinstitutt	1998	Ja	3	x			1	3	3	CaCl <sub>2</sub> - pellets CaCl <sub>2</sub> - flak MgCl <sub>2</sub> -hexahydrate pellets MgCl <sub>2</sub> -hexahydrate flak MgCl <sub>2</sub> -dihydrate pellets		
Meyer, F. and H. Nygaard (2001). Statusrapport alternative tømiddel fase 1: egenskaper, data og prøvningsmetoder. Glostrup, Carl Bro.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Konsulent/rådgiver	2001	Ja	3	x			1	3	3	NaCl CMA KAc NaAc NIMA KFO NaFo		
Meyer, F. (2001). Alternative tømidler. Dansk Veitidsskrift 10, 2001.	Lab-forsøk	Artikkel i fagtidsskrift	Konsulent/rådgiver	2001	Nei	1	x			1	2	3	NaCl CMA KAc NaAc NIMA KFO NaFo		
Minsk, L. D. (1998). Snow and ice control manual for transportation facilities. New York, McGraw-Hill.	"State of Practice"	Lærebok	Forskningsinstitusjon	1998	Nei	2	x			3	2	2	CaCl <sub>2</sub> NaCl MgCl <sub>2</sub> CMA Urea Etylenglykol Propylenglykol KAc NaAc NaF		
Minsk, L. D. and S. A. Ketcham (1996). Anti-Icing Field Evaluation. Snow Removal and Ice Control Technology, Fourth International Symposium, Reno, Nevada.	Driftforsøk	Konferanse"paper"	Forskningsinstitusjon	1996	Ja	3	x			2	3	1	vanlig og "fine" NaCl CaCl <sub>2</sub> MgCl <sub>2</sub> i løsning		
Mishra, S. K. (2001). "A mixture for snow and ice: finding the right chemical solution is the challenge for proper winter road maintenance." Roads & bridges 39(12): 18-21.	Arnett	Artikkel i fagtidsskrift	Produsent/leverandør	2001	Nei	1	x			2	1	1	TETRA94 _ CaCl <sub>2</sub> - anhydrat (vannfri) TETRA80_ CaCl <sub>2</sub> dihydrat, flak og pellets, CMA		

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgitt	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsøk (Ja-Nei))	Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans til litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materiells fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
Mori, N., S. Meiarashi et. al. (2002). Xlth PIARC International Winter Road Congress = XIeme Congres International de la Viabilite Hivernale de l'AlPCR, Sapporo, Japan, PIARC.	Lab- og driftsforsøk	Presentasjonsform Konferanse "paper"	Utførende av undersøkelsen Forskningsinstitutt	2002	Ja	2	x	x	x	1	3	3	Kjemikalier i undersøkelsen Driftsforsøk: NaCl Lab: NaCl (fast) CaCl2 (fast) NaAc (fast) KAc (50% løsn) CMA (fast) CMKAc (fast) Urea NaF	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen Driftsforsøk: CMA40 (41:59 NaCl:CMA) Lab: CMA+NaCl (fast) Urea+NaCl (fast) Urea + NaAc	
Möller, S. (2007). Nye teknikker och metoder inom vinterväghållning : en litteraturgenomgång (VTI rapport, 569). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Litteraturstudie	Fou-rapport	Forskningsinstitusjon	2007	Nei	2	x	x		1	3	3		sukker	
O'Keefe, K. and X. Shi (2006). Anti-icing and Pre-wetting: Improved Methods for Winter Highway Maintenance in North America. Transportation Research Board 85th Annual Meeting, Washington, D.C., TRB.	Spørreundersøkelse	Konferanse "paper"	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2006	Ja	2				1	1	1	NaCl		
OECD (1989). Curtailing usage of de-icing agents in winter maintenance : report. Paris, OECD Publishing	Annet	Fou-rapport	Ekspertpanel	1989	Nei	2	x	x	x	2	3	2	NaCl CaCl2 MgCl2- mer hygrosk. enn CaCl2 Nitrat - nei! Fosfater - nei! CMA-ija-ikke noe effektivt alternativ alkoholer- nei glykoler- nei urea- nei		
Palmer, D. A. (1987). "Formates as alternative deicers." Transportation Research Record(1127): 34-36.	Litteraturstudie	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Produsent/leverandør	1987	Nei	2				1	2	3	NaF CMA		
Perchanok, M. S., D. G. Manning, et al. (1991). Highway de-icers : standards, practice, and research in the province of Ontario. Ontario, Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation.	"State of Practice"	Fou-rapport	Vegførvalter	1991	Nei	2	x	x	x	2	3	3	NaCl CaCl2 MgCl CMA Formater Urea Verglimit. (CaCl2-pellelets blandet inn i asfalten – på bruer)	Tilsetn. stoffer til NaCl: CaCl2 MgCl CMA	
Persson, K. and A. Jhs (1998). Kalkiumklorid i vinterväghållningen : Litteraturstudie (VTI meddelande, 829). Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Litteraturstudie	Fou-rapport	Forskningsinstitusjon	1998	Nei	3			x	1	3	2	CaCl2 NaCl		
Rekstad, H. and V. Hardarsson (2005). Bestemmelse av frysepunkt til natrium-/magnesiumklorid løsninger. Sintef Energiforskning AS, Trondheim.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitutt	2005	Ja	3				1	3	3		MgCl2	
Rubin, J., P.E. Gärder et al. (2010). Maine Winter Roads: Salt, Safety, Environment and Cost. University of Maine.	"State of Practice"	Fou-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2010	Nei	3			x	1	3	1	NaCl MgCl2 CaCl2 NaCl NaCl - løsning	Ice-B-Gone (= ABP med ca 18% klorider)	
Ruud, O. W. (1992). Vintervegvedlikehold. Oslo, Vegdirektoratet.	Kompendium til NTH, fag Bygging og drift av vegger	Lærebok	Vegførvalter	1992	Nei	2	x	x		1	1	1			

