



**Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen
litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med særligt henblik på jord og planter**

Pedersen, Lars Bo; Ingerslev, Morten

Publication date:
2007

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Pedersen, L. B., & Ingerslev, M. (2007). *Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen: litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med særligt henblik på jord og planter*. Center for Skov, Landskab og Planlægning/Københavns Universitet. Arbejdsrapport Skov og Landskab Nr. 36



Skov & Landskab

Center for Skov,
Landskab og
Planlægning

Alternativer til vejssalt som tø- middel i glatførebekæmpelsen

*- litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med særligt
henblik på jord og planter*

Lars Bo Pedersen og Morten Ingerslev

Arbejdsrapport Skov og Landskab nr. 36-2007

Alternativer til vejsalt som tø- middel i glatførebekæmpelse

***- litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med
særligt henblik på jord og planter***

Lars Bo Pedersen og Morten Ingerslev



Rapportens titel

Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen

Forfatter

Lars Bo Pedersen og Morten Ingerslev

Udgiver

Skov & Landskab

Hørsholm Kongevej 11

2970 Hørsholm

Tlf. 3533 1500

www.sl.life.ku.dk

Serietitel

Arbejdsrapport *Skov & Landskab* nr. 36, 2007

Publiceret på www.SL.life.ku.dk

ISBN

ISBN 978-87-7903-321-4

Dtp

Melita Jørgensen

Bedes citeret

Lars Bo Pedersen og Morten Ingerslev: 2007: Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelse. Arbejdsrapport nr. 36, *Skov & Landskab*, Hørsholm, 2007. 49 s. ill.

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

I salgs- eller reklameøjemed er eftertryk og citering af rapporten samt anvendelse af *Skov & Landskabs* navn kun tilladt efter skriftlig tilladelse.

Skov & Landskab er et
selvstændigt center for
forskning, undervisning,
formidling og rådgivning
vedr. skov, landskab og
planlægning ved
Københavns Universitet

Forord

Vintertjenestens brug af vejsalt (natriumklorid, NaCl) i glatførebekæmpelsen har forbedret fremkommeligheden og trafikikkerheden markant på det danske vejnet. Brugen af vejsalt er samtidig forbundet med en række problemer, herunder svækkelse af beplantningers vækst, sundhed og udseende. Det er også velkendt, at vejsalt forringer buske og træers vækstvilkår ved at ødelægge jorden som vækstmedie, samt at vejsalt påvirker floraen og faunaen i både jord, vandløb og søer negativt. Samtidig er der på den nordlige halvkugle registreret flere tilfælde af forringet grundvands- og drikkevandskvalitet. Endelig kan vejsalt skade køretøjer, bygnings- og vejkonstruktioner.

Københavns Kommune ønsker at gøre kommunens vintertjeneste så miljøvenlig som muligt samt at forbedre trivslen og udseendet af de vejnære beplantninger. Set over de sidste 5 år har Københavns Kommune reduceret forbruget af vejsalt, som et resultat af en målrettet modernisering af sprededstyr, optimering af dosering i relation til aktuell og forventet vej- og vejrudvikling samt efteruddannelse af personale /35/. Saltforbruget er således faldet fra 20-30 g/m² i 1999 til 12-18 g/m² i 2003.

Københavns Kommune har også iværksat undersøgelser, der har tilvejebragt viden, som ud fra nutidens saltbelastning medvirker til den bedst mulige beskyttelse af træer og vækstmedie /31, 32, 33/, herunder metoder til etablering af saltværn og dokumentation for virkning af hævede rabatter. Til trods for en betydelig indsats inden for drift og pleje af de vejnære beplantninger, påvirkes beplantningerne stadig i betydeligt omfang af den saltning, der udføres i forbindelse med glatførebekæmpelsen /35/.

Ud over yderligere reduktion af saltforbruget /35/ ønsker Københavns Kommune at belyse mulighederne for flere forbedringer på området. Københavns Kommune har derfor iværksat en litteraturundersøgelse, der skal belyse, om brug af alternative tømidler kan være en løsning eller indgå i en løsning af de afledte problemer, som glatførebekæmpelsen med vejsalt medfører.

Denne rapport er en gennemgang af den internationale litteratur om miljøeffekterne af brug af alternative tømidler, sådan som forfatterne så litteraturen i 2006 og 2007. Det er hensigten med rapporten, at den skal kunne danne grundlag for udvælgelse af de alternative tømidler, som bør afprøves i efterfølgende forsøgsarbejde. Endvidere skal undersøgelsen indgå i en samlet vurdering af alternative tømidler, herunder den praktiske udførelse af glatførebekæmpelsen, påvirkningen af mennesker og dyr, spredningsmønstre, støv- og partikelforurening og en økonomisk analyse af anvendelse af tømidlerne, sådan som foreslået i oprindelig projektansøgning /34/.

Vi vil først og fremmest takke vores kontaktpersoner i Københavns Kommune, Jens Jacob Elkjær Knudsen (Distriktsleder) og Kim Sørensen (Fagansvarlig for Vintertjenesten i Københavns Kommune) for deres initiativ til denne undersøgelse. Dertil kommer en stor tak til Johanne Møller Sørensen for hjælp til opsætning, korrektur og formulering.

Juli 2007

Indhold

Forord	3
Indhold	5
Indledning	7
Baggrund	9
Potentielle tømidler	11
Effekter på jord	12
Ionbytning	12
Tungmetaller	13
Nedbrydning af organisk tømiddel	13
Jordstruktur	13
Effekter på ferskvand	14
Grundvand	14
Overfladevand	17
Effekter på beplantning	24
Hvordan skader vejsalt	24
Ændrede plantesamfund	25
Symptomer på vejsaltskader og danske vejsaltundersøgelser	26
De alternative tømidler	29
Konklusion og resumé	30
Efterskrift	33
Referencer	34

Indledning

I Danmark benyttes i altovervejende grad almindeligt vejsalt (NaCl) i vinter-tjenestens bekæmpelse af glatføre /1/. Dette har uomtvisteligt forbedret trafikikkerheden og fremkommeligheden på det danske vejnet og tilhørende arealer /2/. Det er velkendt, at vejsalt er et billigt /3/ og effektivt produkt til glatførebekæmpelse og forbedring af fremkommeligheden på kørebaner, stier og gangarealer i vinterperioden /3, 4, 5, 6/. Men brugen har også ført en række miljømæssige, sundhedsmæssige og æstetiske problemer med sig, ikke bare i Danmark /1, 7/, men i de lande på den nordlige halvkugle /8, 9, 10, 11, 137/, der anvender vejsalt i glatførebekæmpelsen. Problemerne vedrører især

- At vejsalt forringer vækstvilkårene for beplantninger og anden vegetation langs gader og veje /9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 144/.
- At vejsalt ødelægger jorden som vækstmedie /13, 15, 16, 17, 18/
- At vejsalt påvirker floraen og faunaen i jord og ferskvand negativt /19, 20, 21/.
- At vejsalt kan forringe kvaliteten af overfladevand /11, 18, 22/.
- At vejsalt kan forringe grundvandskvaliteten /11, 18, 23, 24, 25; 26, 27/.
- At vejsalt kan skade køretøjer /8, 26, 28, 29, 30/.
- At vejsalt kan skade bygnings- og vejkonstruktioner /8, 11/.

Det er blevet fremført, at de samlede omkostninger, som glatførebekæmpelsen medfører, ikke står mål med de samfundsøkonomiske fordele, der er ved saltningen /8/.

Københavns Kommune har til hensigt at skabe et overblik over virkningen af alternative tømidler. Et fuldt eller delvist skift væk fra traditionelt vejsalt til brug af et alternativt tømiddel er et stort forvaltningsmæssigt skridt, som fordrer en sikker og omfattende dokumentation af det eller de alternative tømidlers virkning og eventuelle bivirkninger. Der er derfor behov for en langsigtet strategi, hvor følgende aspekter af de alternative produkter er grundigt belyst:

- Påvirkning af jord.
- Påvirkning af overfladevand og grundvand.
- Påvirkning af vejnære beplantninger.
- Påvirkning af flora og fauna.
- Spredningsmønstre.
- Den praktiske udførelse af glatførebekæmpelsen.
- Påvirkning af mennesket, herunder støv- og partikelforurening.
- Økonomisk analyse af anvendelsen.

Det er rapportens formål at gennemgå den vigtigste relevante nationale og internationale litteratur, der omhandler alternative tømidlers effekt på det

omgivende miljø. Rapporten behandler således de første 4 af de 8 ovenfor nævnte punkter og er som sådan tænkt som grundlag for beslutningerne for det videre projektføreløb om alternative tømidler.

Rapporten søger specifikt at tilvejebringe:

- En oversigt over potentielle alternative tømidler.
- En oversigt over alternative tømidlers virkning på jord.
- En oversigt over alternative tømidlers virkning på grund- og overfladevand.
- En oversigt over alternative tømidlers virkning på vejnære beplantninger.
- En oversigt over alternative tømidlers virkning på flora og fauna
- En sammenligning mellem alternative tømidler og vejsalt.
- Grundlag for valg af tømidler til afprøvning.

Det skal indledningsvis nævnes, at der ikke tilnærmelsesvis findes lige så megen national og international miljørelateret faglitteratur om alternative tømidler, som der gør om vejsalt. Og i forbindelse med de alternative tømidler, som er relevante for vintervedligeholdelsen, er litteraturen om kemikaliet calciummagnesiumacetat (CMA) klart dominerende.

Baggrund

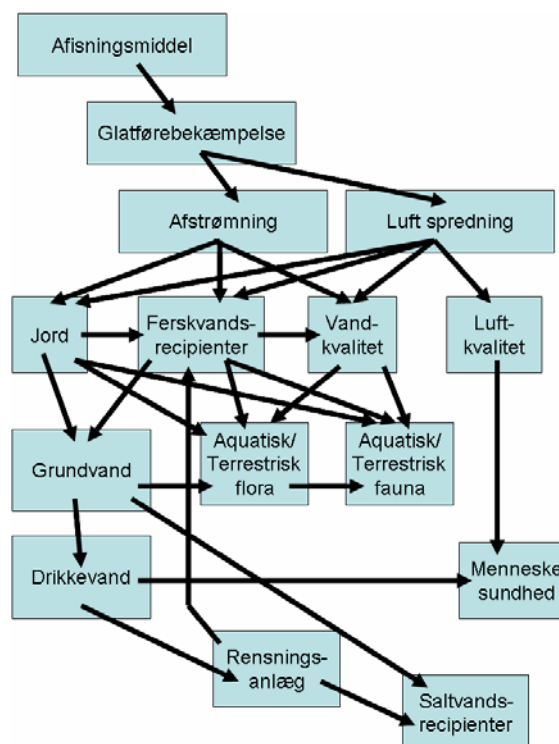
Vejsalt, i form af NaCl, er i hen ved 50 år blevet brugt intensivt på den nordlige halvkugle til at forbedre fremkommeligheden og bekæmpelsen af glatføre på vejnettet og andre befærdede arealer i vinterhalvåret og er i dag stadig det mest anvendte kemikalie i de europæiske lande og i Nordamerika /1, 8, 9, 18, 26, 37, 38, 39, 40/. Også i Danmark er vejsalt klart det dominerende kemikalie i glatførebekæmpelsen /41/. Dette skyldes især en kombination af kemikaliets tøjegenskaber og dets prisbillighed.

Siden 1960'erne har adskillige undersøgelser imidlertid vist, at brugen af vejsalt har affødt en række problemer, ikke mindst på miljøet. Det drejer sig om uønskede påvirkninger af

- 1) grund-, overflade- og drikkevandskvalitet /42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 58, 60, 61, 68/, herunder øget indhold af tungmetaller, men især øget indhold af Na og Cl,
- 2) jordkvalitet /9, 55, 56, 59, 60, 66/,
- 3) vegetation og beplantninger /9, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58/,
- 4) ferskvands- og mikroorganismer /65, 67/
- 5) større dyr og fugle /62, 63, 64/
- 6) korrosion på køretøjer og infrastruktur /38, 68, 70, 119/.

Ovennævnte er blot eksempler på de mange forskningsundersøgelser. Konklusioner og resultater fra mange af disse undersøgelser og flere andre er samlet og dokumenteret i adskillige store litteraturundersøgelser eller afhandlinger /1, 8, 18, 26, 40, 50, 51, 119/. På baggrund af historiens mest omfattende rapport om miljøeffekterne af vejsalt fra Environment Canada /11/ erklæres det i den canadiske miljøbeskyttelseslovgivning, at alle Cl-holdige kemiske midler til bekæmpelse af glatføre er toksiske. Dette er sket på baggrund af undersøgelsens hovedresultat, der konkluderer, at Cl-baseret vejsalt indtræder i miljøet i mængder eller koncentrationer, der vil have eller vil få øjeblikkelige eller langsigtede skadelige virkninger på miljøet eller på den biologiske diversitet eller udgør eller vil udgøre en fare for det miljø, som vores liv afhænger af. Rapporten konkluderer samtidig, at vejsalt er et vigtigt tøjmiddel i glatførebekæmpelsen, og at der aldrig må gås på kompromis med sikkerheden /11, 30/.

Brug af alternative tøjmidler kan være et middel til at undgå eller reducere et eller flere af de uheldige miljøpåvirkninger, som brugen af vejsalt har i forbindelse med den danske glatførebekæmpelse. Anvendelse af alternative tøjmidler kan også vise sig at være en god løsning på miljøproblemer på særligt sårbare eller højt prioriterede områder, f.eks. i forbindelse med særligt værdsatte beplantninger, prioriterede grønne byrum, vigtige indfaldsveje osv. Den vigtigste internationale forskningsrapport om emnet er "Chemical Deicers and the Environment" af F.M. D'Itri /162/, udgivet i forbindelse med en international forskningskonference om teknologi og miljø i relation til alternative tøjmidler.



Figur 1. Tømidlers transportveje og miljøpåvirkninger. Modificeret efter /36/

I Figur 1 er tømidlers generelle transportveje og miljøpåvirkning skematisk angivet. Efter udvinding, bearbejdning eller fremstilling transporteres det pågældende produkt til et oplagringssted. Herefter bringes det ud på bestemmelsesstedet, dvs. kørebaner, cykelstier, P-pladser mv. Herfra transporteres tømidlet via afstrømning direkte til den omkringliggende jord, hvad enten det drejer sig om bede, rabatter eller jord i mere eller mindre naturlig lejring. Tømidlet kan også strømme direkte af til vandløb, dræn eller søer eller spredes med vinden gennem luften til jord, vegetation og ferskvandsrecipienter. Når tømidlerne forlader vejen via vindspredning, kan de give anledning til nedsat luftkvalitet gennem partikelforurening. En modifikation af disse stofstrømme sker gennem sprøjt af vand, sne og sjaap fra den kørende trafik og fra den til tider forekomne spredning ind på vejnære arealer fra det spredende materiel.

Den uhensigtsmæssige spredning af tømidler til de omkringliggende arealer kan her påvirke beplantninger, vegetation og den øvrige flora enten direkte eller indirekte gennem tømidlets reaktion med jorden. Det nedsivende jordvand indeholdende tømidlet og eventuelle reaktionsprodukter når senere enten dræn, vandløb, søer og grundvand for evt. via et rensningsanlæg at nå havet. Ligesom i jorden kan både floraen og faunaen påvirkes af tømidlerne og deres reaktionsprodukter i de ferske recipienter.

Potentielle tømidler

Der findes en lang række alternative produkter til vejsalt i forbindelse med glatførebekæmpelse. Disse kan overordnet opdeles i Cl-baserede og organisk baserede produkter /36/. Derudover er der diverse grus- og sandprodukter, som ikke regnes som deciderede tømidler, men mere som midler, der øger friktionen /36/. Endelig findes der specialprodukter, der især finder anvendelse inden for flytrafikken og lignende specialområder. Disse er ofte baseret på organiske glycol-holdige forbindelser /146,147,148/ og indeholder en række tilsætningsstoffer som eksempelvis korrosionshæmmere, konsistensregulatorer og brandhæmmere mv. Nedenfor er nævnt almindeligt anvendte alternative tømidler:

Tabel 1. Potentielle alternative afsningsprodukter til vejsalt.

	Primær bestanddel	Produktnavn	Kemisk betegnelse
Klorid-baserede produkter	Magnesiumklorid	FreezGard-Zero®, Ice-Stop™Cl, Caliber™M1000, Ice Ban® M50, Ice Ban® M80, Ice Ban® 200, Ice Ban® 250, Ice Ban® 300	MgCl ₂
	Kalciumklorid	Liquidow*Armor*, Cal-Ban 70,	KCl
Organisk baserede produkter	Kaliumformiat (KF)	Clearway F1, Aviform L50, Safeaway KF, Kilfrost Runaway, Meltium	KCOOH
	Natriumformiat (NF)		NaCOOH
	Calciummagnesiumacetat (CMA)	CMA®, CMAK™,	CaMg(CH ₃ COO) ₄
	Natriummagnesiumacetat (NMA)		NaMg(CH ₃ COO) ₃
	Kaliumacetat (KA)	CF7®, Clearway 1, Clearway 3, Safeaway SA, Kaliumacetat	KCH ₃ COO
	Natriumacetat (NA)	NAAC® Clearway SF3, Clearway s6, Safeaway SD	NaCH ₃ COO
	Monopropylenglycol	Glycol	CH ₃ CHOHCH ₂ OH
Karbonat baserede produkter	Fructose/Glucose/NaCl	Melasse*)	C ₆ H ₁₂ O ₆ /C ₆ H ₁₂ O ₆ /NaCl
	Kaliumkarbonat (KK)		K ₂ CO ₃
Andre	Urea		(H ₂ N) ₂ CO

Tabellen er opstillet på baggrund af /36, 71,72, 73, 74, 75/. *) Behandles ikke i denne rapport, men der kan henvises til /220/.

