



Miljøministeriet  
Naturstyrelsen

# Risiko for forurening af grundvandet ved forskellige typer glatførebekæmpelse

Miljøministeriet, 2013

**Titel:**

Risiko for forurening af grundvandet ved forskellige typer glatførebekæmpelse

**Redaktion:**

Heidi Birch, ALECTIA  
Frank Andreasen, ALECTIA  
Søren Munch Kristiansen, Århus Universitet, Institut for Geoscience

**Udgiver:**

Naturstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø  
www.nst.dk

**Foto:****Illustration:****År:**

2013

**Kort:****ISBN nr.:**

978-87-7279-624-6

**Ansvarsfraskrivelse:**

Naturstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Naturstyrelsen undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Naturstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Naturstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>Forord</b> .....	<b>3</b>
<b>Konklusion og sammenfatning</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Indledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Relevante tømidler</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Driftstekniske metoder</b> .....	<b>9</b>
<b>4. Mobilitet og spredningsveje</b> .....	<b>11</b>
1.1 Forbrug og koncentrationer .....	11
<b>5. Toksicitet og effekt på miljøet</b> .....	<b>13</b>
1.2 Beplantning.....	13
1.3 Overfladevand.....	13
<b>6. Tømidlers forurening af grundvandet</b> .....	<b>16</b>
1.4 Vejsalt.....	16
1.5 Organiske tømidler .....	16
<b>7. Risikohåndtering ved glatførebekæmpelse i andre lande</b> .....	<b>18</b>
<b>8. Risikovurdering</b> .....	<b>20</b>
1.6 Påvirkning lokalt.....	20
1.6.1 Påvirkning lokalt ved brug af vejsalt .....	20
1.6.2 Påvirkning lokalt ved brug af organiske tømidler .....	24
1.7 Påvirkning af grundvandsmagasiner .....	24
1.8 Anbefaling til håndtering af byudviklingsområder .....	25
<b>9. Anbefaling til undersøgelser og teknologiudvikling</b> .....	<b>27</b>
<b>10. Konklusion</b> .....	<b>29</b>
<b>11. Referencer</b> .....	<b>30</b>
<b>12. Projektorganisation</b> .....	<b>33</b>

# Forord

Dette projekt er ét ud af i alt fem afgrænsede projekter, der samlet skal belyse kemiske og kvantitative påvirkninger af grundvandet ved byudvikling, i og uden for områder med særlige drikkevandsinteresser, og indvindingsoplande til almene vandindvindingsanlæg uden for disse (herefter benævnt hhv. OSD og indvindingsoplande). Projekterne fokuserer på hhv. glatførebekæmpelse, grundvandsdannelse, pesticider, forurening fra tagvand og befæstede arealer.

Hovedformålet med nærværende projekt er at vurdere risikoen for forurening af grundvandet i forbindelse med glatførebekæmpelse. Rapporten er baseret på et litteraturstudie, og indeholder, foruden et udtræk af de vigtigste resultater af den gennemgåede litteratur, også en risikovurdering og forslag til supplerende undersøgelser. Projektet omhandler risikoen for grundvandet generelt ved forskellige måder at foretage glatførebekæmpelse på, men skal ses i lyset af ønsker om at belyse mulighederne for at byudvikle inden for OSD.

Ved byudvikling bliver der i sagens natur etableret flere veje, der også kræver vintervedligeholdelse. Generelt antager man, at vand fra veje afledes til dræn og til separat regnvandsledning eller til spildevandsledninger og dermed ikke påvirker grundvandet, men dels holder dette ikke helt stik, dels er der en øget opmærksomhed på at infiltrere overfladevand til grundvandet. Der er to hovedårsager til dette. Den ene er et øget behov for lokal håndtering af regnvand (LAR), den anden er, at der er et ønske om så vidt muligt, at bibeholde bynære vandindvindinger. Dette ønske skal igen ses i sammenhæng med vandplanernes miljømål om at bibeholde grundvandsbidraget til vandløb og vådområder uden for byerne, hvilket en bibeholdelse af bynære vandindvindinger medvirker til.

Fokus er især på natriumklorid, da vejsalt er den totalt dominerende metode til glatførebekæmpelse i dag, men andre typer glatførebekæmpelse er også vurderet. Risikovurderingen er foretaget på basis af et studie af tilgængelig litteratur. En følgegruppe, nedsat af Naturstyrelsen med repræsentanter fra Vejdirektoratet, Miljøstyrelsen og Kommunernes Landsforening, har bidraget til projektet i form af aktuel viden om eksisterende praksis og muligheder.

# Konklusion og sammenfatning

Store mængder vejsalt bliver hver vinter spredt på veje og pladser i forbindelse med glatførebekæmpelse. En del af dette vejsalt tabes til miljøet, og kan have en negativ effekt på kvaliteten af grundvandet. Den maksimale påvirkning ses dog først efter årtiers brug. Kloriden fra vejsaltet (natriumklorid) er den største trussel mod grundvandet, da natrium i et vist omfang tilbageholdes i jorden.

I bymæssig bebyggelse kan 10-20 % af den tilførte klorid tabes til grund- og overfladevand, mens helt op til 80-100 % tabes i ikke-kloakerede områder. Der er dog store usikkerheder forbundet med at estimere disse tab til grundvandet. Mængden er afhængig af den samlede mængde salt, der spredes på vejene, det samlede vejareal i et område, måden hvorpå saltet spredes, vejrforholdene, vejenes opbygning, trafikbelastningen og omfanget af dræning langs vejene mm. Fortyndingsgraden er forskellig i forskellige egne af landet, ligesom lokale geologiske og hydrogeologiske forhold spiller en stor rolle. Endelig er der store forskelle fra år til år mht. hvor stort behovet er for saltning af vejenettet.

Der arbejdes i Danmark med flere forskellige tiltag for at mindske saltforbruget på veje, bl.a. udvikling af materiel, GPS-styret saltning, vejrprognoser og modelværktøj. Forbruget af vejsalt har i perioden 1998/99 til 2008/2009 på landsplan været omkring 289.000 tons/år.

I regn- og smeltevandsafstrømning kan der findes koncentrationer af klorid på op til 10.000 mg/L, hvilket kan forårsage skadelige påvirkninger af vandlevende organismer, hvis det ledes til vandløb og søer uden tilstrækkelig opblanding. Nye NOVANA resultater indikerer dog, at vejsalt ikke er et landsdækkende problem for søer og åer.

Litteraturstudiet viste, at de mest miljømæssigt relevante alternative tømidler er organiske produkter baseret på acetat og formiat. Disse organiske tømidler er toksiske overfor vandlevende organismer i koncentrationer lavere end klorid. De er imidlertid let nedbrydelige med iltforbrug til følge, hvorfor iltsvind i overfladerecipienter typisk er et større problem end akut toksicitet.

Der er kun få dokumenterede danske tilfælde hvor vejsalt alene er årsagen til kloridkoncentrationer i grundvand over 250 mg/L (drikkevandskriteriet). Disse tilfælde er typisk meget tæt på store veje, hvor der kan dannes faner med høje kloridkoncentrationer. I visse områder, især Storkøbenhavn, kan lokale forhold med flere kilder til klorid i grundvandet betyde, at bidraget af klorid fra vejsalt i fremtiden bliver problematisk.

Masseberegninger viser, at kloridkoncentrationer i nydannet grundvand under byudviklingsområder kan ligge i samme størrelsesorden og over kvalitetskriteriet. Faktorer som nettonedbør, tabsprocent og forbrug, hvilke kan variere med over 50 %, er afgørende for risikoen for grundvandsressourcen. Det er derfor vigtigt for hvert enkelt byudviklingsprojekt, at undersøge faktorerne:

- Vejareal, vejopbygning og dræningsforhold
- Nærliggende recipienter og deres sårbarhed samt nedsivningsforhold/ønsker, herunder lokal nedsivning af regnvand (LAR)
- Ønsker for vintervedligeholdelse (forventet forbrug af vejsalt)
- Infiltration og nedbørsforhold
- Strømningsveje i grundvandet i området
- Kloridindhold i grundvandsmagasinerne i området og andre kilder til klorid end vejsalt

Baseret på disse forhold kan en risikovurdering foretages i hvert enkelt tilfælde. Derefter kan f.eks. befæstelsesgraden, vejens indretning og/eller saltningsstrategien justeres, hvis det viser sig nødvendigt for at beskytte grundvandsressourcen.

Generelt anbefales det dog:

1. at mindske saltforbruget mest muligt i byudviklinger i OSD og indvindingsoplande
2. at der i OSD og indvindingsoplande med lav nettonedbør/ nedsivningspotentialer (eks. Sjælland) tilstræbes et meget lavt saltforbrug i kombination med tiltag til at mindske tabet af salt og/eller øgning af grundvandsdannelse ved nedsivning af tagvand.
3. at der benyttes alternative organiske tømider hvis krav til glatførebekæmpelse medfører at saltforbruget ikke kan holdes lavt nok i OSD og indvindingsoplande med lav nettonedbør/ nedsivning.

Nedsivning af vejvand indeholdende organiske tømider bør ske gennem biologisk aktiv overjord så nedbrydning sikres inden stofferne når grundvandet. Ledes vejvand med organiske tømider til vandløb og søer bør en afledning ske via en bufferzone, hvor nedbrydning kan finde sted, og det bør sikres, at der er tilstrækkelig mulighed for geniltning af vandet.

Masseberegninger er gennemsnitsbetragtninger for hele grundvandsmagasiner, og er behæftet med stor usikkerhed. Hydrogeologisk modellering af grundvandsstrømning i området kan benyttes til at forbedre den eksisterende viden om udbredelsen af koncentrationsniveauer og den tidsmæssige udvikling. Modellen bør inkludere kloridpåvirkningen fra alle kendte kilder, som vejsalt, punktforureninger, infiltrerende havvand samt residualt saltvand.

Det konkluderes, at brug af vejsalt i Danmark i mange tilfælde kan håndteres uden risiko for at overskride de gældende kvalitetskrav. Dette indbefatter dog at anvendelsen af vejsalt minimeres i byområder. Her kan en optimeret vejsaltning benyttes, der kan opstilles konstruktionskrav til vejnettet i byudviklingsområder eller det kan være nødvendigt at bruge alternative tømider for at beskytte grundvandsressourcen.

# 1. Indledning

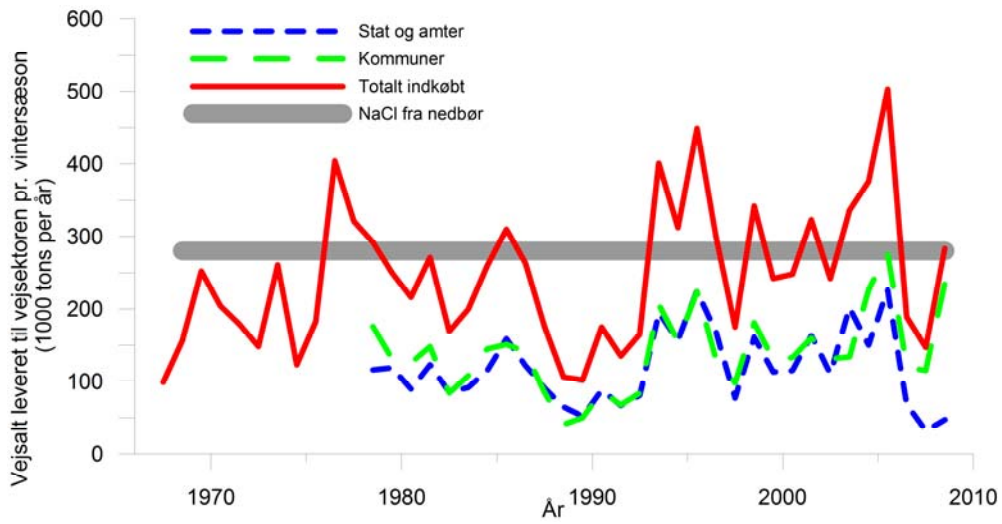
Store mængder vejsalt bliver hver vinter spredt på veje og pladser i forbindelse med glatførebekæmpelse. En del af dette vejsalt ender utilsigtet i omgivelserne og kan i nogle tilfælde påvirke kvaliteten af grundvandet, så det ikke kan bruges til drikkevand (Kristiansen m.fl., 2009). Der findes forskellige metoder til at mindske denne påvirkning. Driftstekniske løsninger kan nedsætte mængden af vejsalt der bliver brugt, og nogle måder at indrette vejen på kan sikre, at mest muligt vejsalt kan ledes til overfladerecipienter, og dermed ikke når grundvandet. Derudover er der også mulighed for at bruge andre midler end salt til glatførebekæmpelse.