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgift	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsk (Ja-Nei)	Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans til litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materiælets fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
Shi, X., L. Fay (2009). Evaluation of alternative Anti-icing and Deicing Compounds using Sodium Chloride and Magnesium Chloride as Baseline Deicers - Phase I. Montana State University.	Lab-forsøk og spørreundersøkelse	Fou-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2009	Ja	3	x	x	x	1	3	3	NaCl MgCl2 CMA CaCl2		
Sinke, G. C. and E. H. Mossner (1976). "Laboratory Comparison of calcium Chloride and Rock Salt as Ice Removal Agents." Transportation Research Record (598): 54-57.	Lab-forsøk av "undercutting"	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Kjemisk laboratorium	1976	Ja	3	x			1	3	2	NaCl - Steinsalt CaCl2		
Smith Jr, R. L. (1989). "Field deicing comparison of calcium magnesium acetate and salt during 1987-1988 in Wisconsin." Transportation Research Record(1246): 39-48.	Driftsoppfølging	Artikkel i vitenskapelig tidsskrift	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	1989	Ja	3		x		1	2	2	CMA NaCl	(CMA i sand)	
Takeishi, T., K. Kobayashi, et al. (2004). Development and evaluation of nonchloride antifreeze admixture. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington.	Lab- og driftsforsøk	Konferanse"paper"	Vegforvalter (forskningsavd)	2004	Ja	3	x	x		1	3	3	NaCl CaCl2 NaAc KAc CMA CMKA Urea+NaAc Urea NaF	CMA+NaCl Urea+NaCl	
Thompson, G. E. (2004). Anti-icing and material distribution performance measures for achieving level of service through mobile data collection. Sixth International Symposium on Snow and Ice Control Technologies (Transportation Research Circular, Number E-C063), Spokane, Washington.	Annet	Konferanse"paper"	Konsulent/rådgiver	2004	Ja	2				2	1	1			
TRB (1991). Highway deicing : comparing salt and calcium magnesium acetate (Special Report, 235). Washington, D.C., Transportation Research Board.	Driftsoppfølging	Fou-rapport	TRB komité	1991	Nei	1		x		1	2	2	NaCl CMA		
TRB (2007). Guidelines for the selection of snow and ice control materials to mitigate environmental impacts (NCHRP Report 577). Washington, D.C., Transportation Research Board.	"State of Practice"	Fou-rapport	TRB komité	2007	Nei	2			x	1	2	1			
TRB (2008). Impact of Airport Pavement Deicing Products on Aircraft and Airfield Infrastructure. (ACRP Synthesis 6). Washington D.C., Transportation Research Board.	Litteraturstudie	Fou-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2008	Nei	2			x	1	3	2	Urea KAc NaAc (Sand) NaF EthyleneGlykol PropyleneGlykol Betaine		
Vegdirektoratet (1991). Bruk av saltløsning på veg: resultater vintersesongen 1990/91. Oslo, Vegdirektoratet.	"State of Practice"	Fou-rapport	Vegforvalter	1990	Ja	3		x		3	2	1	NaCl		
Vegdirektoratet (1995). CMA : Kalsium-magnesium-acetat. Utprøving av alternativ til salt i vintervedlikeholdet. Oslo, Vegdirektoratet. Vedlikeholdskontoret.	Lab-forsøk og driftsoppfølging	Fou-rapport	Vegforvalter	1995	Ja	3	x	x		2	3	3	NaCl CMA	CMA/NaCl 20 /80 Befuktet CMA (med KAc-løsn.) Befuktet CMA/NaCl (med NaCl-løsn.)	
Vägverket (2005?). Socker - salt. [Borlänge], Vägverket. Produktion.	PPT-Presentation	Fou-rapport	Vinterdriftsentreprenør	2006	Ja	1		x	(x)	1	1	1		Sukker/NaCl	