Der findes langt flere tømiddelprodukter end ovennævnte, men hovedparten af disse er kun relevante inden for flytrafikken, eller også har de et alt for højt flammepunkt, eller de kan fremme uønskede reaktionsprodukter, som f.eks. dannelse af kloroform ud fra klorid og ethanol, eller være til gene for miljøet i lighed med kvælstofbelastningen fra urea /137/. De enkelte produkter angivet i Tabel 1 er ikke altid rene udgaver af det nævnte kemiske stof, idet der kan være tilsat korrosionshæmmere mv. I de følgende afsnit vil fokus udelukkende være på de kemiske stoffer og ikke på de enkelte produkter.

Effekter på jord

Ionbytning

Traditionelt vejsalt påvirker overordnet jorden gennem en ændret kemisk sammensætning af jordvandet, som efterfølgende påvirker jordens kemiske og fysiske sammensætning, når jordvandet siver ned i jorden. Vejsaltet hæver koncentrationen af Na og Cl i jordvandet, så dets kemiske sammensætning ikke længere er i ligevægt med jordens ionbytterkompleks. Denne uligevægt giver anledning til ionbytning, hvor opløst Na fra saltet ionbytter med de kationer, der sidder på ionbytterkomplekset. Herved stiger koncentrationen af opløste ioner fra ionbytterkomplekset i jordvandet, indtil en ny ligevægt er etableret /40, 59, 211, 212/. I starten påvirkes kun den øverste del af jorden, men hvis koncentrationen af Na og Cl forbliver relativt høj i det nedsvivende jordvand, vil ionbytningen fortsætte i en zone, der med tiden bevæger sig nedefter i jorden. Koncentrationen af Na vil forøges på ionbytterkomplekset, samtidig med at koncentrationen af ionerne fra ionbytterkomplekset (K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn, H, NH₄ mfl.) stiger i jordvandet med mulighed for udvaskning af disse stoffer /59, 187/. Herved kan jorden miste betydelige mængder nærings- og sporstoffer. /40/ peger på, at det kan være nødvendigt eksempelvis at tilføre gødning for at opretholde et tilstrækkeligt højt indhold af næringsstoffer til, at planterne kan trives og undgå næringsstofmangel. Gødskning kan dog være med til at forhøje jordens osmotiske potentiale yderligere. I /218/ undersøges fordelingen af vejsalt ned igennem jordprofilen ved to motorveje i Sverige, hhv. E20 og E48, og de finder, at koncentrationen af Na og Cl er betydeligt forhøjet ned til en dybde på 165 cm tættest på vejene. I /30/ konkluderes der i et litteraturstudie, at CMA er et af de tømidler, der har den mindste effekt på udvaskningen og fjernelsen af ioner fra jorden, fordi Ca, Mg og acetat bindes relativt stærkt i jorden sammenlignet med bestanddelene i mange af de øvrige tømidler. Generelt er effekten af tømidlerne størst tættest på vejkanten /13, 187, 30, 190/.

I Danmark er der i Københavns og Frederiksborg Amt lavet intensive undersøgelser, som dokumenterer, at de vejnære jordes indhold af Na og Cl er væsentligt forhøjet som følge af den intensive vejsaltning i vinterhalvåret /13, 16/. Disse undersøgelser viser også, at jordens indhold af Na og Cl er stærkt afhængig af målepunktets afstand til vejkanten. Kommer man blot 2-3 m væk fra vejkanten, er koncentrationen af Na og Cl væsentligt lavere, end den er tæt på vejkanten, og vækstbetingelserne for vejtræerne er således langt mere gunstige 2-3 m eller mere fra vejkanten, end de er tættere på vejkanten /13,16/. I en dansk undersøgelse af de økologiske forhold i en juletræsbevoksning, der ligger op til en motorvej, kunne man genfinde forhøjede koncentrationer af Na og Cl forårsaget af vejsaltningen i en afstand helt op til 40 m fra motorvejskanten /176/. De danske undersøgelser bekræfter også, at vejsaltet ikke umiddelbart udvaskes fra jorden i sommerhalvåret, men at vejsaltet og effekterne af vejsaltet akkumuleres i de vejnære jorde /13,16/.

Tungmetaller

Vejsaltning kan øge udvaskningen og dermed sænke koncentrationen af tungmetaller (Cr, Pb, Ni, Cd og Cu) i vejsidens jorde, som i forvejen er forurenede med tungmetaller fra benzinformbrændingen m.m. /187/. Som tidligere nævnt kan anvendelsen af CMA påvirke den mikrobielle aktivitet ved at øge omsætningen af den tilsatte acetat. /30/ gengiver diskussionen om, hvorvidt denne øgede omsætning af organisk stof kan lede til en øget mobilitet og udvaskning af tungmetaller, når CMA anvendes som tømiddel. Resultaterne, som gengives her, er modsatte. /124/ angiver, at der er en tendens til, at spredning af CMA kan øge udvaskningen af tungmetaller mere, end tilfældet er for NaCl, mens /56/ ikke kan finde denne tendens.

Nedbrydning af organisk tømiddel

Efter 3 års applikation af KF på en hovedvej i Finland blev der ikke fundet rester af hverken formiat eller K i grundvandet /37/. Undersøgelsen pegede også på, at formiat blev biologisk nedbrudt af bakterier selv ved temperaturer tæt på 0°C gennem en betydelig aerobisk og anaerobisk nedbrydning. Nedbrydningen var størst, når indholdet af organisk stof var højt (>5 %). Samtidig medførte brugen af KF ingen reduktion af friktionen af vejbelægningen eller af trafikikkerheden.

Jordstruktur

Spredning af vejsalt kan ændre jordens struktur. Det er specielt jordens ler-indhold, der afgør effekten af saltningen på jordens struktur. Ved et stigende indhold af ler øges effekten af saltet på jordens struktur. I den lede jord er indholdet af den divalente ion Ca, men også Mg, med til at give jorden en krummestruktur med plads til vand og luft i porerne mellem jordpartiklerne. Når Na-ionen fra vejsaltet fordriver de øvrige kationer, nedbrydes krummestrukturen, og man siger, at jorden klapper sammen (dispergeres). Årsagen er to mekanismer: den første er, at jorden ikke kan opretholde krummestrukturen, når Ca-koncentrationen bliver tilstrækkeligt lav, og den anden er, at Na-ionen er omgivet af vandlag, der virker dispergerende /59, 218, 194/. Når jord klapper sammen, mindskes permeabiliteten og dermed jordens evne til at transportere vand og luft. Det påvirker vegetationens levevilkår /194/. CMA får ikke jorden til at klappe sammen, tværtimod kan CMA bidrage til at forbedre krummestrukturen og øge permeabiliteten på grund af indholdet af divalente ioner /124/.

Effekter på ferskvand

Selvom Danmark på mange måder er påvirket af saltvand, er koncentrationen af salt (Na og Cl) lav i ferskvand (Tabel 1). Regnvand, vandløb og søer har typisk meget lave koncentrationer, mens jordvandet under skove og lignende har noget højere koncentrationer som følge af den koncentration, der følger af fordampningen fra skoven og anden vegetation. Afstrømningsvand fra motorveje kan i vinterperioden have stærkt forhøjede saltkoncentrationer. I /155/ rapporteres om gennemsnitkoncentrationer af Cl på 700 mg/l. Lignende stærkt forhøjede koncentrationer er bl.a. målt i Canada /11/. I undersøgelser foretaget i Frederiksborg Amt /13/, Københavns Amt /16/ og Københavns Kommune /152/ er der fundet endnu højere saltkoncentrationer i vejrabatter i det jordvand, der forlader træernes rodzone.

Tabel 1. Koncentrationen (mg/l) af Cl og Na i forskellige vandtyper.

Vandtype	Cl-koncentration (mg/l)	Na-koncentration (mg/l)
Regnvand/148/	10-60	6-30
Grundvand	5-50	5-30
Jordvand, skove/149, 150/	10-125	5-80
Jordvand, overdrev/151/	5-40	5-20
Jordvand, brakarealer/153/	6-12	5-12
Jordvand ved veje/13,16,17,31,152/	15-5.000	15-2.100
Østersøen	5.000	3.000
Kattegat	16.000	9.000
Motorvej/144,155/	23-3.300	-
Villavej, Nordkøbenhavn/144/	45-85	-

Grundvand

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænse for Na i drikkevand på 175 mg/l. For Cl er den tilsvarende grænse på 250 mg/l, for K 10 mg/l, for Mg 50 mg/l, for NH₄ 0,5 mg/l og for NO₃ 50 mg/l. Der findes ingen grænse for Ca /76/. Almindeligt vejsalt er uønsket i grundvandet, fordi det har en negativ påvirkning af smagen i drikkevand, og fordi det kan give anledning til forhøjet blodtryk (hypertension) /8, 26, 36, 111, 112/. I USA er det opgjort, at 12 – 30 % af befolkningen har tilgrænsende eller udtalt hypertension /26/. I de fleste tilfælde er koncentrationer på 100-200 mg NaCl pr. liter ikke problematisk, men de kan være et alvorligt problem for mennesker på saltfattig kost. På denne baggrund anbefaler /136/ koncentrationer på under 25 mg Cl pr. liter. I Danmark er hypertension også udbredt; Hjerteforeningen angiver /77/ at ” De fleste danskere indtager mere salt (natrium) end deres legeme har brug for”. Bekymringerne omkring for meget salt i drikkevand går i USA tilbage til 1950'erne, hvor utilfredsstillende opbevaring og eksempler på store afstrømninger fra veje kontaminerede drikkevand /26/. Bekymringen er fortsat op gennem 1970'erne /136/ og kan også dokumenteres i 1990'erne /26/.

Miljøstyrelsen angiver i /78/, at ”Skader på grundvand vedrører især smagsforringelser forårsaget af MTBE¹ og vejsalt, hvilket kan gøre grundvandet uegnet til drikkevand”, og at glatførebekæmpelsen er én af fem hovedkilder til grundvandsforurening i Danmark. Dette gentages af Miljøministeriet /79/. Der er flere eksempler på et stigende indhold af vejsalt (Cl) eller koncentrationer, som må tillægges brug af vejsalt, og som har bevirket overskridelse af grænsen for Cl drikkevandet, både nationalt /80, 82, 85, 86, 87, 115, 116/ og internationalt /11, 27, 60, 93, 94, 95, 96, 110/, herunder i vore nabolande /106, 139, 140, 141, 142/. Endvidere har /143/ dokumenteret i en undersøgelse af 13.000 private brønde i Sverige, at de brønde, der lå tæt ved veje, havde forhøjede koncentrationer af Cl.

Forfatterne er kun bekendt med to beskrevne eksempler på overskridelse af grænsen for Cl i drikkevand i Danmark /97, 115, 116/ som værende forårsaget af vejsaltning, men et studie af kortmaterialet over grundvandskoncentrationer af Cl, f.eks. i Nordsjælland /118/, peger på forhøjede niveauer, der ud fra deres beliggenhed ikke kan forklares ved indtrængen af saltvand fra havet. Flere af ovennævnte undersøgelser involverer mange lokaliteter og nævner en høj grad af sammenhæng mellem koncentrationen af Cl i grundvandet og urbaniseringen. Grundvandsreservoirernes sårbarhed over for forurening afhænger meget af deres størrelse /113/. Små reservoirer typisk er mest udsat for øget salinitet.

Den daværende Frederiksværk Kommune anfører, at vejsalt er en potentiel liniekilde til forurening af grundvand /81/, mens den daværende Egebjerg Kommune i forbindelse med en påtale fra Fyns Amt angiver, at oplagring og vask af spredningsmateriel har ført til en kraftig forurening af jord og grundvand /83/. I en indberetning fra det daværende Storstrøms Amt angives, at der også er konstateret forurening med Na, Cl og cyanider (antiklumpningsmiddel) i det overfladenære grundvand i en boring i den daværende Sydfalster Kommune som følge af nedsivning af vejsalt fra oplagring /97/. I den danske grundvandsovervågning angiver GEUS /98/, at der er konstateret forhøjede niveauer eller støt stigende indhold af Cl i grundvandet flere steder i det daværende Fyns Amt, Frederiksborg Amt og Ribe Amt.

Danva (Dansk Vand- og Spildevandsforening) og Århus Kommunale Værker angiver også vejsalt som en potentiel forureningskilde, og Danva udtrykker endvidere en bekymring for mobilisering af tungmetaller i forbindelse med vejsalt /84/. Århus Kommunale Værker anfører, at de har en tro på, at der fortsat vil være et stort behov for udbringning af vejsalt, men at der i fremtiden vil være muligheder for at sprede alternativer. Frederiksberg Kommune deler disse bekymringer og satser også på at undersøge mulighederne for alternativ vejsaltning /91/. Også Miljøstyrelsen angiver, at vejsalt belaster dyr og planter og forurener jord og grundvand, men nævner ikke ferske recipienter /88/.

Der findes ikke dokumentation for helbredseffekter af forhøjet indhold af Mg i drikkevand /36/. Den daglige menneskelige indtagelse af kalium ligger mellem 2000 og 6000 mg, hvorfor indtagelsen gennem drikkevand som regel ingen betydning har.

1 MTBE – methyl-tertiær-butylether er et benzinlignende stof med den kemiske formel CH₃-O-C(CH₃)₃, der har et højt oktantal og opløses let i benzin. Stoffet har opnået stor udbredelse til at erstatte det miljøskadelige bly, som tidligere blev anvendt til at forhøje oktantallet i benzinen. MTBE er et relativt billigt stof sammenlignet med andre stoffer, der kan tilsættes benzin for at få oktantallet op.

En af de største bekymringer er den høje opløselighed af vejsalt i vand. I vand er vejsalt fuldt dissociert (NaCl er adskilt i ionerne Na^+ og Cl^-) og bevæger sig let med det infiltrerende vand til grundvandsreservoirer, drænsystemer eller andre ferske recipienter, herunder rensningsanlæg. Udvaskningen af Na er ofte forsinket i forhold til nedsivningen af vandet, fordi Na indgår i ionbytningsprocesser i jorden /11/. Både /23/ og /60/ har dokumenteret reducerede koncentrationer af Na i vejsaltpåvirket grundvand i USA. På grund af Cl^- -negativ ladning hævdes det ofte, at dette stof nedvaskes med samme hastighed som nedsivningen /11/. Andre har dog påvist, at Cl ikke er så mobil som først antaget. Således indikerer /37/ i en undersøgelse, hvor vejsalt erstattes af KF , at foregående års brug af vejsalt fører til en akkumulering af i et grundvandsmagasin. Lignende forhold er fundet af /47, 60, 92/, formodentlig som følge af forsinkelser i afstrømningen gennem jorden. Også danske /13, 15, 16/ og andre amerikanske undersøgelser /27/ peger på, at Cl kan ”stå” i jorden sommeren over.

En modelsimulation af vejsaltpåvirkningen af grundvand langs hovedveje indikerer, at påvirkningen fra vejsaltningen ofte er begrænset og afhængig af grundvandets bevægelser og grundvandsmagasinet egenskaber /11/. Modellen understreger, at det er de små borer inden for en afstand af 20 m fra vejen, der er mest udsatte, men også at det er muligt i løbet af et par måneder eller år at forbedre deres tilstand gennem saltningsophør. I en anden modelberegning, der med udgangspunkt i et eksempel fra Ontario, Canada, forudsiges langt højere saltkoncentrationer i det reelle grundvand end i det vand, der stammer fra selve vandboringerne. Disse modelberegninger peger på, at det til – trods for Cl 's høje mobilitet – vil tage adskillige tiår at få grundvandsreservoirets koncentration af Cl tilbage til det oprindelige niveau, selv ved ophør med saltning /47/. I et massebalancestudie i et afvandsområde i Canada /48/, hvor koncentrationer og strømningshastigheder af Cl blev målt detaljeret gennem 3 år, er det beregnet, at kun 45 % af det tilførte Cl (som vejsalt) rent faktisk blev fjernet som overfladeafstrømning. Forfatterne tolkede de resterende 55 % som oplagret i grundvandet. I det grundvand, der bl.a. føder vandløbet, kunne forfatterne beregne en Cl -koncentration på 426 mg/l. Lignende påvirkninger af grundvandskvalitet og afstrømning til overfladevand fra vejsaltning i urbane områder er blevet påvist af /60/ og /90/. I Skandinavien har en svensk undersøgelse vist, at brugen af vejsalt har øget koncentrationen af Cl i ferskvand – ikke bare i relation til en liniekilde, men på regionalt niveau /125/.

I Canada henholder man sig også til en drikkevandsstandard på 250 mg Cl pr. l /11/. Som nævnt, har man i Canada på baggrund af /11/ i 2004 lovgivet om den miljømæssige håndtering af vejsaltning, mens bekymringer for drikkevandskvaliteten i Staten New York har ført til anvendelse af alternative tømidler, kaliumacetat og CMA /109/.