Fokus i denne rapport er på risikoen for grundvandet ved brug af vejsalt og alternative tømidler. Andre faktorer så som skadevirkning på planter og overfladevand er dog også taget ind i overvejelserne for at skabe en helhedsvurdering af de forskellige alternativer.

Konklusioner fra større, nyere undersøgelser er benyttet som grundlag for vores vurderinger, mens kun den mest relevante ældre litteratur er citeret. For at afdække risiko for grundvandsforurening med tømidler fra glatførebekæmpelse er der i udlandet tidligere udført en række risikovurderinger af større områder. En vigtig konklusion af nærværende projekt bliver således, hvilke tilgange og hvilke parametre som bør anvendes under danske forhold.

Økonomiske aspekter er også vigtige ved valg af metode til glatførebekæmpelse. Indkøbsprisen for alternative tømidler er langt højere end salt. Denne rapport omfatter udelukkende en risikovurdering mht. grundvand, og økonomiske aspekter indgår ikke i vurderingen. Vejdirektoratet er imidlertid i gang med at udarbejde en cost-benefit analyse for både vejsalt og alternative tømidler. Der er tale om en overordnet analyse, der også inkluderer miljømæssige hensyn (Hemmingsen, pers. komm. 2012).

Det samlede offentlige forbrug af vejsalt i perioden 1967 til 2009 kan ses i figur 1. Det gennemsnitlige forbrug har i perioden som helhed været stigende, men de seneste årtier domineres af store fluktuationer pga. variationer i vintervejret. Det gennemsnitlige forbrug i perioden 1998/99 til 2008/2009 har på landsplan været omkring 289.000 tons/år. Bemærk, at vejsaltet ikke nødvendigvis er brugt samme vintersæson, som det er leveret, og at det private forbrug af vejsalt ikke er kendt.



FIGUR 1  
 TOTALE LEVERANCER AF SALT (NATRIUMKLORID) TIL STAT, AMTER, OG KOMMUNER OPGJORT FOR VINTERSÆSONER 1967/68 TIL 2008/2009. TIL SAMMENLIGNING SES HVOR MEGET NaCl DER SKØNNES DEPONERET TOTALT TIL HELE DANMARKS AREAL (KRISTIANSEN ET AL., 2011). DATA LEVERET AF VEJDIREKTORATET.



## 2. Relevante tømidler

Som tømiddel bruges traditionelt NaCl, men andre salte kan også bruges f.eks. MgCl<sub>2</sub> og KCl (Pedersen og Ingerslev, 2007). Efterfølgende menes med "vejsalt" eller "salt" NaCl, hvis ikke andet er nævnt. Alternative organiske tømidler er urea, acetat-baserede produkter, f.eks. NaAc, KAc og CaMgAc (CMA), formiat-baserede produkter, f.eks. KFo og NaFo, eller en blanding af sukkerstoffer og salte. I lufthavne bruges derudover glycol-baserede produkter, som dog ikke omtales yderligere, idet de ikke er generelt anvendelige til glatførebekæmpelse på veje.

Holen (2010) vurderede ud fra fysiske egenskaber (f.eks. smeltekapacitet) og driftstekniske forhold (håndtering, lagring mm) at CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> og KAc er de bedste alternativer til NaCl i Norge. Det skyldes, at nogle af disse kan bruges ved lavere temperaturer end NaCl, og at smeltekapaciteten er relativt høj. Uorganiske salte som MgCl<sub>2</sub> og CaCl<sub>2</sub> vil imidlertid ikke løse de miljømæssige problemer omkring klorid. Pedersen og Ingerslev (2007) vurderede, at de mest relevante alternativer til vejsalt, set ud fra et miljøperspektiv, er KFo og CMA.

Der findes i Danmark flere forskellige produkter, der består af KFo eller CMA (se tabel 1). To af disse har på nuværende tidspunkt (2012) opnået Svanemærket fra Nordisk Miljømærkning hhv. "Ice & Dust Away", som består af CMA, og "Viaform", som i flydende form er baseret på KFo og i fast form på NaFo.

TABEL 1  
TØMIDLER PÅ DET DANSKE MARKED BASERET PÅ CALCIUM-MAGNESIUM ACETAT (CMA) ELLER KALIUM FORMIAT (KFO).

Producent	Navn	Hoved-bestanddel	Tilsætningsstoffer	Svanemærket
<b>Nordisk Aluminat A/S</b>	Ice & Dust Away	CMA	Ingen	Ja
<b>Addcon Nordic A/S</b>	Viaform L Viaform S	KFo (flydende) NaFo (granulat)	1 stof <1%	Ja
<b>Kemira</b>	Meltium Meltium SF	KFo (flydende) NaFo (granulat)	-	
<b>Nordical A/S</b>	Multi-tø	Perlit (bærestof) + KFo + CMA	-	

Svanemærket er baseret på krav om bl.a. nedbrydning, iltforbrug pr. m<sup>2</sup> ved den anbefalede dosering, toksicitet, smelteevne, korrosionsevne og grænser for indhold af metaller og næringsstoffer.

Blandinger af sukker med salt bruges indtil videre på forsøgsbasis i Sverige (Gustafsson og Gabrielsson, 2009), og afprøves også af Vejdirektoratet i Danmark. Formålet er at kunne bruge mindre vejsalt, især i forbindelse med præventiv saltning.

# 3. Driftstekniske metoder

I Vejdirektoratet bliver der arbejdet med en lang række teknologiudviklingsprojekter, der har til formål at optimere mængden af salt, der spredes på vejene ved glatførebekæmpelse. Der arbejdes med følgende (Eram, 2012):

- Udvikling af materiel til saltspredning og standardisering af metoder til at teste saltspredere.
- GPS-styret saltspredning, der sikrer at saltmængden automatisk bliver indstillet til den korrekte mængde i forhold til vejens kategori og udformning.
- Bedre vejprognoser til planlægning af præventiv saltning.
- Udarbejdelse af strækingsprognoser, der skal fungere som beslutningsværktøj til håndtering af glatføre mellem målestationer (der typisk er placeret de koldeste steder).
- Udvikling af et modelværktøj til estimering af mængden af restsalt på vejen ud fra forhold som trafik, udformning, vind og nedbør. Dette kan bruges til at nedsætte saltspredningen ved næste saltning.
- Kvantificering af varmeafgivelse til vejbelægning fra trafikken, så vejtemperaturen kan estimeres bedre og saltning optimeres.

I Finland har man forsøgt med følgende tiltag:

- Brug af saltlage frem for tørsalt.
- Brug af vejprognoser til planlægning af præventiv saltning.
- Forbedret udstyr til saltspredning (doseringskontrol mm.).
- Incitamentter for vejdriften til at mindske saltmængderne.
- Brug af sand som alternativ til tømidler.

De beskrevne tiltag i Finland har medvirket til et fald i saltforbrug på 35% over en periode på 20 år (Salminen m.fl., 2011).

Derudover kan der arbejdes med strategier, der inkluderer:

- Nedsættelse af hastighedsgrænser om vinteren
- Nedsættelse af serviceniveau på f.eks. villaveje med mindre der er særlige behov såsom ved stejle veje.

Der findes også metoder til at undgå, at den spredte salt når grundvandet (Roseth og Jakob, 2010):

- Veje kan eksempelvis anlægges med kantsten og opsamling af regnvand i dræn frem for med rabatter og åbne grøfter.
- Der etableres grøfter med tæt bund f.eks. ved foring med en bentonit-membran (eksempler på dette fra Sverige, Tyskland og Finland kan findes i Roseth og Jakob (2010)).
- Støjskærme vil foruden at dæmpe støjen også medvirke til en kraftig formindskelse af den luftbårne spredning af salt.

Der findes således en række drifts- og anlægstekniske tiltag, der kan bruges til at mindske saltforbruget og spredningen af salt i omgivelserne, men hvor meget saltforbruget mindskes af hvert enkelt tiltag er ikke undersøgt i Danmark. Det er ikke givet, at man i Danmark kan opnå den samme

procentvise besparelse på vejsalt som i Finland med de nævnte tiltag, da der kan have været et større overforbrug i Finland end i Danmark (som bl.a. skyldes en tidligere uhensigtsmæssig incitamentsstruktur i forbindelse med vejdriften samt koldere vintre i Finland). I øvrigt har der igennem mange år været arbejdet intensivt med at nedbringe vejsaltforbruget i Danmark.

# 4. Mobilitet og spredningsveje

Da klorid i meget ringe grad tilbageholdes i jorden eller nedbrydes, vil klorid, der spredes på jordoverfladen, enten blive ført ned til grundvandsmagasinerne, eller sive direkte ud i vandløb, sø eller hav. Salt spredes fra veje ved afstrømning fra vejen og nedsvivning i rabatten. Det kan også spredes via aerosoller i en afstand på op til 100 m fra vejen (Blomqvist m.fl., 2001), men langt størstedelen deponeres indenfor 10-20 m fra vejen (Blomqvist m.fl., 2001; POLMIT, 2002).

I tæt bymæssig bebyggelse (eks. Chicago og København) vurderes tabsprocenter til grundvandet at ligge på 10-20 % (Kristiansen m.fl., 2009 inkl. referencer; Kelly m.fl., 2012). I mindre tæt bebyggede områder kan op til 50 % af saltet tabes til grundvandet selv om området er kloakeret, og 80–100 % forventes at blive tabt til grundvandet i områder, der ikke er kloakeret (Kristiansen m.fl., 2009; Roseth og Jakob, 2010). Disse tabsprocenter afhænger af lokale forhold og af vejens opbygning (Roseth og Jakob, 2010). Ovennævnte tabsprocenter gælder for salt som spredes på offentlige veje, mens privates forbrug der spredes på fortove, indkørsler etc., generelt må forventes at have højere tabsprocenter. Det er ukendt hvor stort det private forbrug er i Danmark, men det er tidligere estimeret til ca. 10 % af det offentlige forbrug i et tæt bebygget område som Frederiksberg (Hjuler m.fl., 2007).

Umiddelbart nedstrøms veje dannes en fane af klorid i grundvandet, som i nogle tilfælde kan have koncentrationer højere end kvalitetskriterierne for grundvand (250 mg Cl<sup>-</sup>/L) (f.eks. Carlson m.fl., 1998). Hvorvidt denne fane når drikkevandsboringer, og i hvor høj grad den fortyndes undervejs, afhænger af lokale strømningsforhold og boringens dybde og placering i forhold til vejen.