Referanse	Metode	Presentasjonsform	Utførende av undersøkelsen	Ar utgitt	Referansen er basert på originalt arbeid? (egne lab/feltforsøk (Ja-Nei))	Er undersøkelsens datagrunnlag/resultater dokumentert?	Undersøkelsens fokus/hovedinnretning(er) (flere avkryssninger er mulig)				Nyttig for utførende	Nyttig for forsknings-miljøet	Relevans til litteratur-studiet	Kjemikalier i undersøkelsen	Tilsetningsstoffer i undersøkelsen
							Materiælets fysiske/kjemiske egenskaper	Teknikker for utførelse (utlegging/spredning)	Kjemikaliers effekter på veggen ved bruk i vinterdriften	Kjemikaliers negative sekundæreffekter (korrosjon, miljø, mm.)					
Vaa, T. and K. Sakshaug (2007). Salling av veger : en kunnskapsoversikt (Teknologirapport 2493). Oslo, Vegdirektoratet. Teknologidivdelingen.	Litteraturstudie	Fou-rapport	Forskningsinstitusjon	2007	Nei	2	x	x	x	2	2	3	NaCl MgCl2 CaCl2 Kac NaMgAc CMA NaF KF Urea	MgCl2 og mais-sirup	
Vaa, T. and S. Meland (2002). Vinterfriksjonsprosjektet - forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo sesongen 2001/2002 (Intern rapport 2299). Oslo, Vegdirektoratet.	Litteraturstudie og driftsforsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitutt	2002	Ja	3	x	x	x	2	3	3	NaCl CaCl2 MgCl2 CMA NaF CaF CaAc KF (Aviform) Urea	Befuktning av NaCl med MgCl2-løsning Befuktning av NaCl med NaCl-løsning	
Vaa, T. and S. Meland (2005). Forsøk med befuktning med magnesiumkloridløsning i Oslo. Sesongen 2001/2002 - 2004/2005 (Rapport 2414). Statens vegvesen, Teknologidivdelingen.	Lab- og driftsoppløsing	Fou-rapport	Forskningsinstitutt	2005	Ja	3	x	x	x	2	3	3	MgCl2 CaCl2	Befuktning av NaCl med MgCl2-løsning Befuktning av NaCl med NaCl-løsning	
Wang, B., J. Li, W. Liu (2009). A new type Environmental Protection Deicing Agent. International Conference on Transportation Engineering 2009 (ICTE 2009).	Lab- og feltforsøk	Konferanse "paper"	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2009	Ja	2	x	x	x	1	1	1	Ukjent sammensetning		
Vegdirektoratet. Vejdriфт. Tømidler, sand og grus til glatførebekjømpelse.2006.	"State of Practice"	Lærebok	Vegforvatter	2006	Nei	1	x	x	x	3	2	3	NaCl CaCl2 MgCl2 Urea CMA Sand og grus		
Wigander, S. (1989). Alternativa material for mekanisk halkbekjømping. Boriänge, Vägverket.	Driftsforsøk	Fou-rapport	Vinterdriftsentreprenør	1989	Ja	2	x	x	x	2	2	1			
Wilson, M. I., M. Burtwell, et al. (2003). Assessment of Safecote de-icer product. Phase 2. Wokingham, Berks., TRL.	Lab- og feltforsøk	Fou-rapport	Forskningsinstitutt	2003	Ja	3	x	x	x	2	3	3		Safecote S1 - for befuktning eller blanding med NaCl, 33.3 l/1000 kg NaCl Safecote S2 - for befuktning eller blanding med NaCl, 22.2 l/1000 kg NaCl Safecote C32 - 50/50 blanding(vol) av CaCl2-løsning(32%) og Safecote Safecote M30 - 50/50 blanding(vol) av MgCl2-løsning(30%) og Safecote Safecote (undiluted)	
(2006). Effect of Safecote on Laboratory Measurement of Skid Resistance.	Lab-forsøk	Fou-rapport	Universitet/høgskole (vitenskapelig personell)	2006	Ja	3			x	1	3	3		Safecote som tilsetning til NaCl	
Øberg, G., K. Gustafson, et al. (1991). Effektivare halkbekjømping med mindre salt : MINSALT-projektets hovedrapport. Linköping, Statens väg- och transportforskningsinstitut.	Labforsøk Feltforsøk Driftsforsøk Litteraturstudie	Fou-rapport	Forskningsinstitusjon	1991	Ja	3	x	x	x	1	3	3	CaCl2 Urea NaF KAc (Clearway-1) CMA		



**Statens vegvesen**

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Postboks 8142 Dep  
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN 1504-5005