Danmark har en stor baggrundstilførsel af Na og Cl i form af en stor deposition af havsalt, ikke bare nær Vesterhavet, men over hele landet /99, 100, 101/. Na og Cl i grund- og overfladevand kan imidlertid stamme fra flere kilder end vejsalt og atmosfærisk deposition, herunder kemikalier og gødning anvendt i landbruget, septiktanke, spild fra grise- og kreaturbesæt-

ning (gylle mv.) , affald fra kommunale lossepladser og andet spild fra byer /102/ samt indtrængen af havvand. I Danmark er der ikke foretaget nogen undersøgelser eller kortlægning af herkomsten af Na og Cl, selvom der er fundet metoder til sådanne analyser /102, 103/. EU har bestemt, at enhver tydelig og vedholdende opadgående koncentration af en hvilken som helst forurening i grundvandet skal identificeres og vendes inden år 2015 /104/. Det er vanskeligt at forestille sig en dansk opfyldelse af disse mål inden for vejsaltområdet uden iværksættelse af nye undersøgelser.

Finske undersøgelser peger på, at KF er et effektivt tømiddel, som kan anvendes til at mindske vintervedligeholdelsens negative påvirkning af grundvandsressourcerne uden at bringe trafikikkerheden i fare /37, 120/. Undersøgelsen viste ingen tegn på tilstedeværelse af formiat i det højtliggende grundvandsmagasin, ligesom at der ikke blev registreret ændringer i koncentrationen af kalium. Dette indikerer en fuldstændig omsætning af formiat i de overliggende jordlag, ligesom en effektiv ionbytning af kalium. Lignende resultater blev opnået i en undersøgelse med kaliumacetat (KCH_3COOH) /121/. I begge undersøgelser nævnes ikke ændringer i koncentrationen af andre kationer som følge af ionbytningen. Den finske undersøgelse involverede også laboratorieforsøg, der viste, at nedbrydningen af formiat under aerobe forhold (tilstedeværelse af ilt) blev påbegyndt øjeblikkeligt, så længe jorden var metabolisk aktiv, dvs. ikke var fuldstændig frossen. Op til 97 % af den tilstedeværende formiat blev nedbrudt ved temperatur fra -2 til $+6^\circ C$. Selv under anaerobe (iltfrie) forhold blev op til 17 % af det doserede formiat mineraliseret. Forfatterne tilføjer, at nedbrydningen formodentlig kunne være endnu højere, fordi omsætningen var begrænset af en meget lille tilstedeværelse af P og N. Undersøgelsen pegede endvidere på, at tilstedeværelsen af organisk stof er vigtig for en fuldstændig nedbrydning. I forbindelse med laboratorieforsøgene blev der konstateret øget udvaskning af calcium, magnesium, natrium og barium som følge af ionbytningen med K /37/. I undersøgelsen blev det anført, at KF kan have skadelig effekt på vegetationen, uden at dette specificeredes nøjere.

Overfladevand

Vejsalt er i flere studier fundet i forøgede koncentrationer i overfladevand, herunder større og mindre vandløb, søer og moser /11, 18, 22, 95, 105, 107, 108, 110, 117, 158, 164, 165/. I det store canadiske review /11/ anføres, at der er belæg for, at koncentrationen af Cl som følge af vejsaltning er forøget i både vandløb og søer i det nordøstlige og midtvestlige USA samt i Canada i områder nær de store søer og ved St. Lawrencefloden.

I /165/ sammenlignedes vandløb i oplande med forskellig urbaniseringsgrad i staten Pennsylvania, USA. Det blev konstateret, at koncentrationen af Cl steg med oplandets urbaniseringsgrad, indikerende forbruget af vejsalt i bynære områder. I et studie blev der konstateret koncentrationsforøgelser på over 30 gange i mindre vandløb, der blev krydset af en hovedvej /105, 170/, mens et andet studie /110/ af 21 vandløb i Ontario, Canada, viste forøgelser i koncentrationen af Cl mellem 21 og 34 %. Undersøgelsen, der

fokuserer på vandløb fra områder ved Toronto, omtaler hyppige Cl-koncentrationer på over 1000 mg/l i regionens vandløb som følge af brugen af vejsalt. Endelig dokumenterede /107/, at vejsaltning kan have ført til så dramatiske ændringer af kemien i vandløb, at Na og Cl havde undertrykt dominansen af de normalt dominerende stoffer, kalcium og sulfat, selv i sommerperioden. Lignende hydrokemiske ændringer er også dokumenteret af /108/ i et studie, der bl.a. omfatter målinger af næringsstoffer i Mohawk River, New York, i en periode på næsten 50 år. Især er studiet /22/ vigtigt, da der her er foretaget en langsigtet undersøgelse (mellem 20 og 40 år) af koncentrationen af Cl i vandløb i det nordøstlige USA, men også fordi en ekstrapolation af dens målinger frem i tiden, fremskriver koncentrationer i basisflowet i vandløbene på over 250 mg/l, som er den maksimale grænse for Cl i drikkevand i mange lande, og som er et koncentrationsniveau, der anses som kronisk toksisk for mange ferskvandsorganismer /109/. I /22/ blev det endvidere konstateret, at den kemiske sammensætning af mange rurale vandløb slet ikke vendte tilbage til den normale basiskoncentration i sommerperioden, selv ikke ved saltningsophør, formodentlig fordi saltkoncentrationerne i jorden og grundvandet har været bygget op til høje niveauer gennem mange års saltning. I en undersøgelse af ændringer i hydrokemien siden 1930 i 42 søer i Connecticut, USA, fandt /127/, at især Na og Cl var steget efter 1970 i takt med forøgelsen af veje og boligområder. Masseberegninger /128/ viser endvidere, at vejsalt er den væsentligste kilde til Na og Cl i vandløbene i Massachusetts, USA.

Det er anført, at den væsentligste miljøpåvirkning fra CMA og andre organiske afisningsmidler er knyttet til acetat-ionen og fra et i den forbindelse forøget BOD (biological oxygen demand) /26, 30, 122, 123, 124, 125, 133/. BOD er et indirekte mål for tilstedeværelsen af biologisk nedbrydeligt materiale og udtrykkes ofte som mængden af forbrugt ilt på 5 dage. Almindeligt vejsalt, NaCl, nedbrydes ikke. I vand og jord er de organiske afisningsmidler (CMA, KA, KF mv.) fuldt nedbrydelige til CO₂, vand, Ca, Mg, Na og K. Tilstedeværelsen af acetat og dermed et forøget BOD i ferskvand indikerer således, at dette stof potentielt kan "stjæle" ilt fra andre processer og dermed fremme anaerobe forhold. Iltsvind forårsaget af organiske afisningsmidler er blevet påvist i både laboratoriet og i felteksperimenter /30, 125/. I forsøgsbassiner er det bl.a. blevet påvist, at tilsætning af CMA fører til et lavere iltindhold i vandet på grund af et øget iltforbrug /134/.

I en undersøgelse af påvirkningen af afisning med CMA på en hovedvej i Oregon på vandløbet Bear Creek med tilløb kunne der imidlertid ikke måles nogen effekt på BOD /122/. Et eksperiment sponsoreret af Chevron /123/ indikerede også, at CMA nedbrydes hurtigt i ferske recipienter, og en modellering af resultaterne i forhold til et bredt udvalg af kær og søer viste, at CMA i langt de fleste tilfælde kun ville have en minimal effekt på BOD. Lignende konklusioner er anført af /125/. I et studie af KF anfører /37/, at dette stof slet ikke når frem til grundvandsreservoirer og heller ikke har nogen effekt på vandkemien. Andre undersøgelser peger i modsat retning /30/. Blandt andet angiver /129/, at en blanding af natriumacetat og natriumformat (Ice Shear™) generelt nedbrydes let i naturen, men at nedbrydningen foregår langsomt ved lavere temperaturer og hurtigt ved

høje temperaturer. Nedbrydningshastigheden af CMA angives også som værende stærkt temperaturoafhængig /135/. I vand nedbrydes CMA totalt på 100 dage ved 20°C, mens det ved højere temperaturer går betydeligt hurtigere /135/. Under forudsætning af at tømidlerne allerede er blevet udvasket til en fersk recipient, vil risikoen for iltsvind således i en kort periode vokse markant med øgede temperaturer /30/. Ved lavere temperaturer (4°C) blev der i laboratorieforsøg konstateret en tidsforskydning på op til 8 dage før nedbrydningen blev betydelig. Både /130/ og /131/ anfører dog også, at bionedbrydningen af acetat i vejkantens sandede jord foregår tilstrækkelig hurtigt til at fortynde indholdet af organisk stof i vejens afstrømningsvand.

I /30/ refereres der til en undersøgelse, hvor lave koncentrationer af CMA (10 mg/l) har halveret mængden af opløst ilt. I /26/ refereres flere mindre amerikanske undersøgelser, der alle viser, at CMA kan reducere iltindholdet betragteligt i små søer og vandhuller. I /26/, som er en større afhandling, der sammenligner CMA med vejsalt, konkluderes det, at CMA er miljømæssigt sikkert at anvende i langt de fleste tilfælde, men det anbefales at være opmærksom nær vådområder, som har en dårlig gennemstrømning, og hvor der er stor risiko for større afstrømning af afslingsmidler direkte til ferske recipienter. I undersøgelsen refereres også til en ph.-d.-afhandling, der dokumenterer, at CMA produceret ud fra landbrugsprodukter har en mindre effekt på BOD end CMA produceret ud fra ”rene” kemiske handelsvarer, primært på grund af en allerede igangværende nedbrydning af det organiske stof i landbrugsprodukterne.

I en dansk opstilling /75, 133/ sammenlignes diverse produkters BOD og COD (chemical oxygene demand). Det konkluderes, at acetaters COD forventeligt er større end formiater i overensstemmelse med molekylets størrelse, og at CMA er et af de mest iltforbrugende produkter, når det sættes i relation til smeltekapaciteten. I samme rapporter gengives overvejelser hos Fyns Amt i forbindelse med anvendelse af organisk baserede afslingsprodukter på en motorvej, der passerer særlige drikkevandsområder. Heri skrives: ”Formiationen og acetationen vurderes ikke under normale omstændigheder at kunne påvirke grundvandsressourcen i et område. Denne vurdering beror på, at der er tale om letomsættelige organiske stoffer, som ofte ses i biologiske stofskifteprocesser. Således vurderes en fuldstændig omsætning at være sket under transport gennem jordmatrix”. Samme konklusion fremlægges af /132/.

I /129/ sammenlignes BOD-test af blandingen af natriumacetat og natriumformat med værdier angivet i litteraturen for CMA og SDD (blanding af Na-carboxylat, Na-acetat, Na-formiat, Na-lactat, Na-glycolat, Na-glycerat), hvori det konkluderes, at BOD er omtrent ens for de tre produkter. Det anføres dog, at blandingen af NA og NF ikke nedbrydes så hurtigt som CMA. En hurtig nedbrydning har både positive og negative konsekvenser. Foregår nedbrydningen hurtigt, vil forbruget af ilt tilsvarende foregå hurtigt, hvorfor risikoen for, at CMA overhovedet når ferske recipienter, er meget lille. Omvendt er der større risiko for lokalt iltsvind ved anvendelsen af CMA i forhold til ovennævnte blanding, hvis større mængder afslingsmiddel har nået en fersk recipient. I /135/ refereres der dog fra et finsk studie, der peger på, at infil-

trationen af ikke nedbrudt CMA til dybere jordlag er betydelig, og at den finske forfatter på den baggrund anbefaler, at CMA ikke anvendes nær overfladenære grundvandsmagasiner, og at anvendelsen bør være restriktiv i forbindelse med fladvandede og næringsrige søer. I /135/ sammenfattes miljøpåvirkningen fra CMA alligevel til at være klart mindre negativ end vejsalt (NaCl).

Det angives også i litteraturen, at brug af CMA som afsningsmiddel i lighed med NaCl kan fremme en forøgelse af ledningsevnen i overfladevand (forøgelse af vandets hårdhed) /122/. For CMA's vedkommende skyldes dette naturligvis en øget tilførsel af Ca, Mg og acetat. En tilførsel af acetat kan endvidere føre til en forøgelse af ferske recipienters alkalinitet og pH /124/. I den tidligere omtalte undersøgelse af vandløbet Bear Creek kunne der dog ikke konstateres ændringer i koncentrationen af hverken Ca eller Mg /122/, og i et større evalueringsstudie af CMA konkluderes det, at påvirkningen af ledningsevnen ikke vil være signifikant, med mindre der tilføres meget store mængder CMA til en recipient /137/.

I en amerikansk undersøgelse /164/, hvor vejsalt blev udskiftet med alternative tømidler tilhørende Magic TM, der repræsenterer blandingsprodukter af MgCl₂ og organisk baserede tømidler, dokumenteredes en forsat stigning i vandløbs koncentration af Cl, men skiftet til det organisk baserede produkt fik også vandløbs koncentration og afstrømning af fosfor til at vokse, formodentlig fordi det organiske salt var baseret på landbrugsprodukter med urenheder af bl.a. fosfor.

Vejvand med vejsalt, der tilføres søer, har en højere densitet end den ferske recipient. Der er derfor risiko for, at det tungere vejvand lægger sig nær søens bund, hvor det kan hindre eller hæmme søers normale opblanding af bund- og overfladevand, der er helt essentiel for fordelingen af ilt og næringsstoffer /18, 156/. Sådanne NaCl-inducerede lagdelinger af søvand er konstateret i flere canadiske og amerikanske søer /18/. Disse forhold har i flere tilfælde ført til udryddelse af både plankton og fisk, der er tilpasset til at leve i dybe områder af søer /11/. Tilførsel af vejsalt via 4 vandløb har i Rick Lake i det nordlige New York også ført til forøgede koncentrationer af Cl i søens bundvand, men søens størrelse og vandudskiftning holder stadig Cl-niveaue på beskedne niveauer /105/.

Der findes ikke lignende undersøgelser vedrørende alternative tømidler, men da densiteten i høj grad beror på mængden af opløste salte, er der ikke grund til at tro, at de organisk baserede alternative tømidler vil kunne forårsage helt lignende effekter som følge af nedbrydningen af det organiske stof.

Litteraturen om, hvorledes vejsalt påvirker diverse akvatiske organismer, er ganske omfattende. Undersøgelserne hviler både på laboratorieforsøg og feltstudier.

/167/ har undersøgt virkningen af vejsalt på makroinvertebrater (større hvirvelløse dyr) i både felt- og laboratoriestudier gennem dyrenes fortæring af føde (blade). I to vandløb i Michigan, USA, fandt forfatterne forskelle i fortæringen opstrøms eller nedstrøms salttilførslerne. De udpegede dog ikke salt

som årsagen, men derimod den øgede tilførsel af sedimenter. På baggrund af deres studier konkluderede de, at saltbelastningen i vandløb i Michigan ikke er til fare for makroinvertebratfaunaen. Gennem en litteraturgennemgang sluttede forfatterne endvidere, at dette formodentlig også gjaldt for den øvrige invertebratfauna. I modsætning hertil, konkluderes der i en litauisk undersøgelse af den langsigtede toksiske påvirkning af regnbueørred, at ferskvandsfisk, der er udsat for svagt forhøjede koncentrationer, generelt let påføres skader af de koncentrationsforøgelser, som vejsaltningen kan medføre, men at påvirkningen afhænger meget af saltkoncentrationen, den pågældende fisk og den øvrige vandkarakteristik /168/.

I en større integrerende undersøgelse af ferske økosystemer i det nordøstlige USA /22/ advares der om en stadig gradvis forøgelse af saltindholdet i ferskvandsøkosystemer, der har og vil føre til mobilisering af giftige metaller, forandret dødelighed og reproduktionsevne hos vandlevende dyr og planter samt til ændringer af økosystemernes plantesamfund. Det nævnes, at der er observeret meget store skift i Na- og Cl-koncentrationsniveauer, hvilket påvirker de akvatiske planter og dyr, der ikke evner at justere deres osmotiske potentiale inden for en kort tidshorizont.

Den landsdækkende canadiske undersøgelse /11/ er det seneste review, som omfatter tømidlernes effekt på ferskvandsorganismer. Heri anføres, at kortvarig udsættelse for vejsalt (Cl) både fører til kortsigtede og langsigtede effekter. De kortsigtede effekter ses hovedsagelig i forbindelse med vådområder med dårlig vandgennemstrømning eller i mindre vandløb, søer og vandhuller, hvor fortyndingseffekten er ringe. I /11/ anføres, at akut toksicitet (kontakt i 24 timer) er konstateret for flere fiskearter og makroinvertebrater, når LC50s nås ved Cl-koncentrationer på mere end 1650 mg/l. Sådanne saltforhold nås typisk i estuarier, tidevandsmarksområder, og saltholdige søer, men er også konstateret i forbindelse med dræn fra motorveje. Længere tids udsættelse for salt (3-4 dage) er blevet undersøgt i endnu flere tilfælde, hvor den generelle konklusion er, at makroinvertebrater er mere følsomme over for akut forgiftning med salt end fisk /11/. Følsomheden over for Cl-forgiftning stiger, jo længere disponeringen er. De langsigtede kroniske konsekvenser er kun undersøgt i få tilfælde, men ved Cl-koncentrationer omkring de 1500 mg/l, sker der en markant reduktion i artsrigdommen i naturlige saline økosystemer /11/. ”Den langsigtede toksicitet” foregår typisk ved meget lavere koncentrationer, der let når ned til 200 mg Cl/l.

Den overordnede konklusion i ovennævnte review /11/ er, at Cl, der stammer fra vejsaltning, kan have akutte eller langvarige skadelige virkninger på ferske økosystemer. De akutte og pludseligt opståede skader forekommer ofte i forbindelse med ukorrekt saltopbevaring og utilstrækkelig oplagring af sne, men også i forbindelse med mindre vandløb tæt på hovedveje. Lavere saltkoncentrationer kan påvirke økosystemets dyre- og plantesamfund, artsdiversiteten og produktiviteten. I et review, der sammenligner CMA og NaCl /26/, refereres der til et større studie, hvor det konkluderes, at CMA er mindre giftigt for regnbueørred og fisken ”fathead minnows”.