Det er vist i kolonneforsøg, at salt kan øge udvaskningen af tungmetaller fra jorden som dermed kan nå recipienter eller overfladenære grundvandsmagasiner (Norrstrom, 2005; Linde m.fl., 2007). Nedbrydning af alternative tømidler kan medføre reduktion og lave iltkoncentrationer i jorden, hvilket kan medføre udvaskning af jern, mangan og andre metaller fra jorden (Amundsen, 2010). Omfanget af udvaskning af metaller er dog større ved brug af vejsalt end ved brug af acetat og formiat-baserede produkter (Amundsen, 2010). Der er i litteraturen ikke fundet eksempler på, at denne indirekte effekt af vejsaltning påvirker vandkvaliteten i primære grundvandsmagasiner.

## 1.1 Forbrug og koncentrationer

I tabel 2 er forbrug og smeltekapacitet for tømidler vist. Generelt er smeltekapaciteten højest for de tørre former af vejsalt og NaFo og lavere for flydende vejsaltopløsninger og de andre organiske tømidler. Den teoretiske smeltekapacitet er imidlertid ikke et direkte udtryk for, hvor stort forbruget er af tømidlerne, da en større del vil havne udenfor vejbanen, når der spredes tørsalt eller befugtet salt, end hvis der benyttes opløsninger (Vejdirektoratet, 2006).

TABEL 2  
FORBRUG AF SALT OG TØMIDLER

Navn	Producentens forslag til forbrug, g/m <sup>2</sup>	Teoretisk smeltekapacitet ved -2°C g is/g tømiddel <sup>1)</sup>
<b>Tørsalt<sup>2)</sup></b>	5-30	28,6
<b>Ice &amp; Dust Away (25 % CMA)</b>	5-50	3,0
<b>Viaform L (50 % KFo)</b>	15-60	10-15,7
<b>Viaform S (97 % NaFo)</b>	10-50	29
<b>Meltium (50 % KFo)</b>	20-60	10-15,7
<b>Meltium SF (≈ 100 % NaFo)</b>	30-60	29

1) Information om teoretisk smeltekapacitet er fra Vejdirektoratet (2006), 2) Forbrug for vejsalt er fundet i Holen (2010).

På trods af, at den teoretiske smeltekapacitet er lavere for kaliumformiat-opløsningerne end for vejsalt, har et forsøg i Københavns Kommune vist, at et forbrug af vejsalt på 15 g/m<sup>2</sup> kunne erstattes af et forbrug af kaliumformiat på ca. 13 g KFo/m<sup>2</sup> (Sørensen, pers. komm. 2012).

De højeste koncentrationer af vejsalt findes i smeltevandsafstrømningen, og vil kunne ledes til recipienter som relativt kortvarige pulser. Kjølholt m.fl. (1997) målte koncentrationer op til 3.300 mg/L i regnvandsafstrømning fra en motorvej, og koncentrationer op til 10.000 mg/L er fundet i afstrømning fra veje (Amundsen, 2010). Disse høje koncentrationer bliver fortyndet, når de ledes til vandløb og søer, eller når vandet nedsives. I Danmark har >95% af grundvandsboringerne koncentrationer af klorid under 250 mg/L (Kristiansen m.fl., 2009). Nogle målinger viser værdier, der strækker sig op i området 10.000-20.000 mg/L. Disse høje indhold skyldes andre kilder end vejsalt (Kristiansen m.fl., 2009).

En vigtig konklusion på tidligere undersøgelser er, at det er muligt vha. vandkemien at sandynligøre hvorvidt et grundvandsmagasin er påvirket af vejsalt (f.eks. Kristiansen et al., 2009). Dette baseres på kemiske indikatorer hvor især natrium, klorid og bromid er anvendelige, men metoden kan ikke anvendes til at undersøge hvorvidt klorid fra f.eks. en byudvikling vil påvirke grundvandet negativt.

# 5. Toksicitet og effekt på miljøet

Glatførebekæmpelse har effekt på både den vejnære beplantning og på vandløb og søer, som tilføres vand med tømidler.

## 1.2 Beplantning

Vejsalt påvirker den vejnære beplantning med svidning og dårlig vækst. Dette er et velkendt problem både i Danmark og internationalt og er forårsaget af bl.a. osmotiske effekter og næringsstof mangel forårsaget af de høje saltkoncentrationer (Pedersen og Ingerslev, 2007; Amundsen, 2010).

Påvirkningen fra de organiske tømidler på planter er lavere end påvirkningen fra vejsalt, omend det kun er undersøgt i begrænset omfang (Pedersen og Ingerslev, 2007). Svidningsskader undgås ved brug af CMA og KFo, men nedbrydningen af de organiske tømidler kan medføre lavere iltkoncentrationer i jorden. Toksiciteten overfor græsser er fundet til at ligge på højde med salt, hvorimod toksiciteten overfor buske og træer er mindre (Amundsen, 2010). Væksten af unge træer blev imidlertid påvirket i lige stor grad af CMA og KFo som af salt i et nyere forsøg (Hanslin, 2011). I Danmark testes CMA's påvirkningen af vejtræer i Furesø kommune (Furesø kommune, 2012) og påvirkningen af KFo testes i Københavns Kommune (Sørensen, pers. komm. 2012). Resultaterne fra disse forsøg er ikke offentliggjort endnu, men Furesø kommune forventer at fortsætte brugen af CMA (Hemmingsen, pers. komm. 2012).

## 1.3 Overfladevand

De to problemer, som kan opstå i vandløb og søer, er akut toksicitet pga. tømidlerne, og for de organiske tømidlers vedkommende yderligere, iltsvind når midlerne bliver nedbrudt. I tabel 3 er det kemiske iltforbrug vist sammen med 50 % effektværdier  $LC_{50}/EC_{50}$  (værdier der giver negativ effekt for 50 % af organismene). Det ses, at de organiske tømidler har en højere akut toksicitet end vejsalt ( $LC_{50}/EC_{50}$  er lavere). Vurderes  $LC_{50}/EC_{50}$  for vejsalt i forhold til aktuelle koncentrationer i afstrømmet vejvand (se afsnit 4.1) ses at koncentrationerne er i samme størrelsesorden. Der kan derfor findes koncentrationer af vejsalt i vejvand, der vil kunne give negative effekter for vandlevende organismer. Det er derfor vigtigt, at vejvand bliver udledt til recipienter, hvor en væsentlig fortynding kan påregnes. Alternativt skal det udledes til et bassin, hvorfra det langsomt eller i fortyndet form kan udledes til recipient. Det kan tilføjes, at vandløb og søer kan være mindre følsomme overfor klorid i vintermånederne, hvor temperaturen er væsentlig lavere end de forhold økotoksikologiske test bliver udført under, hvor mange organismer er mindre aktive, og hvor vandføringen/ gennemstrømningen typisk er væsentlig større end om sommeren (Kristensen m.fl., 2009).

TABEL 3  
TILGÆNGELIGE DATA FOR ALTERNATIVE TØMIDLER.

Navn	COD g O <sub>2</sub> /g produkt	Toksicitet
<b>Salt<sup>1)</sup></b>	0	6.000 mg/L, 48 t, LC <sub>50</sub> daphnia magna
<b>Ice &amp; Dust Away (25%)<sup>2)</sup></b>	0,132	1.800 mg/L, 24 t EC <sub>50</sub> daphnia magna
<b>Viaform L (50%)<sup>3)</sup></b>	0,095	'ikke skadeligt'
<b>Viaform S (97 %)</b>	0,24	
<b>Meltium (50%)<sup>4)</sup></b>	0,11	1.300 mg/L, 96 t EC <sub>50</sub> crangon
<b>Meltium SF<sup>4)</sup></b>	0,2	> 1.000 mg/L, 48 t EC <sub>50</sub> daphnia magna
<b>Multi-tø<sup>5)</sup></b>	-	-

1) Information om produkterne er hentet fra Kristensen m.fl. (2009), 2) sikkerhedsdatablad for produktet, 3) brochure samt personlig kommunikation med Addcon Nordic A/S, og 4) teknisk datablad (01/2012) og sikkerhedsdatablad fra Kemira. 5) ikke testet

Vejsalts påvirkning af overfladevand har ikke haft stor fokus i Danmark. Internationale studier viser dog, at vejsaltning kan medføre forhøjede kloridkoncentrationer i overfladevand både ved direkte udledning af smeltevandet til søer og vandløb (pulsudledning) og indirekte ved udsivning af grundvand med forhøjet kloridindhold fra det sekundære magasin (Pedersen og Ingerslev, 2007; Amundsen, 2010). Toksiciteten af NaCl er fundet til LC<sub>50</sub> = 6.000, 1.100 og 560 mg/L for henholdsvis <4 dage, 1 uge og kronisk effekt (Amundsen m.fl., 2010). Lavere koncentrationer kan imidlertid også give effekter, fordi et øget saltniveau kan medføre en ændret population i vandløb og søer (Amundsen m.fl., 2010). Generelt viser NOVANA vandløbsrapport for 2012 (Wiberg-Larsen m.fl., 2012), at vejsalt ikke er et alvorligt landsdækkende biologisk problem i danske vandløb i dag. Dette gælder median koncentration, men sandsynligvis også spidsbelastninger, selvom NOVANA programmet formodentlig ikke har fanget spidsbelastningerne. Hvorvidt der er lokale effekter (i f.eks. østsjællandske vandløb) kan ikke ses ud af NOVANA vandløbsdataene.

I stillestående eller isdækkede søer og i dybe regnvandsbassiner er der risiko for, at der kan opstå en lagdeling med et tungere saltholdigt lag i bunden af bassinet (Bækken og Haugen, 2006; 2012). I søer kan det medføre dårlig opblanding og derfor iltsvind på bunden af søen. I regnvandsbassiner kan det påvirke rensningen af regnvandet ved at ændre flow-forholdene i bassinet så sedimentering af partikler bliver dårligere. De højere saltkoncentrationer kan i nogle tilfælde også være med til at frigive tungmetaller fra sedimenterne (Amundsen m.fl., 2010).

CMA og KFo er fundet til at være lidt mere toksiske overfor vandlevende organismer end salt, (Amundsen 2010) (se også tabel 3). Det korrosionshæmmende stof, der er tilsat Viaform er klassificeret 'ikke skadeligt for vandlevende organismer' ud fra EU's klassificeringssystem (Deml, pers. komm. 2012), hvilket betyder at LC<sub>50</sub> eller EC<sub>50</sub> skal være > 100 mg/L. Da stoffet er tilsat i en koncentration på < 1 %, vil det være KFo, der i dette tilfælde vil have den største toksicitet i det samlede tømiddel.

Både acetat og formiat er let nedbrydeligt, men hastigheden af den biologiske nedbrydning er afgørende for, hvorvidt de organiske tømidler giver en større toksicitet i overfladevand end salt. En højere toksicitet er ikke givet, selv om den umiddelbare toksicitet og forbruget af de organiske tømidler er højere. For at fremme nedbrydningen og for at undgå toksiske effekter i overfladevand, undgår man i Oregon brug af CMA og KAc i områder med udledning til overfladevand, hvor fortyndingen er under 100:1, eller hvor udledningen sker direkte til sø eller mose uden en vegetationsbuffer (NCHRP, 2004). I Billund lufthavn, hvor KFo bruges som tømiddel, er der i overløb fra et nedslivningsbassin målt koncentrationer af flygtige organiske syrer på op til 130 mg/l (Kristensen, 2012). At koncentrationerne ikke er højere viser, at der allerede i grøfter og i bassinet sker effektiv nedbrydning af KFo.