Vejsalt kan stimulere algevækst. I /18/ refereres der til et studie, hvor for-

holdsvis beskedne koncentrationer af Na stimulerede væksten af blågrønalger og dermed stimulerede ”algeblomst” i søer. Det er også påvist, at CMA kan hæmme og fremme algevækst, afhængigt af den enkelte algeart og de herskende omstændigheder /26/. Det blev bl.a. påvist i et studie i Alaska /163/, at både bakteriers og algers vækst blev stimuleret, når CMA blev anvendt som tømiddel på en nærtliggende vej. Samme studie viste, at det tilførte Ca hurtigt forsvandt, mens acetat medvirkede til at reducere BOD. I flere andre undersøgelser /125/ fra 14 søer havde CMA i koncentrationer mellem 0,1 og 10 mg/l ingen effekt på biomassen af alger og periphyton (alge- og mikrobefund knyttet til overflader af planter, sten mv. under vandlinien).

På samme vis konkluderes i /166, 169/, der har undersøgt CMA's påvirkning i 10 nordcaliforniske søer, at CMA i forskellige koncentrationer ikke gav anledning til ændringer i alge-biomassen, og at CMA ikke påvirkede acetat-optagelsen hos bakterier. Der kunne dog konstateres en forøget bakteriell optagelse af fosfor, som tillagdes mulige ændringer i konkurrenceforholdet mellem bakterie- og algepopulationerne. Ændringer i fosfor-optagelsen leder dog tanken hen på eventuelle P-urenheder i CMA baseret på landbrugsprodukter. I reviewet /26/, der sammenligner CMA med NaCl, anføres det, at der i et studie konkluderes, at CMA både kan hæmme og stimulere algevækst, afhængigt af det lokale forhold og de involverede alger, mens det endvidere anføres, at et andet studie viser, at CMA er mere skadelig for plankton end NaCl ved større doser. Forsøget viste også, at alger slet ikke blev hæmmet af NaCl.

CMA er tilsyneladende ikke toksisk over for aktiveret spildevandsslam, herunder bakterier og protozoer (encellede dyr) /125/.

I /11/ angives de urenheder, især P og N, men også Cu og Zn, som kan optræde i vejsalt, og som øger produktiviteten i ferskvandssøer. Der er undersøgelser, der peger på, at giftvirkningen af Cl er større i forbindelse med Na sammenlignet med divalente ioner som Ca og Mg /22/. Giftvirkningen af Cl stiger endvidere markant med øget temperatur /161/. Det betyder, at forøgede koncentrationer i forbindelse med pulser i udvaskningen i sommerperioden, kan have alvorlige konsekvenser for ferskvandets flora og fauna. Stærkt forøgede koncentrationer om sommeren er netop konstateret i jordvand i danske undersøgelser /13, 15, 16, 152/.

CMA's påvirkning af akvatiske invertebrater (hvirvelløse dyr, herunder snegle, insekter, orme mv.) er undersøgt flere gange /125/ og synes at være begrænset. Således overlevede og reproducerede disse op til koncentrationer på 500 mg/l. Først ved højere koncentrationer forekom der skader som følge af lave iltkoncentrationer og osmotisk ubalance /26, 124/. Test på fisk viste ingen tegn på skader i forsøgskamre op til koncentrationer på 1000 mg/l, så længe vandet var godt iltet /26, 124/.

I en redegørelse til ”Insurance Corporation of British Columbia” har Musato, B. and Guthrie, T. (refereret i /36/) udført diverse toksicitetstests mhp. at sætte diverse amerikanske tømidler i nummerorden ud fra deres giftighed for fisk, invertebrater og alger:

1. NaCl-saltlage, 23 %
2. CMA, 25 %
3. CaCl₂ (Liquidow Armor)
4. CMAK
5. MgCl₂ + Caliber (Caliber 1000)
6. MgCl₂ + (FreezGard Zero w/TEA)
7. NA
8. Potassium Acetate
9. Ice ban + Magnesium Chloride (50:50) (Ice ban M50)

En nærmere gennemgang af disse toksicitetstests synes dog at vise, at NaCl-saltlage og CMA er en klasse mindre giftige end de øvrige fabrikater. I /125/ advares der dog mod at overføre konklusioner om de forskellige fabrikater til de rene kemikalier, fordi fabrikaterne ofte indeholder større eller mindre mængder urenheder. Der nævnes bl.a. et eksempel på, at CMA, der er biologisk fremstillet, indeholder P, hvad det kemisk fremstillede produkt ikke gør.

I en tysk undersøgelse, refereret af /125/, vurderes CMA som værende uden større fare for vandmiljøet. Undersøgelsen er foretaget på baggrund af tests af toksicitet over for bakterier og fisk, oral indtagelse og biologisk nedbrydning. I /125/, som er det seneste review af CMA's miljøpåvirkning toksikologiske effekt, konkluderes det, at CMA kun har en lille eller slet ingen toksisk virkning på akvatiske arter, herunder vertebrater (hvirveldyr) og invertebrater, og at CMA ikke forøger alge-, periphyton- og phytoplanktonbiomassen.

Forfatterne bekendt findes der ikke studier i Danmark af vejsaltpåvirkningen af ferskvand, hverken i søer eller i vandløb. Dette er blevet bekræftet gennem kontakt til diverse forskere, herunder professor M. Søndergaard, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet og B. Kronvang, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet.

I en DMU-rapport /154/ vedrørende anvendelse af vandrammedirektivet anføres dog, at *"Kloridindholdet i vandløb er generelt ikke noget problem for den økologiske kvalitet"*, men at afstrømmende vejsalt fra vejsaltningen på veje og andre befæstede arealer kan føre til kloridpulser, der kan påvirke makroinvertebratsamfundet og dermed den økologiske kvalitet. På Vejdirektoratets hjemmeside i forbindelse med en ny højklasset vej i Frederikssundfingern /159/ anføres, at *"hyppigheden af saltning er afgørende for saltindholdet i vejvandet og bestemmes af de aktuelle vejrforhold. Salt (NaCl) indeholder et antiklumpningsmiddel (kaliumferrocyanid), og begge stoffer kan medføre påvirkning af den økologiske balance i vandløb. Opløst salt tilbageholdes ikke i bassinerne, men da saltning generelt foregår på tidspunkter, hvor vandløbenes vandføring almindeligvis er størst, forventes der ikke at være nogen betydende påvirkning"*. Dette kan således tages til indtægt for, at Vejdirektoratet ikke forventer problematiske påvirkninger fra vejsalt på ferske recipienter, i hvert fald for så vidt angår ovennævnte vej.

Effekter på beplantninger

Skader på beplantninger og planter langs veje som følge af brug af vejsalt afhænger af den involverede planteart, men er typisk meget dramatisk /172/. Siden 1970'erne har mange undersøgelser set dagens lys, ligesom der er lavet lister over diverse arters følsomhed for vejsalt /1, 9, 19, 50, 51, 181, 182, 183, 184, 185, 186/. Uddrag og behandling af mange disse undersøgelser samt beskrivelse af skadesymptomer og årsager er også publiceret på dansk /1, 13, 14, 15, 16, 17, 152, 173, 174, 175, 176, 177, 188, 189/, ligesom anbefalinger af de bedste forholdsregler til plantebeskyttelse /31, 32, 152, 179, 180/. Danske undersøgelser om virkningen af både afstanden mellem vejtræ og vej samt saltværn er beskrevet internationalt /190/.

Vejsalt angives som årsagen til skader og plantedød på 5-10 % af træerne i op til 30 m afstand fra vejkanterne /26, 162/. I /1/ rapporteres om skader op til 200 m væk fra vejkanterne. I Danmark har en undersøgelse /176/ afsløret massive skader og vækstreduktion i juletræsbevoksninger i op til 40 m fra kanten af en motorvej. Danske undersøgelser understøtter imidlertid, at vejsaltpåvirkningen på trafikerede gader i byen aftager markant 3-4 meter fra vejkanterne /15, 31/. Vejsalt fører således til en række problemer for træer og buske, både gennem en direkte påvirkning på planternes overjordiske dele eller en indirekte påvirkning via rodsystemet. Emnet er grundigt behandlet i en dansk litteraturundersøgelse om emnet /1/.

Hvordan skader vejsalt

Vejsalt kan principielt føre til fire forskellige former for plantestress /1,40, 173/: 1) Osmotisk stress (fysiologisk tørke), 2) Ernæringsstress, 3) Stress fra giftvirkning samt 4) stress fra dispergering af jordpartikler.

Osmotisk stress skyldes, at vejsalt formindsker vandpotentialen i jorden i forhold til i roden /40/. Herved vil vand fra rødderne søge ud i jorden for at fortynde opløsningen og skabe balance imellem rodens og jordens indhold af opløste salte /192/. Processen kan sammenlignes med tørke og fører til udtørring, eller at planten anvender unødigt energi på aktivt at opretholde vandbalancen.

Ernæringsstress skyldes den konkurrence, der er mellem forskellige stoffer i selve næringsoptagelsen i planten /192/. Typisk er det ioner, der "ligner" hinanden, som også konkurrerer med hinanden. Store mængder Na kan således føre til mangel på K /193, 194/, mens store mængder Cl kan føre til mangel på N og P /192/. N er ofte vækstbegrænsende for de fleste planter. Derfor kan høje koncentrationer af Cl ofte påvirke plantekvaliteten i form af nedsat sundhed og vækst, som følge af et mindsket optag af N /1/. Decideret mangel på næringsstoffer fører også til ernæringsstress. Mangel kan opstå, når Na ionbytter med andre næringsstoffer som K og Mg, der siden hen udvaskes. Ionbytningen kan føre til ændringer af jordens pH, som på sin side kan føre til mangel på andre næringsstoffer, hvis opløselighed er særligt påvirket af ændringer i jordens pH.

Stress og skader fra giftvirkningen af Na og Cl skyldes tilstedeværelsen af disse stoffer i for høje koncentrationer /40/, som bl.a. påvirker membranernes funktion og de enkelte cellers stofskifte ved at reducere enzym-aktiviteten/195/. Her har planterne svært ved at beskytte sig selv, fordi skaderne akkumuleres i takt med øgede koncentrationer /192/. Det er især Cl, der regnes for giftig /1/, og denne forgiftning opstår typisk før forgiftning med Na /192/.

Vejsalt kan skade planterødder ved at ødelægge deres struktur og det symbiotiske forhold, der er mellem flere træarter og mychorrhiza-svampe /196/, men omfanget varierer betydeligt mellem de involverede arter /195/. På den anden side, er der også meget, der tyder på, at mychorrhiza-svampe forbedrer træers følsomhed over for vejsalt /195/, bl.a. gennem forbedring af optagelsen af P og muligvis K, men også gennem en forbedret vandholdning og direkte reduktioner af saltoptagelsen i træerne ved, at mychorrhiza-svampene ”fanger” salt i lommer i deres celler.

De forskellige plantearter påvirkes meget forskelligt af salt, fordi planterne igennem årtusinder har udviklet forskellig tolerance over for salt, bl.a. som følge af indflydelsen fra havmiljøet /1/. I en opsummerende rapport /36/ nævnes følgende påvirkninger af vejsalt på planter: Hæmning af vand- og næringsstofoptagelsen, osmotisk stress, reduceret blomstring, reduceret spiring, reduceret skud- og rodvækst, brunfarvning af blad og bladtab, ubalance i optagelsen af næringsstoffer, tynde trækroner, forøget modtagelighed over for andre typer af stressfaktorer og plantedød.

Ændrede plantesamfund

Typiske plantesamfund, der ellers findes i havnære områder, har i stort omfang indfundet sig langs mange vejstrækninger i Danmark /1/, hvor de har bredt sig siden 1960'erne /191/. I dag findes disse såkaldte saltelskende (halofile) plantesamfund ikke bare langs motorveje og stærkt befærdede hovedveje, men også generelt i plantebæltet mellem grøft og vejkant /191/. Plantebæltet tættest på vejkanten kendetegnes generelt ved mange saltskader, lige fra svidning til plantedød. Den lave højde og den sene vækst hos både urter og græs tæt ved vejkanten skyldes også påvirkningen af vejsalt, enten direkte eller via den kompakte jord, der er fremmet af vejsalt. Saltpåvirkningen er tider så markant, at plantebæltet tæt ved vejkanten kan opdeles i flere typer plantesamfund karakteriseret ved deres evne til at modstå stress fra vejsalt /191/. Lignende ændringer er registreret flere steder i Canada /11/, USA /11/ og Tyskland /40/. I /11/ beskrives et større vådområde, hvoraf en del blev påvirket af vejsalt fra en opbevaringsplads. Det påvirkede delområdes vegetation skiftede fuldstændigt karakter, og alle endemiske plantearter (særligt tilknyttede, hjemmehørende) forsvandt. Efter saltpåvirkningen blev stoppet, faldt saltniveauerne med 50 %. Flere af de oprindelige plantearter, der forsvandt, blev genetableret, dog uden at flere af de nytillkomne arter forsvandt. Undersøgelsen viste således, at vegetationen var mere eller mindre i stand til at genetablere sig selv efter endt saltpåvirkning. Samme undersøgelse /11/ understreger, at over 50 % af træerne, der står langs canadiske

gader og veje er følsomme over for vejsalt, og at mange af disse nu er forsvundet fra vejstrækningerne.

Symptomer på vejsaltskader og danske vejsaltundersøgelser

I litteraturen findes der talrige artikler, der præsenterer skader og forhøjede koncentrationer af Na og Cl på træer og buske som følge af vejsalt /40, 51, 185, 186, 193, 194, 198, 199, 200/. Overjordiske skader kan skyldes afsætning af salt direkte på plantedelene, men kan også skyldes Na eller Cl, der er optaget gennem rødderne. Afsætning af salt på knopperne forsinker normalt udspringet. Dette er også blevet konstateret i et dansk studie for bøg, men for lind blev den modsatte effekt konstateret /197/.

Overjordiske skader skyldes hovedsagelig saltsprøjt. Typisk er stedsegrønne træer nogle af de mest udsatte planter, fordi de står med løv i eksponeringstiden, mens de løvfældende træer og buske er meget mindre udsatte for denne form for salttilførsel. I overensstemmelse hermed og pga. af en den relativt begrænsede trafik på veje uden for byer, anfører /201/, at skader fra decideret direkte saltsprøjt er hyppigere på vejtræer end på bytræer. Dette underbygges af /9/, der anfører, at direkte skader fra saltsprøjt stort set ikke forekommer i byen. /59/ understreger betydningen af saltpåvirkningen gennem jorden, mens /50/ i en undersøgelse af vejsalts effekt på søvløn langs veje, anfører, at saltsprøjt er uden betydning for skaderne, idet effekter udelukkende skyldes rodoftag af Cl og Na /1/.

Symptomerne på skader fra vejsalt er forholdsvis klare, om end de i forbindelse osmotisk stress kan forveksles med tørke. Symptomerne er beskrevet i Tabel 2. Den mest almindelige saltskade er en vækstreduktion, som i starten er lille og derfor svær at erkende. Først når saltstresset har stået på i længere tid, bliver reduktionen særligt tydelig og kan let erkendes i form af en ”tynd” krone. I værste fald fører saltstress til plantedød.

Tabel 2. Skadesymptomer fra vejsalt. Modificeret efter /9 og 173/.

	Saltsprøjt	Skader via jord
Løvtræer	<ul style="list-style-type: none">• Tilbagevisnen af forrige års grenvækst. Virkningen starter fra grenspidsen.• Knopdød pga. af indtrængende salt imellem knopskæl.• Barkudtørring på unge træer, som følge af indtrængende salt i vækstlaget under barken.• Udspring af sovende knopper som følge af topknoppers død.• Forsinkelse af løvspring på op til 1 måned.• Reduceret vækst	<ul style="list-style-type: none">• Nekroser på blade, der starter som gulfarvning, der efterhånden brunfarves. Nekroserne spredes ind imellem bladvenerne og følges af en krøllet bladrand.• Mindsket bladantal og -størrelse.• Tilbagevisnen af kviste.• Fremskyndet løvfald.• Reduceret vækst

fortsættes

Nåletræer	<ul style="list-style-type: none"> • Nålesvidning starter i skudspidsen med gulning, der går over i brun- og rødfarvning for til sidst at blive nekrotisk. • Nekroser på nåle, der er brunfarvede i nålespidsen de foregående år. • Fremskyndet nåletab. • Reduceret vækst 	<ul style="list-style-type: none"> • Knopdød • Forsinkelse af udspring på op til 1 måned. • Gul-, brun- og rødfarvning af nåle. • Misfarvning af unge nåle. • Fremskyndet nåletab. • Reduceret vækst
------------------	--	--

Vejsalt skønnes at være en betydelig årsag til skader og plantedød af træer og buske langs gader, veje og lignende. Fænomenets betydning blev indgående beskrevet allerede omkring 1970 i både Tyskland /202, 203/ og USA /50, 51, 53, 204, 205, 206, 207/. Forud havde /208/ dog allerede 1950'erne beskrevet skader på gadetræer, som følge af brugen af vejsalt, ligesom /209/ efterfølgende i 1966 beskrev, at sukkerløn (*Acer saccharum*) med koncentrationer af Cl i bladene på 0,05-0,6 % ikke udviste svidninger, mens blade med koncentrationer på over 1 % havde udbredte svidninger. Siden er skaderne på vejnære beplantninger som følge af vejsalt beskrevet i flere lande på den nordlige halvkugle. Den første større danske undersøgelse af vejsalts betydning for beplantninger i Københavns Kommune /210/ ser dagens lys i 1972, men forinden er den første danske offentlige interesse beskrevet af Lyngby-Taarbæk Kommune i 1971 /210/. Problemets omfang dokumenteres ikke særligt præcist i /210/ andet end ved farvefotos af skadede træer, men diskussionen om modforanstaltninger, herunder brug af vanding, gips og ”plantning af tolerante træarter”, udgør en anseelig del af rapporten, hvorfor man kan foranlediges til at tro, at problemet havde et betydeligt omfang. I 1973 beskriver /211/ skader fra vejsalt på en dansk hovedvej, og efterfølgende udkommer en videnskabelig test af forskellige træarters reaktion på salt på grund af tiltagende problemer med skader fra vejsalt og fra saltnedslag fra havsalt /212/. Denne undersøgelses resultater af planteskoleplanter kan sammenfattes til, at rødgran er mere følsom over for salt end sitkagran, som på sin side er mere følsom end birk. Undersøgelsen synes også at dokumentere, at gødskning ikke afhjælper skaderne, snarere tværtimod. I en anden dansk rapport /219/ undersøges saltets påvirkning udelukkende på løvtræerne (planteskoleplanter) birk (*Betula pendula* Roth + *Betula pubescens* Ehrh.), storbladet elm (*Ulmus glabra* Huds.), parklind (*Tilia x europaea* L.) og stilkeg (*Quercus robur* L.). Undersøgelsen dokumenterer en større en følsomhed hos de 3 førstnævnte arter, ligesom den peger på, at skaderne skyldes en saltgiftvirkning frem for osmotisk stress.

På baggrund af henvendelser fra Frederiksborg Amt og Københavns Amt i midten af 1990'erne om stigende problemer med skader fra vejsalt og vedrørende virkningen af saltværn igangsatte *Skov & Landskab* et større papirprojekt: ”Vejsalt, træer og buske”. Projektet kom til at dække over en international litteraturundersøgelse af vejsaltets påvirkning på planter /1/, en spørgeskemaundersøgelse blandt landets forvaltninger om vejsaltning, planteskader og beskyttelse af vedplanter langs gader og veje /213/, samt feltundersøgelser af virkningen af saltværn og planteafstand til vejkant i Frederiksborg og Københavns Amt /13, 16/, saltskader på juletræsbevoksninger nær motorvej /176/, ophør af brug af vejsalt på Frederiksberg Allé og tilsaltning af ny vejjord i midterrabat i den daværende Søllerød Kommune /188, 189/. Undersøgelserne i Frederiksborg og Københavns Amt

indeholdt foruden detaljerede stofbalancemålinger på midterraberter også brede undersøgelser af vejsaltbelastningen og påvirkningen af vej- og gade-træer på mere end 40 lokaliteter.

Omtalte paraplyprojekt indeholdt også undersøgelser af effekten af saltværn, vejafstand og hævet vejrabat på Nørre Allé og Lyngbyvej i Københavns Kommune /152/ samt udvikling af et alternativt saltværn /214, 215/. I dag er det kun undersøgelserne på Holte Stationsvej i den daværende Søllerød Kommune, der kører. Disse undersøgelser løber nu på deres 10'ende år og har udviklet sig til at være den længstvarende undersøgelse af vejsalts påvirkning af træer og jord i Danmark.

Konklusionen fra de danske undersøgelser er i korthed

1. Vejsalt er sandsynligvis den stressfaktor, der har størst negativ indflydelse på vej- og bytræers trivsel i Danmark og i særdeleshed i byer.
2. På motorveje kan der ske skader som følge af brug af vejsalt op til 40 m fra vejkanten.
3. I rabatter i byens gader og veje falder saltbelastningen (tilførsel og koncentration i jordvæske) markant de første par meter væk fra vejkanten.
4. Omkring 25 % af det spredte vejsalt havner på den ene eller anden måde i jorden nær gader og veje.
5. Hævede midterraberter er normalt en fornuftig konstruktion, der begrænser stress fra vejsalt, men virkningen afhænger noget af den enkelte lokalitets trafikforhold og af selve konstruktionen.
6. Saltkoncentrationerne i den jordvæske, som træerne ernærer sig fra, stiger ofte i vækstperioden, som følge af manglende udvaskning og øget vandfordampning.
7. Saltkoncentrationerne i den jordvæske, som træerne ernærer sig fra, nærmer sig i spidssituationer på belastede vejstrækninger det niveau, der ses i havvandet i Øresund.
8. Det nytter at opstille saltværn op, så længe det gøres rigtigt. Saltværnene skal så vidt muligt placeres hele vejen rundt om træerne og langs hele længden af vejrabatterne uden afbrydelser.
9. Saltværn i form af de typiske kegler virker ikke på ubefæstede arealer, snarere tværtimod.
10. Jordens pH i rabatjorde er ofte alt for høj. Årsagen er dels, at udgangsmaterialet har en pH-værdi, der er i overkanten det optimale for trævækst, dels at også forvitringen af basiske materialer i vejbelægningen giver anledning til stærkt forhøjet deposition af basiske stoffer til rabatjorde.
11. Det er normalt, at danske gade- og vejtræer lider af akut mangel på Mn. Ofte kan der også konstateres mangel på P og endvidere mangel på Mg, formodentlig induceret af for stor tilførsel af K fra vejbanerne.
12. Juletræer plantet tæt ved motorveje har stor risiko for at få svidningsskader, som følge af vejsalt, der enten blæser eller løber af vejen.

De alternative tømidler

Der findes kun få undersøgelser, der decideret sammenligner alternative tømidler med vejsaltets effekt på græs- og urtevegetation. I en undersøgelse af påvirkningen af CMA og NaCl på to græsser (rød svingel, *Lolium perenne* L., rajgræs, *Festuca rubra* L.) og to urter (lancetbladet vejbred, *Plantago lanceolata* L. og hvidkløver, *Trifolium repens* L.) konstaterede /216/ i laboratorieforsøgen ingen synlige skader fra CMA, men flere skader i forbindelse med behandlingerne med NaCl. Behandlingerne med CMA og NaCl førte begge til fald i biomassen, men faldene var markant større i behandlingerne med NaCl. I et andet sammenlignende studie, /160/, med standardiserede økotoxicitetstests af NaCl, NaF og CMA på karse (*Lepidium sativum*), byg (*Ordeum vulgare*), rød svingel (*Festuca rubra* L.), rapgræs (*Poa pratensis*) og kompostorme (*Eisenia fetida*) beskrives den relative toksicitet som $CMA < NF \approx NaCl$, men det påpeges, at det er muligt, at de opnåede forskelle ændres, hvis sammenligningen relateres til de faktiske mængder tømidler, der skal anvendes for at opnå en ens tømideffekt. Skader på vegetationens langs veje anføres af /217/ at medvirke til, at vejsaltet lettere udvaskes til grundvandet.

I /125/ refereres der til en drivhusundersøgelse, hvor påvirkningen af CMA undersøges på 2 urter (Lancetbladet vejbred, *Plantago lanceolata* L. og Solsikke, *Helianthus annuus*) og 3 træer (Douglasgran, *Pseudotsuga menziesii*, Balsamgran, *Abies balsamina* og Rødløn, *Acer rubra*). Mindre doser (0,5-1,0 g CMA/kg jord) førte ikke til skader, men ved øgede doser (2-4 g CMA/kg jord) blev der konstateret markante skader. Årsagen blev udlagt som osmotisk stress. Undersøgelsen viste også, at CMA's effekt på planterne var mindre på leret jord end på sandede jordbundstyper, formodentlig som følge af ionbytning og nedbrydning af acetat.

I samme artikel /125/ refereres der til en undersøgelse, hvor CMA og NaCl afprøves på 18 forskellige vedplanter, både ved spray på de overjordiske plantedele og via vandingsvand på jorden. Det første år gav CMA færre skader på 14 ud af de 18 plantearter. Det andet år gav NaCl flere og sværere skader på 9 af plantearterne, mens CMA skadede en enkelt art mere. På 8 arter var der ingen forskel. I /125/ sammensættes resultaterne fra flere sammenlignelige undersøgelser af i alt 24 plantearter, hovedsagelig vedplanter, udsat for CMA og NaCl. Sammenstillingen viste klart, at plantearterne havde en større tolerance over for CMA end vejsalt. I /26/ refereres der til en større amerikansk undersøgelse af CMA's påvirkning af den terrestriske vegetation. Her rapporteres om tests af både urteagtige planter og vedplanter, der blev udsat for doser op til 2.500 mg/l uden at det påvirkede væksten og sundheden. Så høje koncentrationer forventes der ikke at opstå som følge af glatførebekæmpelse. Yderligt forhøjede koncentrationer af CMA (5.000 og 10.000 mg/l) reducerede dog væksten eller førte til plantedød.

Konklusion og resumé

I al den tid vejsalt (NaCl) er blevet benyttet i bekæmpelsen af glatføre, er der udført talrige videnskabelige undersøgelser af, hvordan dette middel påvirker det terrestriske og akvatiske miljø, herunder grundvand. Vejsaltets negative påvirkning af miljøet har også affødt en betydelig interesse for alternative ikke-kloridbaserede glatførebekæmpelsesmidler. Inden for dette område er der også lavet mange videnskabelige undersøgelser, men der mangler især fuldskala-forsøg. En hel del kemiske stoffer og produkter er blevet undersøgt i tidens løb. Af disse har især kemikaliet CMA nydt forskningens bevågenhed, ligesom det også er det produkt, der oftest har været anvendt som alternativ.

Vejsaltets effekt på jord, grundvand, overfladevand og planter kan kort summeres som følger:

Jord

Der hersker ikke tvivl om, at vejsalt i større eller mindre omfang forringer eller ødelægger jorden som vækstmedie på de arealer eller i de plantebede, der støder op til saltede gader og veje. Hyppigheden af vejsaltning afspejles direkte i saltkoncentrationen i den vejnære jord, hvorfor tilbagevendende saltning også har en kumulativ effekt på jordbunden.

Saltkoncentrationerne falder markant med afstanden til vejkanten og ned igennem jorden. Saltet forringer eller ødelægger jordens struktur i vejrabatterne, idet Na ionbytter og erstatter de strukturforbedrende ioner Ca og Mg. Herved mindskes jordernes permeabilitet, hvorved tilførslen af vand og luft til vegetationens rodsystemer forringes. Jordoverfladen bliver således ofte meget hård i sommerperioden, hvilket yderligere forringer vandtilførslen til rødderne gennem øget overfladeafstrømning.

Når jordens ionbytterkomplekser bliver domineret af Na, stiger jordens pH. Cl har ingen effekt på jordstrukturen. Selvom Cl er meget mobil, koncentrerer den ofte i rodzonen i vækstperioden som følge af lille udvaskning og øget fordampning om sommeren. Tilstedeværelse af salt i jorden øger også jordens osmotiske tryk. Der er foretaget flere in situ-undersøgelser af koncentrationer af vejsalt i jord i Danmark.

Både vejsalt og andre tømidler kan gennem ionbytning mobilisere tungmetaller, men den samtidige påvirkning af pH i opadgående retning tenderer imidlertid til at begrænse mobiliteten for de fleste tungmetaller.

Grundvand

Især i USA og Canada, men også i Sverige, er der konstateret tydelige saltrelaterede påvirkninger af grundvandet - endog på regionalt niveau. Vejsalt forringer smagen af drikkevand ligesom for høje koncentrationer kan være skadelige for mennesker, der lider af hypertension. Forfatterne bekendt findes der ingen selvstændige videnskabelige undersøgelser af vejsalts påvirkning af grundvand i Danmark.

Overfladevand

Der findes også videnskabelig dokumentation for markante påvirkninger af ferske økosystemers funktion og struktur, inklusive tydelige kemiske ændringer såvel som ændringer i artssammensætningen. Ovennævnte er ikke nye erkendelser, om end de langsigtede påvirkninger er blevet tydeligere. Store søer og vandløb påvirkes mindst, mens mindre søer med ringe vandudskiftning og mindre vandløb påvirkes mest. Vejsalt kan desuden påvirke søers naturlige lagdeling.

Der er ikke udført videnskabelige undersøgelser i Danmark, og dokumentationen i forbindelse med påvirkningen af overfladevand synes meget mangelfuld.

Planter

I de lande på den nordlige halvkugle, der anvender salt i glatførebekæmpelsen, er vækstvilkårene for buske, træer og anden vegetation tydeligt forringet på de arealer, der støder op til de saltede veje, om end omfanget varierer betydeligt imellem de enkelte lokaliteter og imellem de involverede plantearter. Foruden sin indirekte påvirkning af plantevæksten gennem jordstrukturforringelser, er vejsalt også skadeligt for vegetationen gennem osmotisk stress (fysiologisk tørke), ernæringsstress og stress fra giftvirkning.

Cl regnes for mest giftigt for den terrestriske vegetation, men også Na er giftigt. Brug af vejsalt kan føre til flere typer planteskader, herunder svidning af blade, misvækst, reduceret vækst, sent udspring, tidligt bladtab og plantedød. Ud over en første svag påvirkning af væksten, forårsager skaderne på længere sigt en kraftig forringelse af vegetationens æstetiske udtryk. Der er foretaget mange videnskabelige undersøgelser af vejsalts påvirkning af terrestriske planter i Danmark, især i forbindelse med foranstaltninger, der reducerer saltbelastningen i vejrabatter.

Alternative tømidler

Vejsaltets negative påvirkning af jord, vegetation og ferskvand har senest medført restriktioner i anvendelsen af vejsalt til glatførebekæmpelse i Canada. Det er sket som følge af den hidtil største undersøgelse af miljøkonsekvenserne af brugen af vejsalt, idet det dokumenteres, at alle Cl-holdige produkter, der bruges til formålet er giftige for miljøet. For at imødekomme behovet for beskyttelse af fremtidens grundvand, ferskvandsrecipienter, jord og vejnære træer og buske under samtidig opretholdelse eller forbedring af trafiksikkerheden om vinteren er der foretaget flere videnskabelige undersøgelser af alternativer til de Cl-baserede tømidler.

Disse undersøgelser peger ofte i retning af, at flere af de alternative tømidler er mere miljøvenlige end vejsalt. Hovedparten af undersøgelserne af de alternative tømidler har fokuseret på CMA, som klart opfattes som mere miljøvenligt end vejsalt. Den væsentligste miljørelaterede indvending mod dette tømiddel vedrører den potentielle risiko for iltvind i mindre søer med svag vandudskiftning og i mindre vandløb. Finske undersøgelser anbefaler imidlertid KF, fordi deres undersøgelser pegede på, at nedbrydningen var bedre og nedsivningen dermed mindre end ved brug af CMA, et forhold

der tillægges stor vægt i Finland på grund af et meget højtliggende grundvandspejl.

Der findes et andet alternativt produkt, som forfatterne umiddelbart vurderer positivt i miljømæssig henseende. Det er drejer sig om KA, som også har visse jordstrukturforbedrende egenskaber, og som samtidig indeholder næringsstoffet kalium. Produktet indeholder desuden anionen acetat i lighed med CMA. Forfatterne kan hverken anbefale de Na-baserede alternative tømidler som NF og NA, eller de Cl-baserede produkter som $MgCl_2$ og KCl. Det kan heller ikke anbefales at anvende det stærkt iltforbrugende glycol eller det kvælstofholdige urea.

Flere undersøgelser i felten og anbefalinger af fuldskalaforsøg

Fælles for flere undersøgelser, reviews og conferencebidrag er anbefalinger af fortsatte undersøgelser af de alternative tømidlers miljøpåvirkning /18, 26, 30, 37/. Der anbefales navnlig feltundersøgelser, herunder påvirkning af plantevækst, udvaskning, ionbytning, jordsætning og applikationsteknikker.

Forfatterne kan ikke anbefale at anvende alternative tømidler uden forudgående undersøgelser af miljøpåvirkningen under danske forhold. I forhold til de tidligere foreslåede undersøgelser /34/ vil vi foreslå en indskrænkning af jordundersøgelser samt en udvidelse af de kontrollerede planteforsøg og in situ-undersøgelserne. Desuden bør der inddrages undersøgelser/faglig kompetence i forbindelse med afdræning, bortledning og efterfølgende rensning af vejvandet. Dertil kommer, at der er et stort behov for undersøgelser af påvirkningen af overfladevand, især hvis anvendelsen af alternative tømidler i fremtiden vil blive anvendt uden for Københavns Kommune, hvor andelen af mindre søer og vandløb er større. I denne forbindelse savnes der også viden om påvirkningen af mindre søer og vandløb i Danmark fra den traditionelle saltning.

For så vidt angår de kontrollerede plantetests, bør disse inddrage analyse af mindst to tømidlers effekt. Vi vil anbefale to af de allerede bedst testede kemikalier, CMA og KF. Valget skyldes de mange positive tests, som CMA har gennemgået samt resultater fra finske undersøgelser, der peger på en meget ringe udvaskning af KF. De kontrollerede tests bør ikke være drivhusforsøg og helst ligne de vejnære betingelser mest muligt. Det vil sige, at de bør foregå i det fri og helst med et plantemateriale, der ikke er for ungt. Undersøgelserne bør omfatte sundheds- og vækstmålinger samt udvaskningsundersøgelser.