Selv om koncentrationen i overfladevand er lavere end akut toksiske koncentrationer, kan tilførsel af organiske tømidler til overfladevand være uønsket, fordi iltforbruget til nedbrydningen kan medføre iltvind i recipienten eller i grundvandet. Undersøgelser viser, at søer er særligt udsatte for iltvind, hvis de ligger tæt på vejen, har lavt fortyndingsforhold, er isdækkede, eller hvis CMA bliver brugt om foråret, hvor temperaturen (i dagtimerne) er højere og nedbrydningen derfor hurtigere (Brenner og Horner, 1992). Nedbrydning af acetat kræver mere ilt end formiatnedbrydning (Amundsen, 2010). Halveringstider for nedbrydning af formiat og acetat er i litteraturen fundet til mellem 0,5 og 34 dage faldende med temperaturen (Amundsen, 2010).

Erfaringer beskrevet i litteraturen viser således, at saltkoncentrationer i afstrømmende vejvand kan være i samme størrelsesorden som 50 % effektværdier for vejsalt. Graden af fortynding i recipienten er derfor vigtig for at sikre recipienten mod negative påvirkninger. Baseret på forbruget af organiske tømidler forventes koncentrationer af disse i afstrømmende vejvand også at kunne findes i samme størrelsesorden som 50 % effektværdierne. For at undgå en negativ påvirkning på recipienterne bør der sikres mulighed for delvis nedbrydning inden afstrømningen når recipienten alternativt en passende fortynding. Mulighed for geniltning af vandet i recipienten er også vigtig så iltfrie forhold undgås.



# 6. Tømidlers forurening af grundvandet

Da klorid fra vejsalt ikke nedbrydes, er den afgørende faktor for forurening af grundvandet saltforbruget, bortledning til kloak eller recipient samt fortynding. Natrium-ioner vil, som tidligere nævnt, i lang tid kunne ionbyttes med calciumioner i jordbunden, mens klorid uhindret fortsætter i det hydrologiske kredsløb. For de organiske midler er det imidlertid nedbrydningshastigheden, der er vigtigst, idet en nedbrydning kan betyde, at stofferne slet ikke når grundvandet.

## 1.4 Vejsalt

Vejsaltets påvirkning af grundvand i Danmark er blevet vurderet i en rapport fra GEUS (Kristiansen m.fl., 2009) baseret på alle tilgængelige data i den nationale grundvandsdatabase Jupiter ultimo 2007. Denne rapport konkluderer, at vejsaltning bidrager til en forøgelse af grundvandets indhold af klorid primært i magasiner 0-80 m under terræn, men at der kun findes et meget lille antal borer i Danmark, hvor vejsalt kan have medført en kloridkoncentration over drikkevandskriteriet.

Hydrogeologisk modellering har vist at tab af salt til grundvandet på 20 % og 55 % fra vejsaltning i forstæder kan medføre kritiske koncentrationer af klorid i grundvandet, og at den maksimale koncentration først ses efter årtier til århundreders tab af vejsalt til grundvandet (Bester m.fl., 2006; Howard og Maier, 2007). Disse tal vil yderligere variere afhængigt af klimatiske og lokale geologiske forhold. Hydrogeologisk modellering af Københavns vestegn viser, at en tabsprocent på 15 % til grundvandet resulterer i en stigning af kloridindholdet på 40-125 mg/L i det primære grundvandsmagasin ved ligevægtstilstand, og at der fra i dag vil gå 50 år inden denne tilstand er nået, forudsat at vejsaltsforbruget ikke ændres (Kristiansen m.fl., 2009).

En vurdering af kilden til forhøjede saltkoncentrationer i Frederiksberg kommune konkluderer, at "vejsaltningen i sin nuværende form sandsynligvis er en alvorlig trussel for grundvandet i Frederiksberg Kommune" (Hjuler m.fl., 2007). Dette var baseret på et tab på ca. 40 % af vejsaltet (både offentligt og privat forbrug blev her medregnet) fra befæstede arealer i dette område, der er karakteriseret af en lille grundvandsdannelse og en meget høj urbaniseringsgrad. Allerede ved et tab på 20-30 % må grundvandet under dele af Frederiksberg dog forventes at indeholde > 250 mg klorid/L, da der er andre væsentlige kilder til klorid i dette område, f.eks. geologiske og punktforureninger.

Howard og Maier (2007) argumenterer for, at en større brug af grundvandsmodeller er vigtig i forbindelse med byplanlægning for at kunne tage højde for en tilstrækkelig grundvandsbeskyttelse. Kristiansen et al. (2009) viser, at grundvandsmodellering med kildestyrkemodeller også under danske forhold kan give en mere præcis risikovurdering og udpege sårbare områder hvor vejsalt i særlig høj grad påvirker grundvandsressourcen.

## 1.5 Organiske tømidler

Ved nedsivning af organiske tømidler til grundvandet er det afgørende om stofferne når at blive nedbrudt, inden de når grundvandsspejlet, da nedbrydningen medfører et stort iltforbrug. I de

tilfælde, hvor de organiske tømidler når ned til iltfrie grundvandsmagasiner vil nedbrydningshastigheden blive væsentligt nedsat eller helt stoppe (Hellstén, 2005b). Eventuelle problemer med iltvind vil således flyttes til andre dele af det hydrologiske system.

I et finsk studie blev det fundet, at KFo var let nedbrydeligt selv ved lave temperaturer og i sandede jordlag. 98 % af den tilførte KFo (gennemsnitligt 2.730 mg/L) blev nedbrudt efter passage af en 1,7 m tyk umættet zone (Hellstén, 2005a). En biologisk aktiv overjord blev vurderet vigtig for nedbrydningen (Hellstén, 2005a). Der blev ikke fundet formiat i grundvandet ved siden af en motorvej hvor KFo blev brugt som tømiddel, heller ikke efter 8 års brug (Hellstén, 2005b; Selminen m.fl., 2011).

Billund lufthavn er en af de lufthavne i Danmark, der bruger KFo til afisning (Kristensen, 2011). Håndteringen af afstrømningen i lufthavnen er primært nedsivning (vurderet til ca. 70 %), men en del af afstrømningen bliver ledt til Billund Bæk via overløb fra nedsivningsbassiner. Grundvandet bliver overvåget under landingsbanerne (dog ikke ved nedsivningsbassinerne). Udløbene fra bassinerne til vandløbet bliver også prøvetaget. På trods af et stort forbrug af KFo, blev der ikke i vinteren 2010-2011 fundet flygtige organiske syrer (herunder formiat) i grundvandet i nogen af borerne. Der er dog i nogle af borerne set en stigning i indholdet af kalium i perioden fra 2000-2011, og i nogle af borerne er konstateret en lav iltmætning (Kristensen, 2011). Dette indikerer, at formiat fra afisningsmidlerne bliver nedbrudt i den øverste del af jordsøjlen også under danske forhold og i sandjord, mens noget af det udbragte kalium nedsiver til grundvandet uden at ionbyttes.

Århus lufthavn bruger også KFo som tømiddel, og nedsiver afstrømningen dels via et faskineanlæg dels ved direkte nedsivning fra overfladen omkring banerne. Området er præget af ensartet smeltevandssand (Aarhus Lufthavn, 2011). Der bliver taget prøver af grundvandet i borerne filtersat i 1-4 forskellige højder. Der er i nogle af borerne fundet lav iltmætning, og risikoen, for at ikke alt organisk materiale er omsat ved alle borerne, kan ikke afvises, men der er ikke observeret en tidsmæssig udvikling i iltforholdene over de 10 år overvågningen er foregået (Rambøll, 2012).

# 7. Risikohåndtering ved glatførebekæmpelse i andre lande

I Norge har Statens Vegvesen (SV) haft et forsknings- og udviklingsprojekt om vejsalt, "Salt SMART". En lang række rapporter er i den forbindelse skrevet om både saltningens påvirkning af miljøet, alternative tømidler og tekniske løsninger. Konklusionen på projektet var, at skader på miljøet vil kunne undgås ved et lavt forbrug af salt i store dele af vejnettet, men at specielle tiltag er nødvendige, der hvor miljøet er særlig følsomt overfor vejsalt (disse kunne være at føre afstrømningen udenom sårbare områder eller forsegle regnvandsafledningen så nedsivning til grundvand undgås). Projektet anbefaler ikke brug af alternative tømidler. SV vurderer, at brug af specialudstyr til bedre mekanisk fjernelse af sne har stort potentiale mht. til at mindske brugen af vejsalt. Derudover vil man anvende vejsaltningsstrategier, der mindsker forbruget af vejsalt, og man arbejder med konkurrencegrundlaget for driftskontrakterne for at opnå en bedre saltpraksis og kompetenceløft (Sivertsen m.fl., 2012).

I Finland er 1129 grundvandsmagasiner vurderet på basis af en metode, der blev udviklet til at risikovurdere vejsaltnings påvirkning af grundvandsmagasiner. Ved anvendelse af denne metode får magasinerne point ud fra en række faktorer, der inkluderer: areal af grundvandsmagasin, infiltrationen, retning og hastighed af grundvandets strømning, jordens transmissivitet, geologiske lag, pumpning, afstand fra vej til magasin og anvendte saltmængder. 26 % af grundvandsmagasinerne blev med denne metode vurderet til at have en forhøjet risiko. I Finland bliver grundvandsmagasiner dog vurderet til at have problemer allerede ved kloridkoncentrationer på  $> 25 \text{ mg/L}$  – ti gange lavere end de danske kriterier. Risikovurderingen førte blandt andet til et forskningsprojekt, MIDAS, der har undersøgt alternative tømidler. Konklusionen på, hvordan man kan beskytte grundvandet i Finland mod forurening af vejsalt, er: at mindske mængderne af salt, føre afstrømningen udenom sårbare områder eller at skifte til alternative tømidler (Salminen m.fl., 2011).

I Sverige bruges geomembraner til at forsegle grøfter når veje krydser sårbare områder (Amundsen 2010). Her er valg af tømidler også undersøgt med henblik på at reducere støvproblemer i vinterhalvåret, da vejsalt kan bidrage til øget dannelse af luftbårne små partikler (PM10) (Gustafsson m.fl. 2010).

I USA og Canada benytter man CMA og KAc som alternative tømidler. I USA er der udarbejdet et generelt koncept for valg af tømidler, hvor pris, virkningsgrad, miljøfaktorer og tæring kan vægtes ud fra de lokale forhold og ønsker (NCHRP, 2007). Denne rapport indeholder en stor mængde information om virkning og egenskaber for de forskellige salt-typer og de acetat-baserede alternativer. Endvidere er de forskellige tømidler ranglistet for en lang række faktorer som kan anvendes også under danske forhold.

De udenlandske erfaringer viser at der er stor forskel på hvor høje kloridkoncentrationer der tolereres i grundvandet. De viser også at der findes en lang række tiltag der kan benyttes til at

håndtere risikoen for øget saltindhold i grundvandet. Disse vil alle i større eller mindre grad kunne benyttes i Danmark.

# 8. Risikovurdering

Grundvand indtil 80 m under terræn kan i Danmark være påvirket af vejsalt, hvor påvirkningen især ses indtil ca. 30-40 m under terræn, mens de dybeste konstaterede tilfælde sandsynligvis skyldes utætte eller fejlkonstruerede borer (Kristiansen m.fl., 2009; bl.a. appendiks A og B). Da klorid ikke nedbrydes eller bindes i nogen væsentlig grad til jord, bliver de øvre grundvandsmagasiner lokalt påvirket af høje kloridkoncentrationer i nærheden af større veje. Veje kan således ses som linjekilder til klorid i grundvandet. Betragter man forureningen i en større skala, kan byudviklingsområder ses som punktkilder i forhold til grundvandsmagasiner.