Vi mener ikke, at det er forsvarligt at anvende alternative tømidler i større omfang uden forudgående in situ-undersøgelser på udvalgte vej- eller gadestrækninger. Disse undersøgelser bør også omfatte CMA og KF. Undersøgelserne bør tilrettelægges således, at de skaber de bedste sammenligningsmuligheder imellem tømidlerne. Der bør være en traditionel referencemåling med traditionelt vejsalt. *In situ*-undersøgelserne bør også omfatte sundheds- og vækstmålinger samt udvaskningsundersøgelser.

Efterskrift

De skader, som vejsalt forårsager på bilparken, hvad enten de er af alvorlig karakter eller blot kosmetiske, erholdes af bilejerne, hvad enten det drejer sig om privatpersoner eller virksomheder. Derimod hæfter skatteyderne som helhed solidarisk for reparationer og vedligeholdelse af motorveje, broer, drænsystemer og andre infrastrukturelle elementer samt drift og pleje af vejbeplantninger og deres vækstmedier, som påvirkes af vejsalt. Sådan er det i USA /162/, og sådan er det i Danmark. Omkostningerne i forbindelse med anvendelsen af tømidler erholdes af kommunale eller statslige enheder, der langt fra altid er identiske med de enheder, der står for drift og vedligeholdelse. I /162/ konkluderes det, at der kun skal 10 år eller endda mindre til, at det dyrere CMA har tjent sig ind. I /162/ postuleres det, at når det ikke sker, og der fortsat bliver brugt vejsalt, så skyldes det, at netop brugen af vejsalt får de stramme årlige budgetter i de enkelte kommunale og statslige enheder til at se bedre ud, hvorfor det ikke er nemt at foretage et skift til det mere miljøvenlige CMA. I Danmark er der ikke foretaget nogen tilbunds-gående økonomisk analyse af brugen af vejsalt, der inddrager såvel kortsigtede som langsigtede aspekter af både de direkte og indirekte omkostninger. Vi kan kun anbefale en sådan undersøgelse, hvor resultaterne samtidig sammenlignes med omkostningerne i forbindelse med brugen af alternative tømidler. Nærværende rapport understreger dog, at dette forudsætter en dansk forskningsindsats til belysning af centrale aspekter af de alternative tømidlers miljøpåvirkning.

Referencer

- /1/ Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1996):
Vejsalt, træer og buske. Rapport nr. 64, Vejdirektoratet (ISBN 87-7491-757-9), pp. 69.
- /2/ Vejdirektoratet. Trafikken. (2007):
Vejsalt - ven eller fjende? <http://www.trafikken.dk/wimpdoc.asp?page=document&objno=59693>
- /3/ Informationscenter for Miljø og Sundhed (2007):
Fakta om isbekæmpelse og tømidler. <http://www.miljoegsundhed.dk/default.aspx?node=5567>
- /4/ Skoglund, J. (1995):
Falsk trykghedt? Våre vejer, 8, 22 årgang, 1-9.
- /5/ SINTEF Samferdsel og Vegdirektoratet (1995):
Salting og trafikksikkerhet. Del 1: Før/etterundersøkelser av saltingens effekt på personskadeulykker. Trondheim, Oslo. MITRA rapport 02/95.
- /6/ SINTEF Samferdsel og Vegdirektoratet (1995):
Salting og trafikksikkerhet. Del 2: Sammenlikning av ulykkesfrekvens på saltet og usaltet veg. Saltingens effekt på kjørefart. Trondheim, Oslo. MITRA rapport 03/95.
- /7/ Tvedt, T., Randrup, T.B., Pedersen, L.B. & Glusted, S. (2001):
Planter og Vejsalt. Vejdirektoratet og Skov & Landskab, ISBN 87- 7903-119-6, p. 1-20.
- /8/ OECD (1989):
Curtailling usage of de-icing agents in winter maintenance. Road Transport Research. Organisation for Economic Co-operation and development (OECD). Paris, Frankrig, pp. 126.
- /9/ Dobson. M.C. (1991):
De-icing Salt Damage to Trees and Shrubs. Forestry Commission Bulletin 101, pp. 64.
- /10/ Cheng, K.C. & Guthrie, T.F. (1998):
Liquid Road Deicing Environment Impact. Levelton Engineering Solutions, pp. 34.
- /11/ Canada Environmental Protection Act, 1999 (2001):
Priority Substances List Assessment Report. Road Salts. Environment Canada, Health Canada, Minister of Public Works and Government Services 2001, pp. 170.
- /12/ Bernstein, L. Francois L.E., & Clark R.A. (1972):
Salt tolerance of Ornamental Shrubs and ground covers. Journal of American Society of Horticultural Science, 97, 550-556.
- /13/ Pedersen, L.B. Randrup, T.B., Ingerslev, M., & Krag M. (2000):
Vejsaltets spredning til vejbeplantninger. Effekt af beskyttelsestype og vejafstand II (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Frederiksborg Amt.
- /14/ Pedersen, L.B. & Ingerslev, M. (2000):
Saltlage er ikke nok til at redde træerne fra saltstress. Grønt Miljø, 2, 52.
- /15/ Pedersen, L.B., Randrup, T.B., & Ingerslev, M. (2001):
Fire grunde til at bytræerne skranter. Fire grunde til at bytræerne skranter. Grønt Miljø, 76-81.
- /16/ Pedersen, L.B., Ingerslev, M., Randrup, T.B. & Krag M. (2001):

- Vejsalt og beskyttelsesforanstaltninger II. (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Københavns Amt.
- /17/ *Pedersen, L.B. & Krag, M.M., (2005):*
 Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej, 1997-2005. pp. 21.
- /18/ *Ramakrishna, D.M. & Viraraghavan, T (2005):*
 Environmental impact of chemical deicers – a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 166, 49-63.
- /19/ *Hanes, R.E., Zelazny, L.W., Verghese, K.G., Bosshart, R.P. Carson, E.W., Blaser Jr., R.E. & Wolf, D.D. (1976):*
 Effects of deicing Salts on plant biota and soil, Experimental Phase. Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program Report no. 170.
- /20/ *Höbel, S., Gerdsmeyer, J., Mellin, A. & Greven, H. (1992):*
 The effects of two thawing salts on thawing Salts on Enchytraiders of a Meadow Soil. *Zool. Anz.*, 228, 107-128.
- /21/ *Escheverri, N. (2006):*
 Effects of road salt run-off on Cyanophyta and Tricoptera in Lake Atawapaskat, New York. *Journal of Atawapaskat Research*, 3, 27-32.
- /22/ *Kausdal, S.S., Groffman, P.M., Likens, G.E., Belt, K.T., Stack, W.P., Kelly, V.R., Band, L.E. & Fisher, G.T. (2005):*
 Increased salinization of fresh water in the northeastern United States. *PNAS online published*, 102, 13517-13520.
- /23/ *Pillon, P.E. & Howard, K.W.F (1987):*
 Contamination of subsurface waters by de-icing chemicals. *Water Pollution Research Journal Canada*, 22, 157-171.
- /24/ *Howard, K. (1998):*
 Monitoring the impact of road maintenance chemicals on groundwater. I Nysten, T.H. & Suokko T. (eds.): *Deicing and dustbinding – Risk to aquifers. Proc. Int. Symp. Helsinki 14-16 Oct. 1998. NHP Report 43. Finish Environment Institute, Helsinki.*, p.193-200.
- /25/ *Gustafson, J. & Nysten, T. (2000):*
 Trends of chloride concentration in groundwater and results of risk assessment of road salting on groundwater areas in Finland. I Bjerg, P.L., Engesgaard, P. & Krom, T.D. (eds): *Proceedings of the International Conference on Groundwater Research, Copenhagen, 6-8 June 2000, A.A.Balkema, Rotterdam, The Netherlands.*, p. 249-251.
- /26/ *Transportation Research Board (1991):*
 Highway deicing. Comparing Salt and Calcium Magnesium Acetate. National Research Council, Washington D.C., Committee on the Comparative Costs of Rock Salt and Calcium Magnesium Acetate (CMA) for Highway Deicing, special Report 235., ISBN 0-309-05123-1, pp 163.
- /27/ *Watson L.R., Bayless E.R. , Buszka, P.M. & Wilson, J.T. (2002):*
 Effects of highway-Deicer Application on Ground-Water Quality, Northwestern Indiana. U.S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 01-4260. Prepared in cooperation with the Indiana Department of Transportation, Indianapolis, Indiana, pp. 153.
- /28/ *Alppivuori, K. Leppänen, A., Anila M. & Mäkelä, K. (1995):*
 Road traffic in winter. *Tielaitos, Finna Reports*, 57.

- /29/ *Yunping, X. & Zhaohui, X. (2002):*
Corrosion effects of Magnesium Chloride and Sodium Chloride on Automobile Components. University of Colorado, Report no. CDOT-DTD-R-2002-4, pp. 91.
- /30/ *Fishel M. (2001):*
Evaluation of selected deicers based on a review of the literature. Colorado Department of Transportation, CDOT-DTD-R-2001-15, pp. 273
- /31/ *Pedersen, L.B. & Knudsen, J. J. (2006):*
Virkning af saltværn, hævet vejrabat og afstand til vejkant. Stads & haveingeniøren, 1, 24-27.
- /32/ *Pedersen, L. B. & Holgersen, S. (2006):*
Hævet vejrabat dæmper saltskader. Grønt Miljø, 2, 10-11.
- /33/ *Pedersen, L. B. (2006):*
Reduktion af saltbelastning– forsøg med hævede vejrabatter, saltværn og afstand mellem vejkant og planter, Videnblade Park og Landskab, 3,2-7.
- /34/ *Pedersen, L.B. (2006):*
Anvendelse af alternative tømidler i Københavns Kommunes vintertjeneste. Delprojekt: Virkning på beplantninger og jord.
- /35/ *Vej og Park (2004).*
Miljøreddegørelse 2003. pp. 60.
- /36/ *Fischel, M. (2001):*
Evaluation of selected deicers base don a review of the literature. Colorado Department of Transportation Research Branch. Report No. CDOT-DTD-R-2001-15, pp. 117
- /37/ *Hellstén, P.P., Kivimäki, A-L, Miettinen, I.Y., Mäkinen, R.P., Salminen, J.M. & Nystén, T.H. (2005):*
Degradation of Potassium Formate in the Unsaturated Zone of a Sandy Aquifer. J. Environ. Qual., 34, 1665-1671.
- /38/ *Mangold, T. (2000):*
Road salt use for Winter Maintenance. A Review of Impacts, Alternatives, and Recommendations for the St. Paul Campus Stormwater Management Plan.
- /39/ *Chollar, B.H. (1984):*
Federal Highway Administration Research on Calcium Magnesium Acetate – An Alternative Deicer, Public Roads, 47, 113-117.
- /40/ *Brod, H. (1993):*
Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1-165.
- /41/ *Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998):*
Vejsalt, træer og buske.
Spørgeskemaundersøgelse om vejsaltning, planteskader og beskyttelse af vedplanter langs veje og gader i Danmark. Rapport 142, pp 93.
- /42/ *Pilon, P.E. & Howard, K.W.F (1987):*
Contamination of subsurface waters by road de-icing chemicals. Water Pollut. Res. J. Can., 22, 157-171.
- /43/ *Howard, K. (1998):*
Monitoring the impact of road maintenance chemicals on groundwater. I Nystén T. & Suokko T. (ed): Deicing and dustbinding – risk to aquifers. Proc. Int. Symp., Helsinki, 14-16 Oct. 1998, Report 43, Finnish Environ. Inst., Helsinki., 193-200.

- /44/ *Gustafsson, J. & Nystén T. (2000):*
Trends of Chloride concentration in groundwater and results of risk assessment of road salting in Finland. I: Bjerg, P.L., Engesgaard, P. & Krom, T.D. et al (ed): Groundwater 2000. Proc. Int. Conf. on Groundwater Research, Copenhagen, 6-8 June 2000. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, p. 249-251.
- /45/ *Watson, L.R., Bayless, E.R., Buszka, P.M. & Wilson, J.T. (2002):*
Effects of Highway-Deicer Application on Ground-Water Quality in a Part of the Calumet Aquifer, Northwestern Indiana. U.S. Geological
- /46/ *Sarwar, G., Rudolph, D.L., Campbell, J.D. & Johnston, C. (2002):*
Field characterization of road salt impacts on groundwater resources in an urban setting, Kitchener, Ontario. 3rd Annual Joint IAH-CNC and Can. Geotech. Society Conference, Niagara Falls, Ont., October, pp. 457-464.
- /47/ *Bester, M.L., Frind, E.O., Molson, J.W. & Rudolph D.L. (2006):*
Numerical Investigation of Road Salt Impact on an Urban Wellfield, Ground Water 44 (2), 165–175.
- /48/ *Howard, K.W.F. & Haynes, J., (1993):*
Groundwater contamination due to road de-icing chemicals - salt balance implications. Geoscience Canada 20, 1-8.
- /49/ *Granato, G. Church, P.E. & Stone, V.J. (1995):*
Mobilization of Major and Trace Constituents of Highway Runoff in Groundwater Caused by Deicing Chemical Migration. Transportation Research Record, No. 1483., p. 1-14.
- /50/ *Hanes, R.E., Zelazny, L.W. & Blaser, R.E. (1970):*
Effects of deicing Salts on Water Quality and Biota. NCHRP Report 91, HRB, National Research Council, Washington, D.C.
- /51/ *Hanes, R.E, Zelazny L.W., Verghese K.G., Bosshart R.P., Carson E.W., Blaser R.E. & D.D. Wolf (1976):*
Effects of deicing salts on plant biota and soil. Experimental phase. National cooperative Highway Research Program Report, 170, 1-88.
- /52/ *Davidson, A.W. (1971):*
The Effects of De-icing salt on roadside verges. Journal of Applied Ecology, 8, 555-561.
- /53/ *Holmes, F.W. & Baker, J.H. (1966):*
Salt injury to trees. II Sodium and Chloride in Roadside Sugar Maples in Massachusetts. Phytopathology, 56, 633-636.
- /54/ *Gibbs, J.N. & Palmer, C.A. (1994):*
A survey of damage to roadside trees in London caused by the application of de-icing salt during the 1990/91 winter. Agricultural Journal, 18, 321-343.
- /55/ *Fleck, A.M., Lacki, M.J. & Sutherland, J. (1988):*
Response by White Birch (*Betula papyrifera*) to Road Salt Applications at Cascade Lakes, New York. Journal of Environmental Management, 27, 369-377.
- /56/ *Amrhein, C. & Strong, J.E. (1990):*
The effect of deicing Salts on Trace Metal Mobility in Roadside Soils. Journal of Environmental Quality, 19, 765-772.
- /57/ *Bogemans, J., Neirinckx, L. & Stassart (1989):*
Effect of deicing chloride salts on ion accumulation in spruce (*Picea*

- abies (L.) sp.), *Plant and Soil*, 113, 3-11.
- /58/ *Bryson, G.M. & Barker, A.V. (2002):*
Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.*, 33, 67-78.
- /59/ *Brod, H. (1989):*
Soil properties and soil ameliorative measure after application of de-icing salt (NaCl). *Zeitschrift für Vegetationstechnik*, 12, 99-105.
- /60/ *Howard, K.W.F. & Beck, P.J. (1993).*
HYdrochemical implications of groundwater contamination by road de-icing chemicals. *Journal of Contaminant hydrology*, 12, 245-268.
- /61/ *Ostendorf, D.W., Hinlein, E.S., Rotaru, C. & DeGroot, D.J. (2006):*
Contamination of groundwater by outdoor highway deicing agent storage. *Journal of hydrology*, 326, 109-121
- /62/ *Miller, B.K. & Litvaitis, J.A. (1992):*
Use of roadside salt licks by moose, *Alces alces*, in northern New Hampshire. *Can. Field-Nat*, 106, 112-117.
- /63/ *Hubbs, A.H. & Boonstra, R. (1995):*
Study design to access the effects of highway median barriers on wildlife. Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation (MAT-94-03).
- /64/ *Trainer, D.O. & Karstad, L. (1960):*
Salt poisoning in Wisconsin wildlife. *J. Am. Vet. Med. Assoc*, 13, 614-617.
- /65/ *Kausdal S.S., Groffman, P.M., Likens, G.E., Belt, K.T., Stack, W.P., Kelly, V.R., Band, L.E. & Fisher, G.T. (2005):*
Increased salinization of fresh water in the northeastern United States. *PNAS*, 102, 13517-13520.
- /66/ *Oberts, G., Marsalek, J., Viklander, M. (2000):*
Review of Water Quality impacts of winter operation of urban drainage. *Water Quality Research Journal of Canada*, 35, 781-808.
- /67/ *Novotny, V., Smith, D., Kuemmel, D., Mastriano, T. & Bartosova (1999):*
Urban and highway snowmelt: Minimizing the impact on receiving water. Project 94-IRM-2. Water Environment Foundation, Alexandria, VA.
- /68/ *Gontier, M. (2001):*
Vulnerability assessment for de-icing salt contamination of private wells. AMOV-EX-2001-12.
- /69/ *Sierra Legal defence fond & Riversides (2006):*
A low salt diet for Ontario's Roads and Rivers. ISBN 0-9780145-0-2. pp. 40.
- /70/ *Öberg, G. (2006):*
Tema Vintermodell. Fordonskorrosion beroende på vintervägsaltning. Kunskapssammanställning. VTI notat 24-2006, VTI Linköping Sverige, pp.40.
- /71/ *Legislative Transportation Committee (2001):*
Performance Monitoring of the 1999-2001 Transportation Appropriation Act, Executive summary, State of Washington, pp. 17.
- /72/ *Glacial Technologies (2007):*
<http://www.anti-icers.com/>
- /73/ *Meltsnow.Com (2007): Blodtryk, forhøjet/74/ Kemira (2007):*
Clearway deicers. The fast and effective way to melt ice and snow. Pp 10.

- /75/ Meyer, F. & Nygaard, H. (2001):
Statusrapport. Alternative tømidler. Fase 1 –egenskaber, data og afprø-
ning. Carl Bro AS, pp. 72.
- /76/ Anon, (2006):
Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsan-
læg. BEK nr 871 af 21/09/2001 & BEK Nr. 1664 af 14/12/2006
[Http://147.29.40.90/DELFIN/HTML/B2001/0087105.htm](http://147.29.40.90/DELFIN/HTML/B2001/0087105.htm)
- /77/ Hjerteforeningen (2007):
Blodtryk, forhøjet, <http://www.hjerteforeningen.dk/sw5683.asp>
- /78/ Nilausen L. & Ohm, A. (2002):
Metoder til værdisætning af dansk vejtrafiks forurening af jord og
grundvand (Methods for valuation of soil and groundwater contaminati-
on by Danish road traffic), Environmental Project No. 712, Danish EPA
2002. <http://glwww.mst.dk/udgiv/NyViden/2002/87-7972-204-0.htm>
- /79/ Miljøministeriet (2007):
Metoder til værdisætning af dansk vejtrafiks forurening af jord og
grundvand. [http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.
asp?pg=](http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?pg=)
[http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2002/87-7972-204-0/html/
kap04.htm](http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2002/87-7972-204-0/html/kap04.htm)
- /80/ Rønne Vand- og Varmeforsyning A.m.b.a. (2007):
Gode råd om miljø og ukrudtsmidler. [http://www.rvv.dk/default_
2.asp?ID=449](http://www.rvv.dk/default_2.asp?ID=449)
- /81/ Frederiksborg Amt (2003):
Indsatsplan for grundvandsbeskyttelse, Frederiksværk Nord, Teknik &
Miljø, pp. 18.
- /82/ Cowi (2006):
Frederikshavn Kommune. Forsyningen. Indsatsplan for grundvandsud-
nyttelse i OSD 4. Overudnyttelse af vandressourcen. Notat. pp. 7.
- /83/ Egebjerg Kommune (2004):
Referat fra Teknik og Miljøudvalget 21 september 2004.
[http://216.239.59.104/search?q=cache:lfdjMAUue7MJ:www.egebjerg.
dk/meeting/teknikmiljo/teknikmiljo_20040921_ref.pdf+vejsalt+grundv
and&hl=da&ct=clnk&cd=24&gl=dk](http://216.239.59.104/search?q=cache:lfdjMAUue7MJ:www.egebjerg.dk/meeting/teknikmiljo/teknikmiljo_20040921_ref.pdf+vejsalt+grundvand&hl=da&ct=clnk&cd=24&gl=dk)
- /84/ Juhler, R., Jacobsen, O.S., Larsen, C.L., Nilsson B. & van deer Keur, P.
(2004):
Afklaringsprojekt om nedsivning af husspildevand, Danva, ISBN 87-
90455-44-4, pp. 66.
- /85/ Århus Amt (2005):
Delrapport II. Detailkortlægning. Redegørelse for grundvandsresoru-
cerne i Århus Nord området., pp 82.
- /86/ AV Miljø (2005):
Årsrapport 2005. Uggeløse losseplads, pp. 10.
- /87/ Carlson, B.B.; Nielsen, M.Æ.; Bjerg, P.L.; Christensen, T.H. & Pedersen,
J.K. (1998):
Vejsalt genfindes i høje koncentrationer i grundvandet. Stads- og Havne-
ingeniøren, 1998. Vol. 89, (3). pp. 32-36.
- /88/ Miljøstyrelsen (2006):
Evaluering af Program for renere produkter – Bilagsrapport. [http://
www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?pg=http://www2](http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?pg=http://www2)

- mst.dk/Udgiv/publikationer/2006/87-7052-089-5/html/kap01.htm
- /89/ Århus Kommunale Værker (2001):
Beskyttelsesplan for grundvandet i Kastedområdet. Delrapport 2: Plan for grundvandsbeskyttelsesindsatsen, maj 2001.
- /90/ Eyles, N, & Howard, K.W.F. (1988):
Urban landsliding caused by heavy rains: Geochemical identification of recharge waters along the Scarborough Bluffs, Toronto, Ontario. *Can. Geotech. J.*, 25, 455-466.
- /91/ Frederiksberg Kommune (2005):
Grundvandsplan 2005-2008. Teknisk direktorat, Miljøafdelingen, Stadslandinspektøren. pp. 48.
- /92/ Labadia, C.F. & Buttle, J.M., 1996:
Road salt accumulation in highway snow banks and transport through the unsaturated zone of the Oak Ridges Moraine, southern Ontario. *Hydrological Processes*, 10, 1575-1589.
- /93/ Bubeck, R.C., Diment, W.H., Deck, B.L., Baldwin, A.L. & Lipton, S.D. (1971):
Science, 172, 1128-1132.
- /94/ Rosenberry, D.O., Bukaveckas, P.A., Buso, D.C., Likens, G.E., Shapiro A.M. & Winter, T.C. (1999):
Movement of road salt to a small New Hampshire lake. *Water, Air, Soil Pollution* 109:179-206.
- /95/ Mason, C. F., Norton, S. A., Fernandez, I. J., & Katz, L. E. (1999):
Deconstruction of the chemical effects of road salt on stream water chemistry: *J. Environ. Qual.*, 28, 82-91.
- /96/ Fitch, G.M., Smith, J.A. & Bartelt-Hunt, S. (2004):
Characterization and Environmental management of Stormwater Runoff from Road-salt storage facilities. Virginia Transportation Research Council, VTRC 05-R15, pp. 20.
- /97/ Storstrøms Amt (2003):
Bilag 2. Uddybende beskrivelse af indsatser. <http://www.stam.dk/get/24729253.html>
- /98/ Nygaard, P. (2000):
Grundvandsovervågning 2000 – Grundvandets hovedbestanddele, Geografforlaget Aps, , 17-38.
- /99/ Pedersen, L.B. & Bille-Hansen, J. (1995):
Effects of Airborne Sea Salts on Soil Water Acidification and Leaching of Aluminium in Different Forest Ecosystems in Denmark. *Plant and Soil*, 168-169, 365-372.
- /100/ Pedersen, L. B. (1992):
Throughfall chemistry of sitka Spruce Stands as Influenced by Tree Spacing. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 7, 433-444.
- /101/ Pedersen, L.B. (1993):
Stofkredsløb i sitkagran, rødgran og bøgebevoksninger i Danmark. Forskningsserien, Forskningscentret for Skov og Landskab (Ph.D. dissertation). The Research Series, Vol. 1. Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm. 252 pp.
- /102/ Panno, S.V., Hackley, K.C., Greenberg, S.E., Krapac, I.G., Landsberger, S. & O'Kelly, D.J. (2006):
Characterization and identification of Na-Cl Sources in Ground Water.

- Ground Water, 44 (2), 176-187.
- /103/ Panno, S.V., K.C. Hackley, H.H. Hwang, S. Greenberg, I.G. Krapac, S. Landsberger and D.J. O'Kelly. (2002):
Source identification of sodium and chloride contamination in natural waters: Preliminary results. In Proceedings of the 12th Annual Conference of the Illinois Groundwater Consortium. www.siu.edu/orca/igc/index.html. April 22, 2002, Makanda, IL.
- /104/ EU (2000):
Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official L 327; 22/12/2000; pp 0001-0073/.
- /105/ Demers, C.L. & Sage, R.W. (1990):
Effects of Road Deicing Salt on Chloride Levels in Four Adirondack Streams. *Water, Air, and Soil Pollution*, 49, 369-373.
- /106/ Thunquist, E-L.J. (2003):
Bedömning av Cl-koncentration ytvatten och grundvatten till följd av vägsaltning. ph.D. thesis, TRITA-LWR-PHD 1006, Kungl tekniska Högskolan, pp. 21.
- /107/ Koryak, M., Stafford, L.J., Reilly, R.J. & Magnuson, P.M. (2001):
Highway Deicing Salt Runoff Events and Major Ion Concentrations along a Small Urban Stream. *Journal of Freshwater Ecology*, 16 (1), 125-134.
- /108/ Godwin, M., Hafner, S.D. & Buff, M.F. (2001):
Long-term trends in sodium og chloride in the Mohawk River, New York: The effects of fifty years of road-salt application. *Environmental Pollution*, 124, 273-281.
- /109/ Jackson, R.B. & Jobaggy, E.G. (2005):
From icy roads to salty rivers. *PNAS*, 102 (42), 14487-14488.
- /110/ Williams D.D., Williams N.E. & Cao, Y. (2000):
Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water research*, 34 (1), 127-138.
- /111/ Forman T.T.R. & Alexander, L.E., (1998):
Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207-231.
- /112/ Wegner, W. & Yaggi, M. (2001):
Environmental Impacts of road salt and alternatives in the New York City Watershed, *Stormwater*, 2 (5), http://www.forester.net/sw_0107_environmental.html
- /113/ Lundmark, A. (2005):
Modellering the Impacts of deicing salt on soil weater in a roadside environment. ph.D. thesis, TRITA-LWR-LIC 2024, pp. 22.
- /114/ Århus Amt (2007):
Delrapport II detailkortlægning. Frijsenborg-Foldbydalen boringer. http://www.nm.aaa.dk/publikat/pdf/2-6_delrapp_AarhusN_Net.DK
- /115/ Ribe Amt (2002):
Grundvand. Vandmiljø overvågning. [http://www.ncs01ext.ribeamt.dk/web/publik.nsf/0/a7fde462aa55ce0e41256d43003d9af4/\\$File/grundvand2002.pdf](http://www.ncs01ext.ribeamt.dk/web/publik.nsf/0/a7fde462aa55ce0e41256d43003d9af4/$File/grundvand2002.pdf)
- /116/ Carlson, B.B., Nielsen, M.Æ., Bjerg, P.L., Christensen, T.H. & Pedersen,

- J.K. (1998):*
Vejsalt genfindes i høje koncentrationer i grundvandet. Stads- og havneingeniøren, 3, 32-36.
- /117/ Foos, A. (2003):*
Spatial distribution of road salt contamination of natural springs and seeps, Cuyahoga Falls, Ohio, USA. Environmental Geology, 44, 14-19.
- /118/ Drikkevand I Frederiksborg Amt VVV (2007):*
http://www.fa.dk/tekmil/Miljo/vvv/Grundvandsatlas/Sider%20fraGrundvandsatlas_Frb_Amt_26-27.pdf og http://www.fa.dk/tekmil/Miljo/vvv/Grundvandsatlas/Sider%20fraGrundvandsatlas_Frb_Amt_36-37.pdf
- /119/ Ihns, A. & Gustafson, K. (1996):*
Kalciummagnesiumacetat (CMA) – ett alternativt halkbekämpningsmedel. Litteraturstudie. Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI meddelande, nr. 789, pp.32.
- /120/ Hellstén, P.P., Salminen, J.M., Jørgensen, K. & Nystén, T.H. (2005):*
Use of Potassium Formate in Road Winter Deicing Can Reduce Groundwater Detoriation. Environ. Sci. Technol., 39, 5095-5100.
- /121/ French, H.K., Van der Zee, S.E.A.T.M. & Leijnse, A. (2001).*
Transport and degradation of propyleneglycol and potassium acetate in the unsaturated zone. J. Contam.Hydrol., 2001, 23-48.
- /122/ Tanner, D.Q. & Tamara, M.W. (2000):*
The Effects of Calcium Magnesium Acetate (CMA) Deicing Material on the Water Quality of Bear Creek, Clackamas Country, Oregon, 1999. Water-Resources Investigations Report 00-4092, US Department of the Interior, US Geological survey, Portland, Oregon, pp. 1-22.
- /123/ Connolly, J.P., Paquin, P.R., Mulligan, T.J., Wu, K.B. & Davanzo, L. (1990):*
Calcium Magnesium Acetate and its impacts on surface waters. I Goldman, C.R. & Malyj, G.J. (eds): The Environmental Impact of Highway Deicing – Proceedings of a symposium held October 13, 1989 at the University of California, Davis Campus: Institute of Ecology, no. 33, 140-156.
- /124/ Horner, R.R. (1988):*
National Cooperative Highway Research Program Report 305: Environmental monitoring and evaluation af calcium magnesium acetate (CMA), Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp 27.
- /125/ McFarland, B. L. & O', Reilly, K. T. (1992):*
Environmental impact and toxicological characteristics of calcium magnesium acetate. I D'Itrie, F. M. (ed). Chemical Deicers and the Environment Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 194–227.
- /126/ Thunqvist, E-L. (2005):*
Regional increase af mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt. Science of the Total Environment, 325, 29-37.
- /127/ Siver, P.A., Canavan, R.W., Field, C.K., Marsicano, L.J. & Lott, A.M. (1996):*
Historical changes in Connecticut lakes over a 55-year period. Journal of Environmental Quality, 25 (2), 334-345.
- /128/ Mattson, M.D. & Godfrey, P.J. (1994):*

- Identification of Road Salt Contamination Using Multiple Regression and GIS. *Environmental Management*, 18 (5), 767-773.
- /129/ *Bang, S.S. & Johnston, D. (1998):*
Environmental Effects of Sodium Acetate (Formate Deicer, Ice Shear™). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 35, 580-587.
- /130/ *Ostendorf, D. W., DeGroot, D.J., Pollock, S.J. & Gagnon, P.J. (1995):*
Aerobic acetate degradation near the capillary fringe of road soil: Field simulations from soil microcosms. *J. Environ Qual.*, 24, 334-341.
- /131/ *Coglan, A. (1990):*
A salt free diet for ailing roads. *New Sci.*, 17, 34.
- /132/ *Davis, G., Krannitz, G.S. & Goldstein, M. (1992):*
A Reconnaissance Study of Roadside Tree Injury and Decline at 17 sites in Interior B.C. Roadside Tree Injury Committee, Victoria. B.C., pp 37.
- /133/ *Meyer, F. & Grarup, A. (2003):*
Alternative tømidler. Fase 2 – virkning på asfalt, stål og galvaniseret stål samt miljøaspekter. Carl Bro AS.
- /134/ *Winters, G., Gidley, J. & Hunt, H. (1985):*
Environmental Evaluation of CMA. Report FHWA-RD-84-095, FHWA, USA, pp. 113.
- /135/ *Ihs, A. & Gustafson, K. (1996):*
Kalciummagnesiumacetat (CMA) – ett alternativt halkbekämpningsmedel. Litteraturstudie. VTI meddelande 789, Väg- och transportforskningsinstitutet, Vägverket, pp. 32.
- /136/ *Huling, E., E. & Hollocher, T.C. (1972):*
Groundwater Contamination by road salt: Steady-state Concentrations in East Central Massachusetts. *Science*, 176, 288-290.
- /137/ *Dunn, S.A. & Schenk, R.U. (1979):*
Alternative Highway Deicing Chemicals. Transportation Research Board Special Report, Transportation Research Board, ISSN: 0360-859X, 261-269.
- /138/ *Winters, G., Gidley, J. & Hunt, H. (1985):*
Environmental Evaluation of CMA. Report FHWA-RD-84-095. FHWA, US Department of Transportation, pp. 74.
- /139/ *Bäckman, L. (1980):*
Vintervägsaltets miljöpåverkan, VTI Rapport, 197, National Road and Traffic Research Institute, Linköping, pp.62.
- /140/ *Bäckman, L. (1997):*
Vintervägsaltets miljöpåverkan, Resultat av jord- och grundvattenprovtagningar vid observationsområden i Skaraborgs län 1994-1996, VTI-notat, 25-1997, Swedish Road and Transport Research Institute, Linköping.
- /141/ *Knutsson, G., Maxe, L., Olofsson, B. & Jacks, G. (1998):*
The Origin of increased chloride content in the groundwater at Uplands Väsby. I: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 223-231.
- /142/ *Rosén, B., Lindmark, P., Knutz, Å. & Svenson, T. (1998):*
Municipal well along highway damaged by deicing – a local case study at Brännebrona, Sweden. I: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 245-251.

/143/ Olofsson, B. & Sandström, S. (1998):

Increased salinity in private drilled wells in Sweden – natural or Man-made? I: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 75-81.

/144/ Kjølholt, J., Poll, C & Jensen, F.K. (1997):

Miljøfremmede stoffer i overfladeafstrømning fra befæstede arealer. Miljøprojekt nr. 355 fra Miljøstyrelsen.

/145/ Hanes, R.E., Zelazny, L.W., Verghese, K.G., Bosshart, R.P, Carson, E.W. Jr., Blaser, R.E., & Wolf, D.D. (1976):

Effects of deicing salts on plant biota and soil. Experimental phase. National Cooperative Highway Research Program, Transportation research Board, National Research Council, Report 170, pp. 88.

/146/ Cancilla, D. A., Baird, J. C. & Rosa, R. (2003):

Detection of aircraft deicing additives in groundwater and soil samples from Fairchild Air Force Base, a small to moderate user of deicing fluids. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 70, 868-875.

/147/ Corsi, S. R., Geis, S. W., Loyo-Rosales, J. E., Rice, C. P., Sheesley, R. J., Failey, G. G. & Cancilla, D. A. (2006):

Characterization of aircraft deicer and anti-icer components and toxicity in airport snowbanks and snowmelt runoff. Environmental Science & Technology, vol. 40, 3195-3202.

/148/ Corsi, S. R., Zitomer, D. H., Field, J. A. & Cancilla, D. A. (2003):

Nonylphenol ethoxylates and other additives in aircraft deicers, antiicers, and waters receiving airport runoff. Environmental Science & Technology, vol. 37, 4031-4037.