En vurdering af påvirkningen af vejsalt på grundvandet kan således ske både på en lokal skala, hvor den gennemsnitlige koncentration i grundvandsdannelse fra byudviklingsområder eller eksisterende byområder bliver vurderet, og på en større skala i forhold til, hvorvidt væsentlige dele af grundvandsmagasiner bliver påvirket.

## 1.6 Påvirkning lokalt

Den gennemsnitlige lokale påvirkning fra udspredding af tømidler på veje kan vurderes ud fra en massebalance tilgang, hvor de afgørende faktorer er:

- Samlet forbrug af vejsalt/tømidler
- Tab til miljøet (grundvand og overfladeafstrømning, men ikke dræn og kloak)
- Fortyndingen i oplandet
- 

For organiske tømidler er der yderligere en vigtig faktor:

- Nedbrydning før tømidlet når grundvandet

### 1.6.1 Påvirkning lokalt ved brug af vejsalt

Et groft overslag over påvirkningen af et grundvandsmagasin kan fås ved en simpel masseberegning:

$$C = F \cdot V \cdot T \cdot 0,6 \text{ g Cl/g salt} / (N \cdot A \cdot 100) \quad [1]$$

hvor  $C$  er koncentration i grundvand dannet i området (mg/L),  $F$  er det forventede forbrug (g salt/m<sup>2</sup> saltet areal/år),  $V$  er det saltede areal i området (m<sup>2</sup>, vej, parkering, fortov og stier),  $T$  er en antaget tabsprocent til miljøet (%), grundvand og overfladeafstrømning),  $N$  er nedsivningspotentiale (m/år) dvs. nettonedbør korrigeret for vand opsamlet i kloak og dræn, og  $A$  er områdets totale areal (m<sup>2</sup>).

Forbrug af vejsalt på veje afhænger af hvilket service-niveau der er defineret for vejen, og således hvilken vejklasse vejen tilhører. Forbruget af vejsalt på statsveje er ca. 1,5 til 3 kg pr. m<sup>2</sup> vej pr. år, og på kommuneveje ca. 0,6 til 1,75 kg pr. m<sup>2</sup> vej pr. år (Kristiansen m.fl., 2009). Hertil kommer det private forbrug, som tidligere har været estimeret til på landsplan at svare til ca. 10 % af det offentlige forbrug (Hjuler m.fl., 2007).

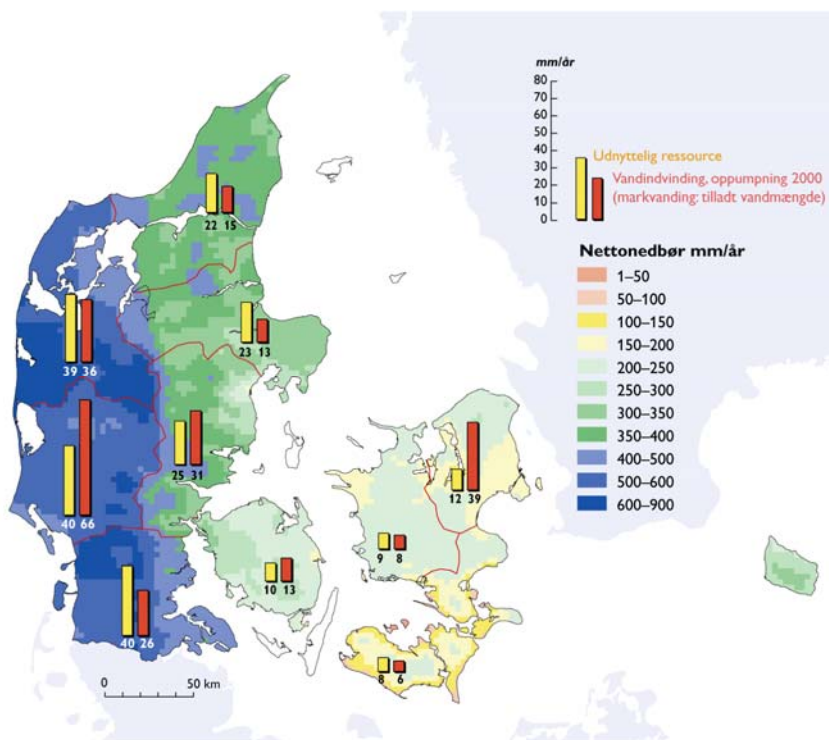
I tabel 4 er der vist scenarier for forskellige typer af områder ud fra massebalance-beregninger. Der er benyttet et interval for forbruget på 0,6 til 1,75 kg pr. m<sup>2</sup> vej pr. år til at vise variationen i tilførsel af vejsalt. Befæstelsesgraden for tæt by er antaget til at være 80 % og for villaområder 60 %, med

halvdelen som vintervedligeholdte arealer (vej, parkering og fortov/sti) (dvs. V/A bliver 40 % og 30 % for hhv. tæt by og villaområder). Hvis det areal, der benyttes i forbindelse med masseberegninger, inkluderer parkeringspladser, fortove og stier kan det betragtes som et worst-case scenarie. Det skyldes at den samme mængde vejsaltnings vil blive antaget på alle vejsaltede overflader. Det privates forbrug bliver dermed formentlig en smule overvurderet i estimatet.

De antagede tabsprocenter kan ses i tabel 4. De er dog behæftet med stor usikkerhed. I scenarierne antages, at der tabes mere salt til miljøet i villa-områder end i tæt by. Det skyldes at det salt, der bliver spredt væk fra veje, typisk vil have større mulighed for at lande på gennemtrængelige overflader i villaområder end i byer, hvor en meget stor del af vejvand opsamles i kloak. Derudover er flere af de befæstede overflader i byer delvis gennemtrængelige såsom indkørsler og flisearealer.

Nettonedbøren i Danmark kan ses i figur 2. For at illustrere forskellen på områder med høj nettonedbør (Vestjylland) og områder med lav nettonedbør (Sjælland), er der lavet scenarier med nettonedbør på hhv. 500 og 200 mm. I by og villa-områder, hvor der er kloakkeret eller drænet, er det på Sjælland antaget at nedsvinningspotentialer er 100 mm og i Jylland, at det er 250 mm dvs. at 50 % af regnvandet ledes til renseanlæg eller via vejdræn til overfladerecipienter.

I TABEL 4 er der også vist scenarier for lokal afledning af regnvand i villaområder ved nedsvivning. Der er antaget et tab på 100 %. Da nedsvivning vil øge grundvandsdannelsen er der brugt et højere nedsvivningspotentialer end nettonedbøren. Nedsvivningspotentialer ved LAR er udregnet ud fra antagelsen om at 90% af nedbøren der lander på tage og veje (800 mm i Jylland og 600 mm på Sjælland) kan nedsvives, mens der for grønne områder kan nedsvives hvad der svarer til nettonedbøren.



FIGUR 2  
NETTONEDBØR, UDNYTTETIG VANDRESSOURCE OG VANDINDVINDING FOR ÅR 2000 (GEUS, 2005)

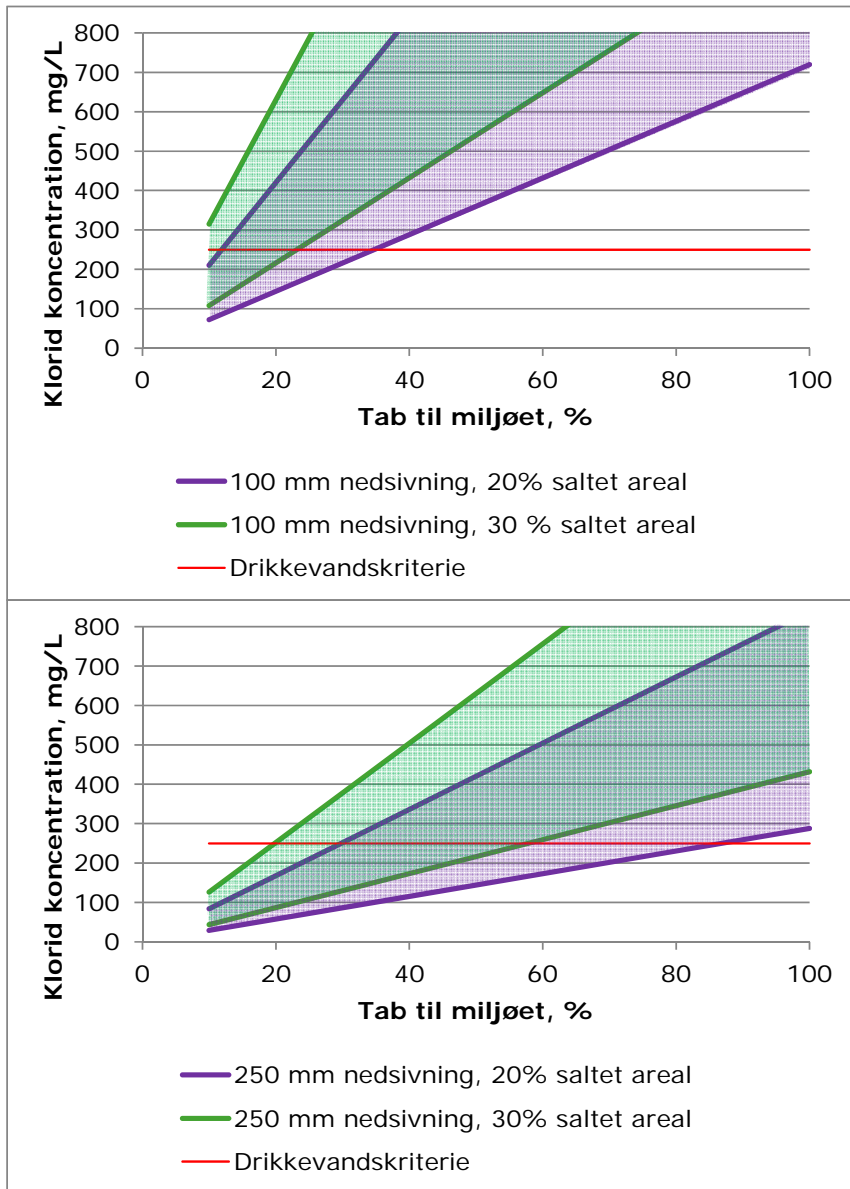
TABEL 4

KONCENTRATION AF KLORID I NEDSIVENDE GRUNDVAND VED FORSKELLIGE SCENARIER OG ET FORBRUGSINTERVAL PÅ 0,6 TIL 1,75 KG PR. M<sup>2</sup> VEJ PR. ÅR.

	V / A %	Tab %	Nedsivnings- potentiale mm	Nedsivende klorid- koncentration mg/L
<b>Tæt by</b>	40	20	250	120-340
<b>Tæt by</b>	40	20	100	290-840
<b>Villaområde</b>	30	30	250	130-380
<b>Villaområde</b>	30	30	100	320-950
<b>Landområde m. vejdræn</b>	5	60	500	22-63
<b>Landområde m. vejdræn</b>	5	60	200	54-160
<b>Landområde u. vejdræn</b>	5	100	500	36-110
<b>Landområde u. vejdræn</b>	5	100	200	90-260
<b>Nedsivning i villaområde</b>	30	100	630	170-500
<b>Nedsivning i villaområde</b>	30	100	400	270-790

Resultaterne af scenarierne i tabel 4 kan sammenlignes med drikkevandskriteriet på 250 mg/L, når en baggrundskoncentration i grundvand på ca. 30 mg/L er trukket fra (dvs. koncentrationsstigningerne må ikke overskride 220 mg/L). Her skal igen bemærkes, at der kan være andre kloridkilder end vejsalt som inkl. en rimelig usikkerhedsmargin også skal medregnes. Beregningerne i tabel 4 illustrerer dog klart, at nettonedbøren er væsentlig for, hvorvidt indholdet af klorid i grundvandet bliver kritisk høj. De viser også, at der i mange af scenarierne ikke er tale om store marginer for om koncentrationerne bliver for høje eller ej. Det betyder, at indsatser for at nedbringe saltmængderne (f.eks. fra den øvre til den nedre del af intervallet), kan være afgørende for grundvandet. Det skal bemærkes at grundvandsdannelsen til de dybe magasiner er væsentlig mindre end "nedsivningspotentialet", og at terrænnær gennemstrømning vil føre både vand og klorid til recipienter. Dette er ikke medtaget i disse beregninger, da der her estimeres hvilke koncentrationer der dannes i oplandet og ikke massen der føres til de dybe magasiner.

Da tabsprocenten er en meget usikker parameter i masseberegningen, er i figur 3 vist sammenhængen mellem den tilførte koncentration til grundvandet som funktion af tab til miljøet. Øverste figur viser koncentrationen ved et nedsivningspotentiale på 100 mm (eks. på Sjælland), og nederste figur viser koncentrationen ved et nedsivningspotentiale på 250 mm (eks. i Jylland). Der er vist to forskellige intervaller, ét med et saltet areal på 20 % og et forbrug på 0,6 – 1,75 kg/m<sup>2</sup>/år og ét med et areal på 30 % og samme forbrugsinterval. Dermed illustreres hvilken effekt det kan have at mindske forbruget, befæstelsesgraden eller det saltede areal i byudviklingsområder. På figuren ses, at det kun er ved et lavt forbrug samtidig med et lavt tab, at koncentrationen af salt i grundvand dannet i villaområder vil være under drikkevandskvalitetskriteriet.



FIGUR 3  
TILFØRT KONCENTRATION AF KLORID TIL GRUNDVANDET SOM FUNKTION AF TABSPROCENT. FIGUREN VISER, FOR ET SALTET AREAL PÅ 20 % OG 30 %, KONCENTRATIONEN VED ET FORBRUG PÅ 1,75 KG/M<sup>2</sup>/ÅR (ØVERSTE LINJE) OG 0,6 KG/M<sup>2</sup>/ÅR (NEDERSTE LINJE) SVARENDE TIL INTERVALLET FOR FORBRUG AF VEJSALT PÅ KOMMUNEVEJE I DANMARK. NEDSIVNINGSPOTENTIALET ER ANTAGET 100 MM PÅ SJÆLLAND OG 250 MM I JYLLAND.

På baggrund af masseberegningerne anbefales det derfor

1. at mindske saltforbruget mest muligt i byudviklinger i OSD og indvindingsoplande
2. at der i OSD og indvindingsoplande med lav nettonedbør/ nedsivningspotentiale (eks. Sjælland) tilstræbes et meget lavt saltforbrug i kombination med tiltag til at mindske tabet af salt og/eller øgning af grundvandsdannelse ved nedsivning af tagvand.
3. at der benyttes alternative organiske tømidler hvis krav til glatførebekæmpelse medfører at saltforbruget ikke kan holdes lavt nok i OSD og indvindingsoplande med lav nettonedbør/ nedsivning.

I forhold til ønsket om lokal afledning af regnvand (LAR) med øget fokus på nedsivning af regnvand i f.eks. villaområder ses det i scenarierne i tabel 4, at risikoen for høje lokale gennemsnitlige



koncentrationsstigninger er betydelig. Dermed kan vejsaltning blive afgørende for omfanget af den nedsivning af vejvand, der kan tillades af hensyn til vandforsyningsinteresser.

Der er for et område på 10 ha i Gladsaxe blevet lavet en massebalance for koncentrationen af klorid i grundvand ved nedsivning af vejvand til grundvandet (Larsen, pers. komm., 2012). I dette område er 23 % af arealet veje og parkering (total befæstelse på 44 %), og vejsaltforbruget er 0,5 kg/m<sup>2</sup>/år (på stier 0,2 kg/m<sup>2</sup>/år). I massebalancen antages en nedsivning af 213 mm fra grønne arealer, 613 mm fra tagflader og 582 mm fra vej, sti og parkering. Dette giver en beregnet kloridkoncentration på 179 mg/L i grundvandet (Larsen, pers. komm., 2012). I dette konkrete eksempel gør det lave saltforbrug at koncentrationen af klorid ikke overstiger drikkevandskriteriet selv om nedsivningen af vejvandet bevirker en væsentlig stigning af kloridindholdet i grundvandet.

### **1.6.2 Påvirkning lokalt ved brug af organiske tømidler**

Risikoen for grundvandet ved brug af organiske tømidler er forurening af grundvandet med let nedbrydeligt organisk stof, hvis ikke acetat og formiat når at blive nedbrudt inden det når grundvandet. De eksisterende undersøgelser tyder på, at KFo ikke udgør nogen risiko for grundvandet, hvis det nedsives gennem en biologisk aktiv overjord med >2 m til grundvandsspejlet. Det anbefales, at sikre så stort nedsivningsareal som muligt. Det kan ikke anbefales at nedsive organiske tømidler gennem faskiner, da det ikke er undersøgt hvorvidt en tilstrækkelig nedbrydning i så fald kan opnås. Da CMA er mere iltforbrugende end KFo, kan konklusionen ikke overføres til CMA.

Hvis afstrømningen ledes til overfladevand, udgør den ikke nogen risiko for grundvandet, men kan skabe iltsvind i recipienten. Det anbefales derfor på linje med anbefalingerne fra NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) i USA, at udledning til recipient sker via en vegetationsbuffer og med en fortynding af vejvandet på mere end 100:1.

### **1.7 Påvirkning af grundvandsmagasiner**

Litteraturen viser at grundvandsmagasiner kan blive uegnede til indvinding af drikkevand ved en samlet påvirkning fra vejsalt, residuelt salt grundvand, og havvandsindtrængning (Kristiansen m.fl., 2009). Det er imidlertid meget få boringer i Danmark, der er påvirket af vejsalt i en sådan grad at kvalitetskriteriet for drikkevand overskrides (Kristiansen, 2009).

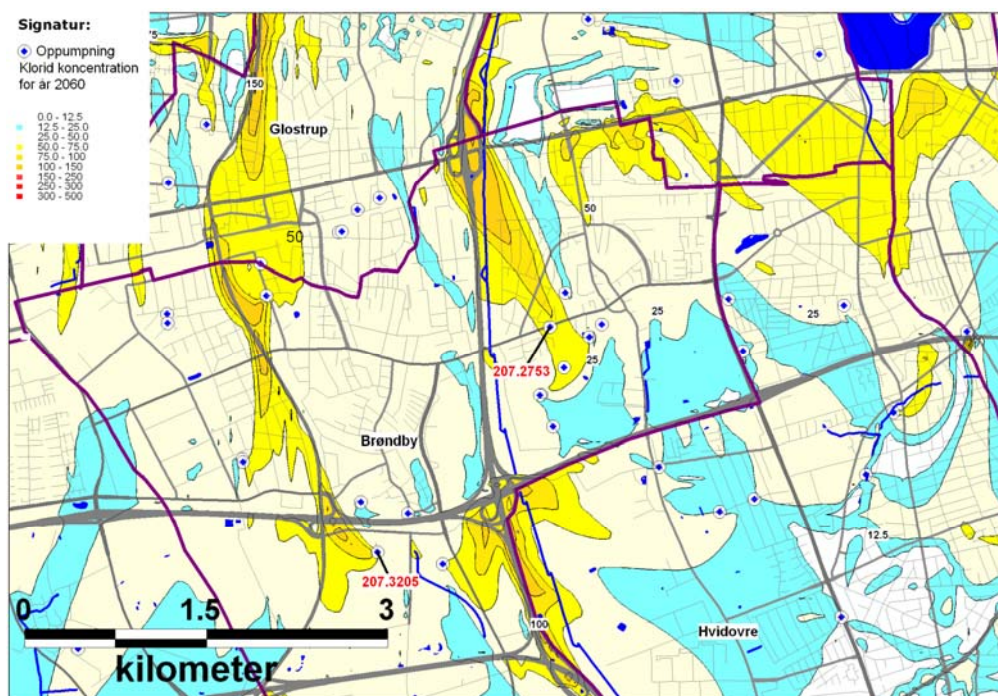
De ovenstående scenarier for lokal påvirkning er forenkede overslagsberegninger, hvor det antages, at der er opblanding af grundvandet indenfor det specificerede område, og hvor der er gjort en meget forenklet antagelse om nedsivningsmængderne.

Skal risikoen for grundvandsmagasiner vurderes på større skala (ikke kun risikoen for at en enkelt boring tæt på området overskrider kriteriet), skal vejsaltforbruget i hele det grundvanddannende opland til det definerede grundvandsmagasin opgøres og vurderes.

I forbindelse med den nationale grundvandskortlægning vil der i perioden indtil udgangen af 2015 blive fremstillet kort med bl.a. grundvanddannende oplande til kildepladser og grundvanddannelse til grundvandsmagasiner i OSD og indvindingsoplande. Disse kan konsulteres i forbindelse med tilladelser til byudvikling med henblik på at vurdere den samlede belastning på de aktuelle kildepladser og OSD og indvindingsoplande.

Med anvendelsen af oplandsbegrebet skal understreges at strømningsforholdene i grundvandet er 3 dimensionale. Glatførebekæmpelsen på overfladen kan derfor som udgangspunkt ikke antages at påvirke grundvandsmagasinerne umiddelbart under udledningspunktet. Eksisterende byområder og veje uden for OSD og indvindingsoplande kan derfor principielt godt udgøre en trussel mod grundvandsmagasiner i OSD og indvindingsoplande afhængig af lokale strømningsforhold.

Er der tvivl om, hvorvidt et grundvandsmagasin er eller vil blive truet af nedsivende salt, vil det være en god ide at bruge en hydrologisk model til at lave en risikovurdering. Ved at opstille modeller med stoftransport svarende til dem der er opstillet af Bester m.fl. (2006) og Hjuler m.fl. (2007) kan saltkoncentrationen vurderes, ikke bare i de vandforsyningsboringer der er i området, men i hele grundvandsmagasinet. Derudover kan saltindhold fra eksisterende byer og veje vurderes, og effekten af en evt. byudvikling kan kvantificeres i forhold hertil. Et eksempel på dette ses i figur 4, hvor den større nedsivning af klorid fra store veje og især større vejkryds ses, mens de lave koncentrationer fra villakvarterer og lokal mangel på grundvandsdannelse også ses (Kristiansen et al., 2009).



FIGUR 4  
KLORIDKONCENTRATION FORÅRSAGET AF VEJSALT I DET PRIMÆRE MAGASIN VED LIGEVÆGTSKONCENTRATION I GRUNDVANDET (HER EFTER CA. 50 ÅR). SIMULERINGEN ER MED ET TAB PÅ 15 % AF VEJSALTSFORBRUGET TIL GRUNDVANDET, OG HVIS TABSPROCENTEN FX ER DOBBELT SÅ STOR, BLIVER KLORIDKONCENTRATIONEN I GRUNDVANDET LIGELEDNES FORDOBLET (KRISTIANSEN ET AL., 2009).

## 1.8 Anbefaling til håndtering af byudviklingsområder

Det anbefales, at risikoen ved vejsaltning vurderes ud fra hver enkelt ansøgning om byudvikling, således at den lokale befæstelsesgrad, forventede saltningsmængde, ønsker om lokal afledning af regnvand og det reelle grundvandsdannende areal kan tages med i vurderingen. Derudover skal det, for byudvikling i OSD og indvindingsoplande, vurderes, om området er truet af andre kilder til klorid såsom havvandsindtrængning eller residualt salt grundvand (og hvor stor truslen er), da nedsivning af vejsalt i teorien kan blive den afgørende faktor. Vurderingen kan derfor foretages i fire skridt:

### 1. Den tilladelige klorid-indhold fra byudviklingen vurderes.

Det skal vurderes, hvad baggrundskoncentrationen er, om der er andre saltkilder, optrængning af residualt saltvand eller saltvandsindtrængning nær havet og hvorvidt byudviklingen planlægges inden for eller tæt på OSD, eller om der ikke er særlige krav til saltindhold.

## **2. Det vurderes, hvorvidt den tilladelige koncentration kan overholdes lokalt og på grundvandmagasin-niveau.**

Vurderingen af koncentrationen på lokalt plan, kan gøres vha. simple masseberegninger som i TABEL 4 og FIGUR 3. Disse masseberegninger viser gennemsnitskoncentrationer i grundvand dannet i et byudviklingsområde. Den nuværende og planlagte belastning af grundvandsmagasinet på regionalt niveau kan vurderes ud fra den samme slags masseberegninger (formel 1), hvor den tilførte koncentration fra homogene del-områder i det grundvandsdannende opland vægtes.

## **3. Hydrogeologisk modellering med stoftransport.**

Hvis der er tvivl om, hvorvidt kloridindholdet lokalt eller regionalt kan overholdes, kan hydrogeologisk modellering kombineret med en stoftransportmodel benyttes. Dette vil kunne mindske usikkerhederne omkring den aktuelle nedsivning fra området, og sårbare områder vil kunne udpeges.

## **4. Byplanlægningen redefineres ud fra vurderingerne**

Strategi for glatførebekæmpelse og/eller krav til infrastrukturen i et nyt område kan derefter defineres. F.eks. kan man specificere:

- Krav til serviceniveau for vintervedligeholdelse af veje i området
- Krav om at nedsivning af salt vand undgås
- Der anvendes organiske tømidler
- Vejkantsopsamling af regnvand fra større veje
- Forsegling af grøfter ved større veje

Det skal her bemærkes, at ovenstående, foreslåede fremgangsmåde de facto er en udpegning af "Vejsaltssårbare områder," hvor nedsivende vejsalt i særligt høj grad kan påvirke grundvandsressourcen negativt. Dette kan være nyttigt for kommunen at vurdere, når den lokale løsning skal besluttes.

Hvis nedsivning ønskes i et OSD og indvindingsoplande, kan der foreslås forskellige løsninger. For det første kan det være en løsning udelukkende at nedsive tagvand, der ikke indeholder salt i større mængder. Det vil medføre en øget grundvandsdannelse i området og dermed også en øget fortynding. I områder hvor det er væsentligt med mere grundvandsdannelse kan en løsning være at nedsive vand fra tage og fra mindre veje, men at kloakkere større veje.

Albertslund og Vallensbæk kommune vurderer at 2/3 af deres forbrug af vejsalt bliver spredt på veje af vejklasse I (store veje) og 1/3 på veje af vejklasse II (mindre veje) (ved opdeling i 2 vejklasser) (Kristiansen m.fl., 2009). Byudviklingsområder består typisk af enkelte større veje ind til området, mens størstedelen af vejarealet vil være veje med lille trafikbelastning og et lavere service-niveau.

Hvis det antages at vejvand fra veje med vejklasse I ledes til kloak (svarende til vejklasse 1 - 2 hvis Vejdirektoratets vejinddeling benyttes), så kan den nedre grænse for vejsaltforbrug på kommuneveje ( $0,6 \text{ kg/m}^2/\text{år}$ ) tages som et worst-case forbrug på saltede arealer. Dette vil betyde at koncentrationen af klorid kan holdes under kvalitetskriteriet nogle steder i Jylland, hvor nettonedbøren er høj. På Sjælland vil det derimod ofte ikke være nok, hvis der ses på overordnede massebalancer. Her kan organiske tømidler benyttes som alternativ (se afsnit 8.1.2). En anden mulighed ved nedsivning er en teknisk løsning med et spjæld, der enten manuelt eller automatisk vha. f.eks. en ledningsevne måler, kan lede salt vand i kloakken, mens fersk vand ledes til nedsivning.

# 9. Anbefaling til undersøgelser og teknologiudvikling

Nedenstående anbefalinger gælder for undersøgelser i byudviklingsområder. Hvis udvaskning af vejsalt fra eksisterende byområder skal evalueres kan det komme på tale, at lave supplerende undersøgelser som også kort berøres.

Der er på nuværende tidspunkt kun begrænset kvantitativ viden om tabsprocenter for salt ved forskellige typer af veje i byområder. De undersøgelser, hvor tab af salt til omgivelserne er målt, omhandler typisk større veje og motorveje (Polmit, 2002; Lundmark og Olofsson, 2007). Undersøgelser af hvor meget vejsalt der tabes til miljøet og grundvandet fra mindre befærdede danske veje, vil skabe en stor forbedring mht. de usikkerheder, der knytter sig til risikovurderingen af tømидlers påvirkning af grundvandsressourcen. Mindre veje adskiller sig fra store veje og motorveje ved at vandet i mange tilfælde bliver opsamlet ved kantstenen og ikke løber ned i en grøft. Derudover er bilernes hastighed væsentlig lavere med mindre sprøjt og dermed tab til omgivelserne til følge.

Et andet område, hvor der mangler viden, er variationen af forbrug i forhold til vejklasser. Da forskellige vejklasser har forskellige servicemål, vil der være stor variation i saltforbruget afhængig af vejklassen. Dette er en relativ simpel undersøgelse, der ikke kræver andet, end at vejafdelingerne i en eller flere kommuner registrerer deres vejsaltning.

Der mangler også viden om privates forbrug og især tabet heraf. F.eks. vides det ikke om industriområder og andet erhverv bruger mere vejsalt end private husholdninger, og hvor stort et tab til miljøet, der er fra denne saltning.

Ovenstående forhold kan undersøges vha. monitoring og indsamling af data fra en række kilder så der samlet kan laves en klorid massebalance for typiske typer af byudviklingsområder, f.eks. villakvarter og industriområde. Dette kan f.eks. ske i en 2-3 års periode vha.:

1. kvantificering af tilført mængde klorid som hhv. atmosfærisk deposition, offentligt vejsaltsforbrug, privates vejsaltsforbrug og evt. diffuse kilder som nedsvivning af det vejsalt som sidder på biler, punktforureningskilder som gamle losseplader, og bidrag som er betinget af geologien eller indvindingen af grundvand,
2. monitoring af kloridindhold, ledningsevne og mængder af spildevand, som ledes bort fra området,
3. monitoring af kloridindhold, ledningsevne og mængder fra regnvandsbassiner og overfladerecipienter der leder vand væk,
4. monitoring af kloridindhold, ledningsevne i nydannet grundvand, samt dens absolutte størrelse vha. observationsboringer nedstrøms og præcise vandbalanceberegninger

Supplerende undersøgelser i Storkøbenhavn kan overvejes, da Hjuler et al. (2007) og Kristiansen et al. (2009) fandt indikationer på, at kloridindholdet i dele af Storkøbenhavns grundvand er stigende,

og at det ikke kan udelukkes, at stigningen ikke er ophørt. Nedenfor er en liste med forslag til undersøgelser, som vil kunne bidrage til at udrede i hvilket omfang hhv. vejsalt og klorid fra dybere geologiske lag spiller en rolle for fremtidens grundvandsressource og vandforsyning på Østsjælland, herunder:

1. at udføre en række undersøgelser som supplerende dybe boringer,
2. niveaubestemte vandprøver,
3. borehulslogging fra udvalgte grundvandsboringer,
4. målinger af kloridindhold i områdets åer,
5. sammenfatning af data med kloridindhold i områdets rensningsanlæg,
6. identifikation af punktkilder som lossepladse, snedepoter, private saltdepoter, o.l.,
7. bedre kendskab til offentlige og privates forbrug af vejsalt via spørgeskemaundersøgelser og interviews,
8. analyser af klorid under veje/befæstede arealer for at kvantificere hvor der trænger klorid igennem befæstelsen,
9. udtagning af vand- og jordprøver i flere nye boring (til 20 m.u.t.), for at analysere den aktuelle trussel,
10. en dynamisk grundvandsmodellering med deltaljeret kildestyrkemodel,

Ovenstående forslag er ikke udtømmende.

I Danmark bliver teknologiudviklingen på området omkring vejsaltning i stort omfang varetaget af Vejdirektoratet, med en række projekter som beskrevet i kapitel 3. Der arbejdes også tæt sammen med de tilsvarende instanser i de andre Nordiske lande, omkring teknologiudvikling.

Teknologiudvikling, der kan forbedre den mekaniske fjernelse af sne, vil være effektiv i forhold til at beskytte grundvandet.

En anden mulighed for teknologiudvikling er, som også tidligere nævnt, at finde en teknisk løsning med et spjæld, der enten manuelt eller automatisk vha. f.eks. en ledningsevne måler, kan lede salt vand i kloakken, mens fersk vand ledes til nedsivning.

# 10. Konklusion

Brug af vejsalt er en kilde til forhøjet kloridindhold i grundvandet. I byområder er der risiko for gennemsnitskoncentrationer over drikkevandskriteriet på 250 mg/L i grundvand dannet lokalt. Generelt opstår der dog ikke problemer i områder med meget lav befæstelsesgrad (f.eks. 5 % saltet areal), og i Jylland gør den større nettonedbør og nedsivning det langt lettere at overholde kriterierne.

Pga. opblanding over større områder, er der kun i få tilfælde i grundvandsovervågningen set kloridkoncentrationer, der pga. vejsaltning overstiger drikkevandskriteriet (Kristiansen m.fl., 2009). Dog kan det medføre overskridelse af kvalitetskriteriet for drikkevand for klorid, hvis mere end ca. 10-20 % af vejsaltsforbruget tabes til grundvandet i Østdanmark.

En løsning, hvor regnvand fra veje nedsives, medfører både en større grundvandsdannelse, men potentielt også et langt større tab af klorid til grundvandet. Omfanget af vejsaltning bør derfor være en del af beslutningsgrundlaget, når LAR-løsninger planlægges inden for områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD).

Ved byudvikling inden for OSD og indvindingsoplande bør følgende forhold undersøges:

- Vejareal, vejopbygning og dræningsforhold
- Nærliggende recipienter og deres sårbarhed samt nedsivningsforhold/ønsker, herunder lokal nedsivning af regnvand (LAR)
- Ønsker for vintervedligeholdelse (forventet forbrug af vejsalt)
- Infiltration og nedbørsforhold
- Strømningsveje i grundvandet i området
- Kloridindhold i grundvandsmagasinerne i området og andre kilder til klorid end vejsalt

Ud fra disse forhold kan en risikovurdering foretages i hvert enkelt tilfælde på lokalt og regionalt plan, og man kan ved byplanlægningen tage de nødvendige hensyn, hvis der viser sig at være problemer. Der er altså tale om en identifikation af vejsaltssårbare områder.

Forventer man eksempelvis i et byudviklingsområde, som identificeres som vejsaltssårbart, et højt serviceniveau på glatførebekæmpelsen med hyppig brug af salt, kan det være nødvendigt at aflede saltholdigt vand til kloak eller recipient, mindske forbruget via tekniske tiltag eller at erstatte vejsalt med et organisk tømiddel. Er der samtidig et ønske om eller krav til en høj grad af nedsivning af hensyn til grundvandsdannelsen, kan en løsning være nedsivning af tagvand og bortledning af vejvand, sæsonbetiget nedsivning af vejvand eller, hvis alt vandet ønskes nedsivet, brug af organiske tømidler.

Brug af alternative salte i stedet for NaCl, kan have fordele driftsmæssigt, men de har ikke miljømæssige fordele da de også indeholder klorid.

# 11. Referencer

Amundsen, C.E., Håland, S., French, H., Roseth, R., Kitterød, N.-O., Pedersen, P.A., og Riise, G., (2010) Salt SMART, Environmental damages caused by road salt – a literature review. Technology department, Report no. 2587 (English version of report no. 2535 from 2008).  
<http://www.vegvesen.no/Fag/Fokusomrader/Forskning+og+utvikling/SaltSMART/Rapporter/Rapporter+og+arbejdsnotater>

Aarhus Lufthavn 2011. Miljøregnskab Aarhus Lufthavn A/S 2011.  
<http://www.aar.dk/filer/dokumenter/Download/Regnskaber/Miljoeregnskab2011.pdf>

Bester, M. L., Frind, E.O., Molson, J.W. og Rudolph, D.L. (2006). Numerical investigation of road salt impact on an urban wellfield. *Ground Water* 44 (2): 165-175.

Blomqvist, G., Norrström, A.-C. og Thunqvist, E.-L. (2001). Miljøproblem vid drift och underhåll av vägar. Forskningsrapport, TRITA-AMI rapport 3083, Avdelningen för Mark- og Vattenresurser, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm.

Brenner, M.V. og Horner, R.R. (1992). Effects of calcium magnesium acetate (CMA) on dissolved oxygen in natural waters. *Resources, Conservation and Recycling*, 7 (1992), 239-265.

Bækken, T. og Haugen, T. (2006). Kjemisk tilstand i vegnære innsjøer. Vegdirektoratet, Oslo, Norge, Vegdirektoratet, Utbyggingsavdelingen, og Veg- og trafikkavdelingen. Rapport utbyggingsavdelingen nr. UTB 200/06: 1-92.

Bækken, T. og Haugen, T. (2012). Vegsalt og tungmetaller i innsjøer lang veger i sør-Norge 2010. Statens Vegvesen, Vegdirektoratet, Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen, Miljøseksjonen, VD rapport nr. 50.

Carlson, B.B., Nielsen, M.Æ. Bjerg, P.L, Christensen T. H og J.K. Petersen (1998). Vejsalt genfindes i høje koncentrationer i grundvandet. *Stads & Havneingeniøren*, 3: 32-36.

Eram, Michel (2012). Integreret Vinterudvikling. Præsentation af vinterprojekter som administreres af Vejdirektoratet og Vinterudvalget. Tilsendt fra Michel Eram, seniorkonsulent i Vejdirektoratet.

Furesø Kommune (2012). Vejsalt gør livet svært for byens træer. Notat. Christina Kastrup Madsen.  
[http://www.furesoe.dk/kommunen/klimanaturmiljoe/natur/~/\\_media/92ed6dd0b5244c649cd8c1c9fd3acb43.ashx](http://www.furesoe.dk/kommunen/klimanaturmiljoe/natur/~/_media/92ed6dd0b5244c649cd8c1c9fd3acb43.ashx)

GEUS (2005), Grundvand 2004, Status og udvikling 1989 – 2004. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. [www.grundvandsovervaagning.dk](http://www.grundvandsovervaagning.dk)

Gustafsson, A. og Gabrielsson, G. (2009). Vinterdrift, Sockerprodukter i kombination med salt. Vägverket i Sverige.

Gustafsson, M., Blomqvist, G., Ferm, M. og Gruhs, P. (2010). Comparison of four dust-binding agents to reduce PM<sub>10</sub> emissions from paved roads. The Swedish National Road and Transport

Research Institute (VTI). [http://gpc.slb.nu/register/wp-content/uploads/2010/05/Gustafsson\\_Ferm\\_Blomqvist\\_Gruhs.pdf](http://gpc.slb.nu/register/wp-content/uploads/2010/05/Gustafsson_Ferm_Blomqvist_Gruhs.pdf)

Hanslin, H.M. (2011). Short-term effects of alternative de-icing chemicals on tree sapling performance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10 (1), s. 53-59.

Hellstén, P. P., Kivimäki, A.-L., Miettinen, I. T., Mäkinen, R. P., Salminen, J. M. og Nystén, T. H. (2005a). Degradation of potassium formate in the unsaturated zone of a sandy aquifer. *Journal of Environmental Quality* 34(5): 1665-1671.

Hellstén, P. P., Salminen, J. M., Jørgensen, K.S. og Nystén, T.H. (2005b) Use of Potassium Formate in Road Winter Deicing Can Reduce Groundwater Deterioration. *Environmental Science and Technology* 39 (13), pp 5095–5100.

Hemmingsen, Trine (2012). Sidder i 'Tømiddelgruppen', et udvalg under vinterudvalget i Vejdirektoratet. Personlig kommunikation 1/11-2012.

Holen, Å. (2010). Salt SMART: Alternative kemikalier og tilsetningsstoffer til natriumklorid - en litteraturgennemgang. Statens vegvesen, Teknologifdelingen, rapport nr. 2593.  
<http://www.vegvesen.no/Fag/Fokusomrader/Forskning+og+utvikling/SaltSMART/Rapporter/Rapporter+og+arbejdsnotater>

Howard, K. W. F. og Maier, H. (2008). Road de-icing salt as a potential constraint on urban growth in the Greater Toronto Area, Canada. *Journal of Contaminant Hydrology* 91 146-170.

Hjuler, H., Wernberg, T., Bering, J.B. og Ramsay, L. (2007). Vurdering af risikoen for kloridpåvirkning af grundvandet, Frederiksberg kommune. Frederiksberg, Frederiksberg kommune & Watertech: 1-41.

Kelly, W.R., Panno, S.V. og Hackley, K.C. (2012). Impacts of road salt runoff on water quality of the Chicago, Illinois, region. *Environmental and Engineering Geoscience*, 18 (1), 65-81.

Kjølholt, J., Poll, C. og Jensen, F.K. (1997). Miljøfremmede stoffer i overfladeafstrømning fra befæstede arealer. København, Miljøstyrelsen. Miljøprojekt 355, 1-103.

Kristensen, E.A., Skriver, J. og Ovesen, N.B. (2009). Kortlægning af ferskvandsorganismers økologiske tælgrensere for Natriumklorid (NaCl). Faglig redegørelse fra DMU.

Kristensen, C. K., (2011). Grund- og overfladevandsrapport. 2010-2011. Billund Lufthavn. Rapporten er udleveret af Billund Lufthavn.

Kristiansen, S.M., Christensen, F.D. og Hansen, B. (2009). Vurdering af danske grundvandsmagasiners sårbarhed overfor vejsalt. København, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS: 1-107.

Kristiansen, S.M., Christensen, F.D. og Hansen, B. (2011). Vejsalt i grundvandet. *Vand og Jord* 18, nr., 4-7.,

Larsen, Thomas, Orbicon. Personlig kommunikation (2012).

Linde, M., Oborn, I. og Gustafsson, J.P. (2007). Effects of changed soil conditions on the mobility of trace metals in moderately contaminated urban soils. *Water Air and Soil Pollution* 183 (1-4): 69-83.



Lundmark, A. og Olofsson, B., (2007). Chloride deposition and distribution in soils along deiced highway – assessment using different methods of measurement. *Water, Air & Soil Pollution* 182: 173-185.

NCHRP (2007). Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impacts. National cooperative highway research program NCHRP report 577, Transportation research board, Washington D.C.

NCHRP Project 25-25 (2004). Environmental Stewardship Practices, Procedures, and Policies for Highway Construction and Maintenance, Chapter 8 Winter Operations and Salt, Sand, and Chemical Management, The Center for Environmental Excellence by AASHTO.  
[http://environment.transportation.org/environmental\\_issues/construct\\_maint\\_prac/compendium/manual/8\\_1.aspx](http://environment.transportation.org/environmental_issues/construct_maint_prac/compendium/manual/8_1.aspx)

Norrstrom, A. C. (2005). Metal mobility by de-icing salt from an infiltration trench for highway runoff. *Applied Geochemistry* 20(10): 1907-1919.

Pedersen, L. B. og Ingerslev, M. (2007). Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen – litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med særlig henblik på jord og planter. Arbejdsrapport Skov & Landskab nr. 36 – 2007. Center for Skov, Landskab og Planlægning. 49 s.

Polmit (2002). Pollution of groundwater and soil by road and traffic sources: dispersal mechanisms, pathways and mitigation measures. Delivery D5 - pollution from roads and vehicles and dispersal to the local environment: Final report and handbook. EU project under the 4th framework program POLMIT RO-97-SC.1027 under 4. rammeprogram.: 1-60.

Rambøll (2012). Aarhus Lufthavn A/S Grundvandsovervågning 2011. Monitoringsrapport til Aarhus Lufthavn. Rapporten er kun tilgængelig ved henvendelse til Aarhus Lufthavn A/S.

Roseth, R. og Jakob, L. (2010). Salt SMART: Tiltakskatalog - Tekniske løsninger for håndtering av avrenningsvann med vegsalt. Teknologifdelingen, rapport nr. 2564.  
<http://www.vegvesen.no/Fag/Fokusomrader/Forskning+og+utvikling/SaltSMART/Rapporter/Rapporter+og+arbeidsnotater>

Salminen, J.M., Nystén, T.H. og Tuominen, S.M. (2011). Review of approaches to reducing adverse impacts of road deicing on groundwater in Finland. *Water quality research journal of Canada*, 46 (2), 166-173.

Sivertsen m.fl. (2012). Sluttrapport for etatsprogrammet Salt SMART. Vegdirektoratet. Trafikksikkerhet, Miljø- og Teknologifdelingen. Statens Vegvesens rapporter no. 92.  
<http://www.vegvesen.no/Fag/Fokusomrader/Forskning+og+utvikling/SaltSMART>

Sørensen, Kim, fagansvarlig for vintertjenesten, Center for Trafik, trafik og Miljøforvaltningen, Københavns kommune, personlig kommunikation, 2012

Vejdirektoratet (2006). Vejdrift - tømidler, sand og grus til glatførebekæmpelse. Vejregelrådet, Vegdirektoratet.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Kronvang, B. & Kjeldgaard, A. (2012). Vandløb 2011. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 32. <http://www.dmu.dk/Pub/SR32.pdf>

# 12. Projektorganisation

Projektet, der er finansieret af Naturstyrelsen, er gennemført i perioden 1.9.2012 til og med 14.12.2012.

Projektorganisationen har været:

Naturstyrelsens projektleder:

Hanne Vibeke Berg, Naturstyrelsen

Projektleder:

Frank Andreassen, Seniorrådgiver, Alectia

Projektmedarbejdere:

Heidi Birch, Rådgivende ingeniør, Alectia

Søren Munch Kristiansen, lektor, Aarhus Universitet

Michael Kristensen, Chefrådgiver, Alectia

Jan Jeppesen, Specialist, Alectia

Ole Kloster Jacobsen, Chefrådgiver, Alectia

Følgegruppe:

Hanne Vibeke Berg, Naturstyrelsen

Thomas Hansen, Naturstyrelsen

Trine Hartwig Hemmingsen, Vejdirektoratet

Michel Eram, Vejdirektoratet

Allan Pratt, Kommunernes Landsforening /Helsingør Kommune

Henning Clausen, Miljøstyrelsens kemikalieafdeling



Miljøministeriet  
Naturstyrelsen

Haraldsgade 53  
DK - 2100 København Ø  
Tlf.: (+45) 72 54 30 00

**[www.nst.dk](http://www.nst.dk)**