/149/ Pedersen, L.B. (1993):

Stofkredsløb i sitkagran, rødgran og bøgebevoksninger i Danmark. Ph.d.-thesis, Forskningsserien, 1, Forskningscentret for Skov & Landskab, pp. 252.

/150/ Hansen, K., Bastrup-Birk, A., Bille-Hansen, J., Vesterdal, L. & Gundersen, P. (2003):

Jordbundens rolle i skoven. I: Hansen, K, (ed): Næringsstofkredsløb i skove – Ionbalanceprojektet. Forest and Landscape Research, 33, pp. 300.

/151/ Pedersen, L.B., Buttenschön, R.M., Friies, E. & Nielsen B.O. (2001):

Husdyrgræsningens effekt på stofkredsløb. I: Pedersen, L.B., Buttenschön, R.M. & Jensen, T.S.: Græsning på ekstensivt drevne naturarealer – effekter på stofkredsløb og naturindhold. Park- og Landskabsserien, 34, Skov & Landskab, pp. 184.

/152/ Pedersen, L.B. (2004):

Effekt af saltværn, vejafstand og hævet vejrabat. Rapport nr. 4 om virkningen af vejsalt på vejrabatterne på Nørre Allé og Lyngbyvejen, Intern rapport. pp 65.

/153/ Gundersen, Friis, E. & Hansen, K. (2001):

Nitratudvaskning fra skovrejsning og vedvarende græsarealer 1998-2001 – Drastrup-projektet. Arbejdsrapport, Skov & Landskab og Ålborg Kommune, pp.30.

/154/ Basttrup-Pedersen, A., Friberg, N., Pedersen, M.L., Skriver, J., Kron-

- vang, B. & Larsen, S.E. (2004):*
Anvendelse af vandrammedirektivet i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU, 499, Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøministeriet, pp. 145.
- /155/ Bentzen, T.R. & Thorndal, S. (2004):*
Numerisk modellering af vand- og stoftransport ved afvanding af motorveje. Afgangprojekt ved Civilingeniøruddannelsen ved Aalborg Universitet, pp. 165.
- /156/ Jones, P.H. & Jeffrey, B.A. (1992):*
Environmental impact of road salting. I D'Itri, F.H.M. (ed): Chemical Deicers and the Environment Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 1-9
- /157/ Gales, E.J. & Vandermuelen, J. (1992):*
Deicing chemical use on the Michigan state highway system. I D'Itri (ed), F.M.: Chemical Deicers and the Environment Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 135-184.
- /158/ Wilcox, D.A. (1986):*
Effects of Deicing Salts on Vegetation in Pinhook Bog, Indiana. Canadian Journal of Botany, 64 (4), 865-874.
- /159/ Vejdirektoratet (2004):* Ny højklasset vej i Frederikssundfingeren, <http://www.vejdirektoratet.dk/publikationer/VDrapp310/html/toc.htm>.
- /160/ Robidoux, P.Y. & Delisle, C.E. (2001).*
Ecotoxicological Evaluation of Three Deicers (NaCl, NaFo, CMA) – effect on terrestrial organisms. Ecotoxicology and Environmental Safety, 48, 128-139.
- /161/ Chadwick, M.A. & Feminella, J.W. (2001):*
Influence of Salinity and Temperature on the Growth and Production of a Freshwater Mayfly in the Lower Mobile River, Alabama. Limnology and Oceanography, 46 (3), 532-542.
- /162/ D'Itri, F.M. (ed.) (1992):*
Chemical Deicers and the Environment. Lewes Publishers, Michigan, International Standard book number 0-87371-705-8, pp. 585.
- /163/ LaPerriere, J.D. & Rea, C.L. (1989):*
Effects of calcium magnesium acetate deicer on small ponds in interior Alaska. Lake Reservoir Manage, 5 (2), 49-57.
- /164/ Albright, M. (2005):*
Changes in Water Quality in an Urban Stream Following the Use of Organically Derived Deicing Products. Lake and Reservoir Management, 21 (1), 119-124.
- /165/ Chang, H. & Carlson, T.N. (2005):*
Water quality during winter storm events in Spring Creek, Pennsylvania USA. Hydrobiologia, 544, 321-332.
- /166/ Goldman, C.R. & Lubnow, F.S. (1992):*
Seasonal influence of Calcium Magnesium Acetate on Microbial processes in 10 Northern Californian Lakes. Resources Conservation and Recycling, 7, 51-67.
- /167/ Blasius, B.J. & Merritt, R.W. (2002):*
Field and laboratory investigations on the effects of road salt (NaCl) on stream macroinvertebrate communities. Environmental Pollution, 120, 219-231.
- /168/ Vosyliénė, M.Z., Baltrėnas, P. & Kazlauskienė, A. (2006):*

- Toxicity of Road maintenance salts to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Ekologija*, 2, 15-20.
- /169/ Goldman, C.R., Lubnow, F.S. & Elser, J.J. (1992):
Environmental effects of calcium magnesium acetate on natural phytoplankton and bacterial communities in northern Californian lakes. I D'Itrie, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 231–244.
- /170/ Demers, C. (1992):
Effects of road deicing salt on aquatic invertebrates in four Adirondack streams. I D'Itrie, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 194–227.
- /171/ Kelsey, P.D. & Hootman, R.G. (1992):
Deicing dispersion and effects on vegetation along highways. Case study: Deicing salt deposition on the Morton Arboretum. I D'Itrie, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 254–227.
- /172/ Bernstein, L., Francois, L.E. & Clark, R.A. (1972):
Salt Tolerance of Ornamental Shrubs and Ground Covers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97, 550-556.
- /173/ Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997):
Skadevirkninger af vejsalt på træer og buske. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-1, pp. 2.
- /174/ Saxe, H., Müller, G.P., Randrup, T. & Pedersen, L.B. (2000):
Vejsalts optagelse i træer. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-9, pp. 2.
- /175/ Pedersen, L.B., Randrup, T.B. & Ingerslev, M. (1999):
Saltskader og afstanden til vejkanthen. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-7, pp. 2.
- /176/ Pedersen, L.B. & Christensen, C.J. (1999):
Effekter af vejsaltning på nordmannsgranjuletræer. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.8-2, pp. 2.
- /177/ Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1999):
Glatforebekæmpelse og saltskader.
- /178/ Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997):
Bestemmelse af saltindhold i jord og planter. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-2, pp. 2.
- /179/ Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1999):
Beskyttelse mod vejsalt. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-5, pp. 2.
- /180/ Pedersen, L.B., Randrup, T.B. & Ingerslev, M. (1999):
Halmmåtter som saltbeskyttelse. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-6, pp. 2.
- /181/ Sucoff, E. & Hong, S.G. & Wood, A. (1976): NaCl and Twig die-back Along Highways and Cold Hardiness of Highway Versus Garden Twigs. *Can. J. Bot.* 54, 2268-2274.
- /182/ Sucoff, E. (1975):
Effect of deicing salt on Woody Vegetation Along Minnesota Roads. *Minn. Agr. Expt. Sta. Tech. Bull.* 303, University of Minnesota, MN.
- /183/ Townshend, A.M. and Kwolek, W.F. (1987):
Response of Selected Tree Species to Sodium Chloride. *J. Amer. Soc.*

- Hort. Sci. 105, 878-883.
- /184/ *Hasselkus, E.R. & Rideout, R.B. (1979):*
Salt injury to Landscape Plants. University Extension Report, A2970, Madison, WI, pp. 4.
- /185/ *Hofstra, G.R., Hall, R. & Lumis, G.P. (1979):*
Studies of Salt-induced Damage to Roadside Plants in Ontario. *J.Arboric*, 5, 25-31.
- /186/ *Holmes, F.W. & Baker, J.H. (1966):*
Salt injury to Trees. II Sodium and Chloride in Roadside Sugar Maples in Massachusetts. *Phytopathology*, 56, 633-636.
- /187/ *Amrhein, C., Strong, J.E. & Mosher, P.A. (1992):*
Effect of Deicing Salts on Metal and Organic-Matter Mobilization in Roadside Soils. *Environmental Science & Technology* 26, 703-709.
- /188/ *Pedersen, L.B., Ingerslev, M. & Krag, M.M., (2003):*
Datarapport over jordkemiske målinger på Holte Stationsvej 2002/2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab. 6 pp.
- /189/ *Pedersen, L.B., Ingerslev, M. & Krag, M.M., (2003):*
Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej 1997-2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab. 21 pp.
- /190/ *Pedersen, L.B., Randrup, T.B. & Ingerslev, M. (2000):*
Effects of Road distance and Protective Measures on deicing NaCl Deposition and Soil Solution Chemistry in Planted Median Strips. *Journal of Arboriculture*, 26(5), 238-243.
- /191/ *Gjelstrup, P. (1992):*
Grøftekanten. *Natur og Museum*, 31 (2), pp.31.
- /192/ *Lewitt, J. (1972):*
Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, NY and London, pp. 561.
- /193/ *Prior, G.A. & Berthouex, G. (1967):*
A study of the salt pollution by highway salting. *Highway Research Record*, 193, 8-21.
- /194/ *Westing, A.H. (1969):* Plants and salts in the roadside Environment. *Phytopathology*, 59, 1174-1181.
- /195/ *Weissenhorn, I. (2002):*
Mychorrhiza and Salt Tolerance of Trees. EU-project MYCOREM (QLK3-1999-00097). The use of mychorrhizal fungi in phytoremediation projects. Final report of partner 9. Pius Floris Boomverzorging Nederland B.V., pp.36
- /196/ *Dixon, R.K., Rao, M.V. & Garg, V.K (1993):*
Salt stress affects in Vitro growth and in situ symbioses of ectomychorrhizal fungi. *Mychorrhiza*, 3, 63-68.
- /197/ *Paludan-Müller, G., Saxe, H., Pedersen, L.B. & Randrup, T.B. (2002):*
Differences in salt sensitivity of four deciduous species to soil or airborne salt. *Physiologia Plantarum*, 114, 223-230.
- /198/ *Zelazny, L.W, Blaser, R.E. & Hanes, R.E. (1970):*
Effects of De-icing salts on Roadside Soils and Vegetation. *Highway Research Record*, 335, 9-12.
- /199/ *Balder, H. & Nierste, J. (1987):*
Ökologische Auswirkungen eines tausalzfreien innerstädtischen Winterdienstes. *UMvelt Bundes Amt*, 87-058, pp. 69.

/200/ *Leh, H-O (1990):*

Investigations on health conditions of street trees after discontinued use of de-icing salts on streets in Berlin. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 42(9), 134-142.

/201/ *Sucoff, E. (1975):*

Effects of de-icing salt on woody vegetation along Minnesota roads. *Technical Bulletin*, 303. Forestry Series, 20, Minnesota Agricultural Experiment Station, pp. 49.

/202/ *Ruge, U. & Starch, W. (1968):*

Damage to street trees from deicing salts. *Angewandte Botanik*, 42, 69-77.

/203/ *Ruge, U. (1971):*

Recognition and prevention of de-icing damage on street trees in cities. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 23, 133-137.

/204/ *Hofstra, G. & Hall, R. (1971):*

Injury to roadside trees: Leaf injury on pine and white cedar in relation to foliar levels of sodium and chloride. *Canadian Journal of Botany*, 49, 613-622.

/205/ *Hofstra, G. & Lumis G.P. (1975):*

Levels of deicing salt producing injury on apple trees. *Canadian Journal of Plant Science*, 55, 113-115.

/206/ *Hall, R. Hofstra, G. & Lumis, G.P. (1972):*

Effects of deicing salt on eastern white pine: foliar injury, growth suppression and seasonal changes in foliar concentrations of sodium and chloride. *Canadian Journal of Forest Research*, 2, 244-249.

/207/ *Hall, R. Hofstra, G. & Lumis, G.P. (1973):*

Leaf necrosis of roadside sugar maple in Ontario in relation to elemental composition of soil and leaves. *Phytopathology*, 63, 1426-1427.

/208/ *French, D.W. (1959):*

Boulevard trees are damaged by salt applied to streets. *Minnesota Farm and Home Scientist*, 16, 9-23.

/209/ *Homes, F.W. & Baker, J.H. (1966):*

Salt injury to trees II. Sodium and Chloride in roadside sugar maples in Massachusetts. *Phytopathology*, 56, 633-636.

/210/ *Hedvard, T. (1972):*

Saltskader på vejtræer. Betænkning vedrørende skader på vejtræerne i Københavns Kommune som følge af brugen af salt i glatførebekæmpelsen om vinteren. *Stadsgartnerens kontor, Københavns Kommune*, pp. 137.

/211/ *Dragsted, J. (1973):*

Salskader langs en jysk landevej. *Dansk Skovforenings tidsskrift*, 58(1), 72-90.

/212/ *Dragsted, J. (1979):*

Salt stress in Norway Spruce, Sitka Spruce, and Birch. *Meddelelser fra Skovbrugsinstituttet*, række 2, no. 7., pp.53.

/213/ *Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998):*

Vejsalt, træer og buske – en spørgeskemaundersøgelse af landets forvaltninger om vejsaltning, planteskader og beskyttelse af vedplanter langs gader og veje i Danmark, rapport nr. 142, *Vejdirektoratet*, pp.106.

/214/ *Borup, P.W., Linneballe, J. A., Pedersen, L.B. & Randrup, T.B., (2005):*

- Patent: Skærmindretning til beskyttelse af planter mod vejsalte, støv, sand, slud m.v. March 14: PR 175830.
- /215/ *Jaquet, J, Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998):*
Vejsalt, træer og buske. Stads- og havneingeniøren, 4, 40-43.
- /216/ *Akbar, K.F., Headley, A.D., Hale, W.H.G. & Athar, M. (2006):*
A comparative study of de-icing salts (sodium chloride and calcium magnesium acetate) on the growth of some roadside Plants of England. J. Appl. Sci. Environ., 10, 67-71.
- /217/ *Wegner, W. & Yaggi, M, (2007):*
Environmental impacts of road salt and alternatives in the New York watershed. http://www.forester.net/sw_0107_environmental.Html
- /218/ *Bäckman, L. & Folkesson, L. (1995):*
The Influence of de-icing salt on vegetation, groundwater and soil along Highway E20 and 48 in Skaraborg County during 1994. Linköping, Swedish National Road and Transport Research Institute. VTI Meddelande 775A. 1-45.
- /219/ *Dragsted, J. (1988):*
Undersøgelse af nogle løvtræarters reaktion på saltbelastning. København, Fonden for træer og miljø. Fondsregistreringsnr. 000 233.
- /220/ *Gustafsson, A. & Gabrielsson, G. (2006):*
Vinterdrift. Sockerprodukter i kombination med NaCl. Vägverket Produktion, pp. 48.

Arbejdsrapporter Skov & Landskab

- Nr. 1 · 2004 Etablering af løvtræ på marginale landbrugsjorder
- Nr. 2 · 2004 Sekventiel udbringning af gødning til nordmannsgran juletræer
- Nr. 3 · 2004 Metroens effekt på ansattes transportadfærd
- Nr. 4 · 2004 Æstetisk sansning og naturvidenskabelig naturforståelse
- Nr. 5 · 2004 Data om friluftsliv og turisme i regionplanlægningen og amternes forvaltning
- Nr. 6 · 2005 Status og anbefalinger for friluftsliv i forbindelse med Nationalpark Nordsjælland
- Nr. 7 · 2005 Recirkulering af aske i skove
- Nr. 8 · 2005 Biomasse til energiformål
- Nr. 9 · 2005 Forsøg på bekæmpelse af Blåtop på Randbøl Hede
- Nr. 10 · 2005 Kommunale udbud af grønne driftsopgaver 1997-2003
- Nr. 11 · 2005 Genetablering af skov på stormfaldsarealer ved naturlig foryngelse
- Nr. 12 · 2005 Vorsø Skov VI
- Nr. 13 · 2005 Skærmstilling og underbeplantning af rødgran i Gludsted Plantage
- Nr. 14 · 2005 Værdisætning af de danske lyngheder
- Nr. 15 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg på hellearealer
- Nr. 16 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg med cykelstikanter
- Nr. 17 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg langs kantsten
- Nr. 18 · 2005 Pesticidfri vejdrift - Forsøg i nødspor på den sønderjyske motorvej
- Nr. 19 · 2007 Brugerundersøgelse for Skov & Landskab 2007
- Nr. 20 · 2005 Landskabskaraktermetoden - et kompendium
- Nr. 21 · 2005 Kommuners og pendlerregioners sårbarhed over for outsourcing
- Nr. 22 · 2005 Endnu ikke udgivet
- Nr. 23 · 2005 ESPON og NERP i Danmark
- Nr. 24 · 2006 Vegetationsudvikling og nitratudvaskning ved ændret arealanvendelse
- Nr. 25 · 2006 Undersøgelse af forskellige dækrodssystemer for bøg og eg ved udplantning i skov
- Nr. 26 · 2006 Endnu ikke udgivet
- Nr. 27 · 2006 Evaluering af træplantningsmetoder i Københavns Kommune
- Nr. 28 · 2006 Værdisætning af syv mulige nationalparker i D
- Nr. 29 · 2006 Skovforædlingens sløgtsskabssystem - SFS Databasen
- Nr. 30 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2001
- Nr. 31 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2002
- Nr. 32 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2003
- Nr. 33 · 2006 De danske skoves sundhedstilstand 2004
- Nr. 34 · 2006 Nye spilleregler i dansk naturpolitik?
- Nr. 35 · 2007 Endnu ikke udgivet
- Nr. 36 · 2007 Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen