



# Vejsalt, træer og buske

En litteraturundersøgelse om  
NaCl's effekter på vedplanter langs veje

Udarbejdet af:

Landskabsarkitekt, Ph.D. Thomas Barfoed Randrup  
& Biolog, Ph.D. Lars Bo Pedersen

Forskningscentret for Skov & Landskab



Vejdirektoratet

## Indholdsfortegnelse

<b>1. Forord</b>	<b>5</b>		
<b>2. Sammenfatning</b>	<b>6</b>		
<b>3. Summary</b>	<b>8</b>		
<b>4. Formål</b>	<b>10</b>		
<b>5. Indledning</b>	<b>11</b>		
5.1 Dansk litteratur om vejsalt og vedplanter	12		
5.2 Divergerende interesser	12		
5.3 Nutidig opsamling af problematikken	12		
<b>6. Vejsaltning i Danmark</b>	<b>14</b>		
6.1 Hvad siger loven ?	14		
6.2 Den praktiske gennem- førelse af vintertjenesten	14		
6.3 Vejregler	15		
6.4 Minimumsafstande mellem vej og træer	16		
6.5 Samfundsøkonomiske konsekvenser ved brug af vejsalt	17		
<b>7. Saltning</b>	<b>19</b>		
7.1 Salt som optøningsmiddel	19		
7.2 Omfang af saltning	20		
7.3 Saltnings metoder	21		
7.3.1 Is og sneover- vågningsudstyr	23		
7.3.2 Fugtsaltning og tørsaltning	23		
7.4 Spredningsmateriel	24		
7.4.1 Valsespredere	24		
7.4.2 Tallerkenspredere	24		
7.4.3 Væskespredere	25		
<b>8. Vedplanters vækstforhold     langs veje og gader</b>	<b>26</b>		
8.1 Vejprofiler	26		
8.2 Jordbundsforhold generelt	27		
8.2.1 Tekstur og struktur	28		
8.2.2 Infiltration, permeabilitet og vandkapacitet	29		
8.2.3 Jordluften og jordvæsken	30		
8.2.4 Næringsstoffer og giftigt aluminium	31		
8.3 Jordbundsforhold i forbindelse med trafik anlæg	33		
<b>9. Udbredelse af vejsalt     til planterne</b>	<b>35</b>		
9.1 Lufttransport og sprøjt	36		
9.2 Transport igennem jord	37		
<b>10. Salts indvirkning på planter</b>	<b>39</b>		
10.1 Typer af stressfaktorer	39		
10.2 Vejsalts stress- belastning på vedplanter	40		
10.3 Forekomst og funktion af Na og Cl i planterne	42		
10.4 Skadebilleder og symptomer på saltstress	43		
<b>11. Minimering og forebyggelse     af saltskader på etablerede     beplantninger</b>	<b>46</b>		
11.1 Saltets tilstand og opbevaring	46		
11.2 Saltspredning	46		
11.3 Saltningsdosering	47		
11.4 Planteafstand fra vejkanterne	47		
11.5 Beskyttelse mod saltsprøjt	47		
11.6 Klimatiske forhold	49		
11.7 Trafikintensiteten	50		
11.8 Jordbund	50		
11.9 Artstolerancer	51		
<b>12. Udbedring af saltskader</b>	<b>56</b>		
12.1 Udvaskning af salt	56		
12.2 Kalkning/ gødskning	57		
<b>13. Behov for yderligere     belysning</b>	<b>59</b>		
13.1 Formidling af praktiske erfaringer	59		
13.2 Eksperimentel videnopbygning	59		
<b>14. Referenceliste</b>	<b>61</b>		

# 1. Forord

I vintertjenesten benyttes salt (natriumklorid, NaCl) til glatførebekæmpelse, og vejsalt har forbedret fremkommeligheden og trafiksikkerheden på det danske vejnet. Brugen er dog forbundet med en række problemer, ikke mindst i forhold til vej- og gadetræer, idet salt kan begrænse og deformere vej- og gadetræers vækst og i de værste tilfælde forårsage deres død. Det medfører store omkostninger for myndighederne at vedligeholde og udskifte planter, der skades som følge af vejsalt og ofte opnås det ønskede æstetiske udtryk af planterne ikke.

Vintertjeneste af veje ved saltning har stået på i Nordeuropa siden Anden Verdenskrig. I to af de Nordeuropæiske lande, Danmark og Sverige, benyttede man dog helt op til midten af 1960'erne navnlig sand. Næsten lige så længe man har benyttet salt i vintertjenesten, har man været bekendt med mange af de problemer saltet kan påføre planterne og det omgivende miljø. I de senere år har der været tiltagende advarsler mod den ofte omfattende brug af vejsalt. Advarslerne går på at saltet skader vedplanter, græs- og urtevegetation, jordens mikroflora- og fauna samt såvel overflade- som grundvand. Endvidere øges korrosionen på køretøjer og vej-inventar, og andre konstruktioners nedbrydning accelereres. Det er blevet fremført at de omkostninger vintertjeneste i form af saltning medfører, ikke står mål med de samfundsøkonomiske fordele, der er ved saltningen (OECD 1989).

Der er ingen tvivl om at behovet for en optimal vintertjeneste af veje er mindst ligeså aktuel i 1996, som det har været tidligere. Dette bekræfter de omfangsrige saltskader, der kan konstateres over det meste af landet, efter vinteren 1995/1996. Stigende krav til farbarhed og sikkerhed, har medført en mere effektiv vintertjeneste. Trafikanter forventer at kunne køre under optimale betingelser, uanset årstiden og vejsituationen. Samtidig kan erhvervslivet ikke acceptere forstyrrelser og forsinkelser som følge af ufarbare veje i vinterhalvåret.

Det vil fremgå af denne rapport, at vintertjeneste vha. saltning medfører en række problemer for beplantninger langs gader, veje og større trafik anlæg. Dette forhold har vejmyndighederne gennem en årrække forsøgt at forebygge ved at etablere foranstaltninger i form af halmmåtter eller lignende, der skal forhindre saltsprøjt og sne indeholdende salt, i at nå jord og planter.

Dette projekt udsprang på grund af tvivl om den reelle effekt af de eksisterende saltbeskyttelsesmetoder, der anvendes ved beplantninger langs gader og veje i Danmark. Frederiksborg Amt og Vejdirektoratet rettede i denne forbindelse henvendelse til Forskningscentret for Skov & Landskab, der sammen med akademiingeniør Jette Jaquet, Vejdirektoratet og skovtekniker Søren Gludsted, Frederiksborg Amt stod for defineringen og afgrænsningen af nærværende rapport. Ideerne voksede hurtigt i takt med erkendelsen af behovet for en tidssvarende rapport, der på en gang integrerede saltningemetoder, de særegne vækstforhold langs vejnettet, saltudbredelsen og skaderne på planterne.

Tak til Palle Kristoffersen for kritisk gennemlæsning af 1. og 2. udkast og Bjørn R. Andersen for en stor indsats i forbindelse med hjemskaffelse af litteratur. En speciel tak til Søren Gludsted for tilrettelæggelsen af saltningdemonstrationen på Frederiksborg Amts materialgård.

## 2. Sammenfatning

Denne rapport er en litteraturundersøgelse der fokuserer på tre hovedområder:

- *Udbredelse af salt til planterne,*
- *påvirkning af salt på jord og planter og*
- *anbefalinger i relation til vejsaltproblematikken.*

Rapporten er den første del af en større tredelt undersøgelse. Første del er dette litteraturstudie. Anden del bliver en spørgeskema- og interviewundersøgelse der skal dokumentere og opsamle de lokale erfaringer med brugen af vejsalt. Dette gælder specielt træer og buskes salttolerancer, samt de benyttede saltbeskyttelsesforanstaltningers virkning. Tredje del vil blive en eksperimentel in situ undersøgelse af dels vejsaltets kredsløb og dels af beplantningernes vækstforhold. Herunder er specielt effekten af saltbeskyttelsesforanstaltningers effekt i fokus.

I Danmark findes der ingen undersøgelser, der i et større perspektiv dokumenterer de samlede miljømæssige konsekvenser af saltpåvirkning og vækstforhold langs veje under 'naturlige' forhold.

'Vejsalt' er i Danmark traditionelt lig med natriumklorid (NaCl). At natriumklorid stort set er enerådende, er især et prisspørgsmål. I Danmark har vejsaltningen været stigende, efterhånden som antallet af veje, trafikintensiteten og trafikhastigheden er steget. Erkendelsen af de negative følger af saltning har dog bevirket, at vejsalt i dag ikke længere benyttes kritikløst.

Vejsalt transporteres til det omgivende miljø ved *overfladeafstrømning*, *saltsprøjt* eller i form af *vindbårne partikler*. Spredningen sker på en eller flere af følgende fire måder:

- Gennem ikke optimale saltningsmetoder, hvor en del af saltet under spredningen lander udenfor vejkanter, på fortove, pladser m.v.
- Ved at tørt salt slynges til vejkanterne som følge af trafikken eller af vinden.
- Ved at opløst salt løber af vejen eller spredes som en tåge af den passerende trafik til jord og beplantning langs vejen.
- Ved at saltholdigt sne blæses eller skubbes ud over vejkanterne af fejmaskiner eller snepløve.

Det første og mest almindelige symptom på saltskade er nedsat vækst. Denne er ofte vanskelig at erkende eller kan let forveksles med effekten af andre stressfaktorer. Saltstress fremmer tidlige efterårsfarver, bronzering og løvfald.

Salt fra saltsprøjt akkumuleres ofte på den side af planterne der vender mod vejen. Dette ensidige skadebillede, er ofte det bedste indicium på at skaden stammer fra saltsprøjt. Mange træer og buske der udsættes for saltholdig jord eller saltsprøjt udviser typisk rand- eller spidsvidninger på bladene/ nålene (nekroser). Såræv, især efter beskæring, er et sted hvor salt kan trænge ind i vedplanterne. Nåletræarter er særligt modtagelige for saltsprøjt, fordi de

bærer nåle i hele saltningsperioden. Saltstress kan bevirke at skud ikke springer ud, i tilbagevisning af grene og hele grenpartier, og ultimativt i plantens død. Træer der er udsat for stærke saltskader og befinder sig i et fremskredent stadie af tilbagevisning, er vanskelige at redde.

Foranstaltninger til forebyggelse af saltskader skal tilpasses den enkelte lokalitet. Dette skyldes at mængden og arten af saltskader på vej- og gadeplantninger er afhængig af en række forskellige forhold hvoraf de vigtigste er: saltningsmetoden og -dosering, vejens udformning, beplantningens placering, klimatiske forhold, trafikintensiteten, jordbundsforholdene og plantarten.

Der er to hovedområder, hvor der eksisterer et akut behov for ny viden:

*1) Videnopbygning og formidling af praktiske erfaringer.*

I forbindelse med vejsalts skadelige virkninger på træer og buske er der behov for at udbrede kendskabet til, og fremme formidlingen af forebyggende og udbedrende foranstaltninger.

*2) Eksperimentel og dokumenteret videnopbygning.*

I direkte tilknytning til forholdene langs det danske vejnet er der behov for at undersøge de skadelige effekter af vejsalt på beplantninger, herunder effektiviteten af forebyggende foranstaltninger, samt revitaliseringsmulighederne af planterne.

## 3. Summary

This report is a literature review which focus on three main subjects:

- How de-icing salt is spread to the plants and the soil along streets and roads.
- The influence of de-icing salt on plants and soil.
- Recommendations to the local authorities in relation to prevention and minimisation of de-icing salt damages to plants.

This review is the first part of a tripartite study of effects of the application of de-icing salt on trees and shrubs in Denmark. The second part will be a study based on questionnaires and interviews. Here, Danish authorities will be interviewed on the use of de-icing salt, experiences with salttolerance of trees and shrubs, visual damage symptoms and the effects of salt protection installations. The information will be gathered and systematised. The third part will be an in-situ investigation of the cycling of de-icing salt and the growth conditions of trees and shrubs along Danish streets and roads. This investigation will include tests of the most common salt protection installations.

The Danish consumption of de-icing salt has increased concurrently with the increasing number of roads and the quantity and speed of the traffic. De-icing salt in Denmark is usually sodium chloride (NaCl). At present danish road administrators do not recognise any alternatives to sodium chloride. This is primarily an economical point of view. However, the recognition of the consequences of de-icing salt application has caused that salt no longer are applied uncritically.

De-icing salt is applied to the surrounding environment by surface run-off, wet spraying and air borne drifting. The spreading may take place in four ways:

- By non-sufficient salting methods causing parts of the salt to spread outside the edge of the roads, pavements, squares etc.,
- When dry salt is slinged off the roadsides by the traffic passing by - or by the wind,
- When dissolved salt runs off the road or is occurs as a mist which may end on the soil or on the plants.
- When salt-contaminated snow is blown or pushed into the roadside by snow ploughs etc.

The first and most common symptom of de-icing salt damage on trees and shrubs is reduced growth. This is often difficult to recognise or may be confused with other stress factors. Reduced growth is usually followed by early autumn colours and premature leaf fall.

De-icing salt is usually accumulated on the wind ward side of the trees. The one sided and easy to recognise damage picture has a front towards the road, and is normally regarded as the best indication of de-icing spray damage. The majority of trees and shrubs subjected to either soil salt or salt spray, typically shows necroses at the edges of the leaves or needles. Wounds often related to pruning is a common place for spray salt to infect the plants. The damage may cause a lack of sprouting and eventually die-back. Conifers are very susceptible

to de-icing salt spray damages because they are green during the winter maintenance season. Trees and shrubs damaged by de-icing salt and showing die-back are difficult to cure.

Preventative precautions have to be carried out at the specific location of the plants because the amount and the type of de-icing salt damage depends on a number of different factors, the most important is; the salt spreading method, salt dose, design of the road position of the plants, climatic factors, traffic intensity, soil type and plant species.

In Denmark, there exist two main areas in which new knowledge is strongly needed:

- 1) Gathering and dissemination of practical experience in regard to the use of de-icing salt.
- 2) Experiences founded on controlled experiments which are directly related to the conditions along streets and roads. Both should be related to the damaging effects seen on the plants, the effectiveness of protective installations and the chances of revitalisation of existing plants.

## 4. Formål

Formålet med denne rapport er gennem en litteraturundersøgelse, at belyse vejsaltproblematikken i relation til vej- og gadeplantninger i Danmark. I rapporten fokuseres der på tre hovedområder:

- Udbredelse af salt til planterne.
- Salts påvirkning af jord og planter.
- Anbefalinger til forebyggelse og udbedring af saltskader på træer og buske langs veje og gader, erfaret fra litteraturen.

### Afgrænsning

Rapporten fokuserer på brugen af vejsalt og betydningen for det omgivende miljø, med specielt fokus på træer og buske. Vækstforholdene afgrænses til arealerne i umiddelbar nærhed af veje og gader.

Der har ikke været tradition for videnskabelige undersøgelser indenfor emnet i Danmark. Derfor er der i størst muligt omfang inddraget erfaringer og resultater fra udlandet. Disse oplysninger er udvalgt, bearbejdet og behandlet så de fremstår med størst mulig aktualitet for danske forhold.

I vintertjenesten i Danmark er vejsalt i form af natriumklorid (NaCl) det mest anvendte afisningsmiddel. På baggrund af Jaquet et al. (1992) opfattes saltning som et uundgåeligt problem for beplantninger langs veje og gader i Danmark, anno 1996. I andet regi (Vinter-udvalget under Vejdirektoratet) er man opmærksom på at vurdere alternativer til NaCl. Derfor vil der ikke i denne rapport fremkomme belysninger af alternative saltningsmetoder, og disses eventuelle effekt på beplantningerne og det omgivende miljø.

### Tre delt undersøgelse

Rapporten udgør første del af en større tredelt undersøgelse. Første del er dette litteraturstudie, anden del bliver en spørgeskema- og interviewundersøgelse og tredje del vil blive en eksperimentel undersøgelse. Litteraturstudiet dokumenterer vejsaltets effekt på vedplanter og det omgivende miljø. Spørgeskema- og interviewundersøgelsen vil dokumentere saltningsmetoder og -traditioner samt omfanget og betydningen af de hyppigst anvendte saltbeskyttelsesforanstaltninger. Den eksperimentelle undersøgelse opbygges på baggrund af de tiltag der anbefales i nærværende rapport og som måtte fremkomme fra spørgeskema- og interviewundersøgelsen.

Den vil belyse saltningens samlede påvirkning af jord og planter. Undersøgelsen udformes og udføres i relation til eksisterende og fremtidige vej- og gadetræers vækstforhold. Det samlede projekt er således en opsamling af aktuel viden, såvel fra litteraturen som fra den praktiske hverdag i kommuner, amter og statsinstitutioner i Danmark. Denne videnindsamling konkretiseres med en undersøgelse af virkninger og effekter af de praktiske forhold for vej- og gadeplantninger i Danmark.



## 5. Indledning

Skader på planter, som følge af saltbelastning, er ikke kun begrænset til arealer langs vejnettet. Saltskader på skovtræer er fundet over hele verden (Allen et al. 1994). Saltskader som følge af nedslag fra havet har også længe været kendt indenfor dansk skovbrug, om end det har været en noget overset stressfaktor (Holstener-Jørgensen 1991). Siden slutningen af 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne er voldsomme saltnedslags indirekte virkninger på planter gennem jorden, blevet tillagt en stor del af skylden for især rødgranens dårlige trivsel (Pedersen 1993 og Pedersen et al. 1994).

Vejtræer og buske langs veje og gader er et vigtigt element i det danske landskabs- og bybillede. Plantning af vejtræer har været en tradition i Danmark siden Vejforordningen af december 1793 (Hansen 1952). Fra ca. 1950 til 1970 er mange træer fjernet for at øge trafikikkerheden (Hansen 1952, Olsen 1991, Møller & Grønborg 1991). I 1980'erne og 1990'erne har vejplantningerne opnået en renæssance, begrundet i deres trafikledende formåen og deres bidrag med især æstetiske og økologiske værdier.

Bytræers positive betydning for sociale og miljømæssige forhold er beskrevet af bl.a. Ulrich (1984), Schroeder & Cannon (1987), Broderick & Miller (1989), Matthews (1991), Huang et al. (1992), Michael & Hull (1994) og Küller & Küller (1994). Træernes æstetiske værdier skyldes de lys- og skyggeforhold som de skaber, samt deres evne til at fungere som strukturerende, rumdannende og orienterende elementer langs veje og i bymæssige sammenhænge. Derudover giver træer en umiddelbar mulighed for at følge årtiderne. Træer fremmer menneskers velfærd, fremmer mangfoldigheden og variationen blandt dyrelivet samt bidrager med luftforbedrende egenskaber ved at øge luftfugtigheden og ved filtrering af urenheder i luften. Derudover har træer en vis erosionshindrende effekt på skrånende arealer. Træer i byen har altså på mange måder klima- og trivselsforbedrende egenskaber. Disse er i de senere år beskrevet i en omfattende, men samlet form af bl.a. Harris (1992), Arnold (1993) og af Bradshaw et al. (1995).

I dag nyplantes og genetableres vedplanter langs de danske veje for adskillige millioner kroner. Siden midten af 1980'erne er der således udført nyplantning langs hovedlandevejene og motorvejene i Danmark for ca. 5 millioner kr. om året (Jaquet 1996). Prisen for etablering af vej og gadetræer varierer naturligvis afhængigt af lokaliteten og træets størrelse. Kristoffersen (1993) har vist, at etablering af småplanter på skråningsanlæg koster ca. 20 kr. pr. plante og plantning af enkelttræer i bymæssige sammenhænge kan koste op til ca. 10.000 kr. pr. træ, alt inklusivt (Kristoffersen 1996a). Der er ikke foretaget egentlige undersøgelser af vejtræers økonomiske værdi under danske forhold. Fra udlandet er der dog beviser på at bytræer også har en økonomisk betydning (Dwyer 1992, Garrod & Willis 1992). At bytræer også har en økonomisk betydning under danske forhold kan indirekte ses ud fra f.eks. boligannoncer, der ofte i positive vendinger beskriver udsigt eller direkte adgang til træer, parker mv. I USA, hvor der ofte lovgives for plantning og beskyttelse af bytræer (Randrup 1994), har man en lang tradition for at kunne fastsætte værdien af træer, der primært har æstetiske formål (ISA 1992).

### **5.1 Dansk litteratur om vejsalt og vedplanter**

Vejsaltningen i Danmark indledtes så vidt vides midt i 1960'erne. Allerede i begyndelsen af 1970'erne findes de første tegn i litteraturen på at vejsaltning har negative konsekvenser for planterne. Bjerregård (1972) skrev en notits om beskyttelse ved hjælp af halmmåtter og den første større afrapportering om emnet 'vejsalt og plantevækst' blev skrevet af Hedvard ligeledes i 1972 (Hedvard 1972). I slutningen af 1970'erne og i begyndelsen af 1980'erne kom de første egentlige videnskabelige afrapporteringer på dansk (Dragsted 1978, Dragsted 1979 og Dragsted 1980). Samtidig udgav Vejdirektoratet en række publikationer om vintervedligeholdelse og beplantninger langs gader og veje, hvori problemerne med saltskader på gade- vejtræer også blev omtalt (Vejregeludvalget 1977, Vejregelsekretariatet 1977, Vejregel 1980a, og Vejregeludvalget 1980). I samme periode udgav Vejdirektoratet de første regler om indretning af saltlader og saltpladser i Danmark (Vejregel 1981), samt regler for tørsalte, sand og grus til glatførebekæmpelse (Vejregel 1980b). Siden denne meget aktive periode er der udgivet en mindre rapport om saltspredningsforsøg (Vejdirektoratet 1986), en større rapport om fire løvtræarters reaktioner på salt (Dragsted 1988a) samt en afhandling om træers forhold til salinitet (Dragsted 1996). Disse undersøgelser dokumenterer tydeligt saltets negative effekt på vedplanter. Hedwards gennemgang af københavnske gadetræer (Hedvard 1972) og Dragsteds undersøgelse fra 1980 (Dragsted 1980) er dog de eneste danske undersøgelser, der dokumenterer danske årsags/virknings forhold i direkte tilknytning til vej- og gadenettet. I Danmark findes der ingen undersøgelser, der på én gang dokumenterer de samlede miljømæssige konsekvenser af saltpåvirkning, vækstforhold langs veje og beskyttelsesforanstaltninger under 'naturlige' forhold.

### **5.2 Divergerende interesser**

Det er ikke ualmindeligt at der eksisterer divergerende interesser, selv indenfor den samme forvaltning. En vejafdeling har som ét af sine mål, at sikre en optimal vintervedligeholdelse, der kan omfatte brug af store mængder salt. En parkafdeling, indenfor den samme forvaltning, har som et af sine primære mål, at sikre optimale vækstvilkår for bl.a. vej- og gadetræerne. Ofte vil sådanne to afdelingers målsætninger i praksis opleves som modsætninger fordi de sikre veje i vinterperioden modvirker optimale vækstforhold.

### **5.3 Nutidig opsamling af problematikken**

I 1992 udgav Vejdirektoratet rapporten 'Vintertjeneste for primære veje - stade og udviklingsmuligheder' (Jaquet et al. 1992). Rapporten beskrev lovgrundlaget for vintertjenesten og andre lovmæssige forhold, der har betydning for vintertjenesten - herunder miljø- og ansvarsforhold. Det konkluderedes, at vintertjenesten i Danmark gennem de seneste år har været igennem en stor udvikling. Denne udvikling har bl.a. betydet, at ændrede varslingsmetoder og ændret materiel har reduceret saltforbruget.

På trods af det reducerede saltforbrug forårsager vintertjenesten af veje vha. salt dog stadig forringelse af vækstvilkårene for beplantninger langs vejene. Dette skyldes bl.a. at flere stressforhold virker samtidigt og kan forstærke hinandens effekt. Mange vej- og gadetræers vækstforhold er i forvejen forarmet af de specielle forhold, der er tilknyttet bymiljøet.

Vinteren 1995/1996 var streng og medførte et forbrug af salt der var større end de seneste 14

års forbrug (Vejdirektoratet 1996). I dette forår (1996) har man langs det danske vejnet kunne opleve et massivt skadebillede af svedne nåletræer og løvtræer, der enten er plaget af sent eller ufuldstændigt udspring, eller som har lidt plantedøden (Pedersen & Randrup 1996).



Figur 1. Bøgehæk skadet af saltsprøjt. Den nederste del af hækken springer sent ud (ca. 1. juni) og mange knopper er døde.

## 6. Vejsaltning i Danmark

### 6.1 Hvad siger loven ?

Ifølge Lov om offentlige veje er administrationen af hovedlandeveje henlagt til Vejdirektoratet, der hører under Trafikministeriet. Staten er dermed via Vejdirektoratet vejmyndighed for motorveje og hovedlandeveje. Amtsrådene er vejmyndighed for amtsveje (landeveje) og kommunalbestyrelserne er vejmyndighed for kommuneveje og i et vist omfang også for private veje.

Vintervedligeholdelse på det danske vejnet udføres dog i henhold til 'Lov om vintervedligeholdelse og renholdelse af veje' (Lovbekendtgørelse nr. 432 af 31. maj 1991). Denne lov er suppleret med cirkulære af 6. december 1985 kaldet 'Vintercirkulæret'. Vintertjeneste henregnes i færdselslovens forstand til vejarbejde (Færdselslov, lov nr. 765 af 16. November 1990) (Jaquet et al. 1992).

Ifølge 'Lov om vintervedligeholdelse og renholdelse af veje' pålægges de lokale vejmyndigheder at sørge for glatførebekæmpelse, for så vidt forpligtigelsen ikke er pålagt ejere af tilgrænsende ejendomme. I følge Kapitel 2, §3, stk. 2 bestemmer vejbestyrelsen: "*.. på hvilke strækninger, i hvilket omfang og i hvilken rækkefølge foranstaltninger mod glat føre skal træffes.*" Hverken loven eller cirkulæret indeholder bestemmelser om, hvordan vintertjenesten skal udføres, men fastlægger, at de nærmere retningslinier for gennemførelsen fastsættes af vejbestyrelsen efter forhandling med politiet. Der findes altså ingen lovbundne regler om, at vejene skal saltes i forbindelse med vintertjenesten. Det er ifølge Justitsministeriets bekendtgørelse nr. 154 af 20. april 1977 tilladt i perioden fra 1. oktober til 30. april at benytte pigdæk, såfremt alle køretøjets hjul er forsynet dermed.

Vejbestyrelsen kan blive pålagt erstatningsansvar for en eventuel skade, såfremt den foretagne snerydning eller glatførebekæmpelse har været mangelfuld i henhold til gældende lov og retningslinier, (Jaquet et al. 1992).

Ifølge lovbekendtgørelse nr. 358 af 6. juni 1991 om lov om miljøbeskyttelse, samt bekendtgørelse nr. 248 af 15. maj 1986 om tilførsel af spildevand til vandløb, søer eller havet m.v., samt tilhørende cirkulære af 30. maj 1986, er vand afledt fra vejanlæg og befæstede arealer, herunder lagerpladser til tøsalte, omfattet af spildevandsreglerne. Sne fra veje, stier og pladser er ligeledes omfattet af miljølovgivningen for spildevand (Jaquet et al. 1992).

### 6.2 Den praktiske gennemførelse af vintertjenesten

Jaquet et al. (1992) beskrev formålene med vintertjenesten som en sikring af:

- at trafikanterne får et acceptabelt serviceniveau, både vedrørende fremkommelighed og sikkerhed,
- at vejen bevarer den investerede kapital,
- at vejens rettigheder respekteres,
- at vejen (vejmyndigheden) respekterer naboernes rettigheder, og
- at miljøet skånes mest muligt.

Disse formål kan komme i modstrid med hinanden. Jaquet et al. (1992) nævner at en intensiv vintertjeneste hvor vejene er våde og saltede vil fremskynde nedbrydningen af vejbelægningerne, samt forurene miljøet med tørsalte. Modsat vil en begrænset vintertjeneste, uden brug af tørsalte, formodentlig øge anvendelsen af pigdæk. Dette betyder forøget nedslidning af vejbelægningerne og spredning af urenheder fra afslidte asfaltlag. Til gengæld vil et nedsat brug af vejsalte formentlig påvirke vejplantningerne positivt.

### 6.3 Vejregler

For at sikre den daglige vedligeholdelse af vejene er der udarbejdet en række vejregler (Vejregel 1980a og Vejregel 1980b). Vejregler er inddelt i tre kategorier:

- Normer, der omfatter fundamentale forudsætninger og krav,
- retningslinier, der er regler til anvendelse under 'normale' forhold og
- vejledninger, der så vidt muligt bør følges

Vejregeludvalget konstaterede i 1977, på baggrund af ovenstående lovbekendtgørelse at: *'Det er et teknisk, økonomisk og politisk anliggende i hvilket omfang der lokalt og regionalt skal sættes ind på at forbedre de eksisterende vej- og gadetræers vilkår og hvilke konsekvenser erkendelsen af vejsaltningens skadevirkninger bør få for strategien i vintervedligeholdelsen. Det må imidlertid anses for sandsynligt at vejsalt (NaCl) indtil videre vil være det mest anvendte glatføre-bekæmpelsesmiddel på alle større veje med deraf følgende risiko for at træer og beplantninger nær kørebanen vil svækkes eller dø.'* (Vejregeludvalget 1977, p. 94):

Dette budskab blev gentaget i Vejreglerne for beplantning i 1980 (Vejregel 1980a) og i det tilhørende informationshæfte (Vejregeludvalget 1980). I informationshæftet anføres derudover følgende forhold vedrørende saltning:

- *'Miljømæssigt eller kulturhistorisk særligt værdifulde træerækker eller alleer kan sikres mod saltskader ved at vejmyndigheden udelukkende gruser'* (Vejregeludvalget 1980, p. 54).
- *'På lavere klassificerede veje med værdifuld beplantning, på boligveje, parkeringspladser, fortove og stier bør der tages miljøhensyn ved udelukkende at benytte grus ved glatføre-bekæmpelse, ved at reducere saltanvendelsen betydeligt både arealmæssigt og kvantitativt, og/eller ved kun at salte i ekstreme situationer'* (Vejregeludvalget 1980, p. 54).
- *'I gader, hvor enkelte træer og træerækker kan have ganske særlig miljømæssig betydning, kan der være grund til ekstraordinære og dyre foranstaltninger til beskyttelse af træers rosystemer mod salt og til at fremme deres vækst og trivsel'* (Vejregeludvalget 1980, p. 54).

I vejreglerne anbefales det på gader og veje med lavere trafikshastigheder, at beskytte disse mod saltskader ved udelukkende at benytte grus i vintertjenesten (Vejregel 1980b). I løbet af 1997 kan der forventes nye vejregler angående vejtræer (Vejdirektoratet 1995).

## 6.4 Minimumsafstande mellem vej og træer

I 1985 udgav Vejdirektoratet en publikation, der angav minimumsafstande til faste genstande langs veje (Vejdirektoratet 1985). Man inddelte heri faste genstande som 'svært deformerbare genstande' (mure, bropiller mv.) og 'let deformerbare genstande' (tavlestandere mv.). Under gruppen af 'svært deformerbare genstande' hører større træer. Der er dog ikke fastsat grænser for hvad 'et stort træ' er. Ifølge Vejdirektoratet (1985) bør der være følgende minimumsafstande mellem kørebanelkanten og vejtræerne, afhængigt af kørselshastigheden:

Hastighed (km/t)	Min. afstand til faste genstande (herunder træer), (m)
70 - 80	3,0
50 - 60	1,0
30 - 40	0,5
10 - 20	0,25

Tabel 1. Vejdirektoratet (1985).

Det er en retningslinie, at man udenfor bymæssig bebyggelse ikke må plante tættere på vej-kanten end 3 m. Fravigelser herfra kan være begrundet i særlige miljømæssige hensyn, f.eks. i landskabeligt værdifulde områder eller på 'ubetydelige veje med begrænset motortrafik'. Det angives at, hvis reglen fraviges, bør det ske ud fra en konkret vurdering af de trafikikkerhedsmæssige konsekvenser af beslutningen. Derudover bør der træffes de fornødne sikkerhedsmæssige foranstaltninger i form af hastighedsbegrænsninger, afmærkninger mv..

For veje med tæt og hurtigkørende trafik bør træer plantes 'i betydeligt større afstand'. I bymæssig bebyggelse bør gælde samme minimumsafstande som for veje udenfor bymæssig bebyggelse. Det angives dog, at de trafikikkerhedsmæssige forhold også afvejes med de miljømæssige fordele, som en beplantning kan have for områdets beboere og brugere, herunder også andre trafikantgrupper som gående og cyklende. Afstande til træer i bymæssig bebyggelse bør derfor i hvert enkelt tilfælde afvejes ud fra en sammenfattende vurdering af trafik- og miljømæssige aspekter. Reglerne for beplantning langs veje kan dermed siges at være mere restriktive på landevej udenfor bebyggelse end i bebyggede områder.

Det tilrådes at man bevarer eksisterende træer. Dette gælder også selvom de måtte være placeret indenfor 3 meter zonen fra vejkanten. Undtagelser herfra kan begrundes med trafikikkerhedsmæssige forhold. Dragsted (1978) beskrev at ca. 70 % af alle vejtræerne i Frederiksborg Amt stod indenfor 2 m fra vejkanten. Siden Vejreglerne fra 1980, er alle nyplantninger i det åbne land, i såvel Nordjyllands Amt (Thomsen 1996) som i Frederiksborg Amt (Gludsted 1996) dog tilstræbt etableret udenfor 3 meter zonen. Vejreglernes anbefalinger af afstanden mellem kørebane og beplantning er under revidering (Vejdirektoratet 1995). Man kan forvente anbefalet en større afstand mellem træer og kørebane end de nuværende tre meter.

## 6.5 Samfundsøkonomiske konsekvenser ved brug af vejsalt

De samfundsøkonomiske konsekvenser ved brug af vejsalt omfatter:

- *Vejmyndighedernes omkostninger* ved selve saltningen (indkøb, lagring, udbringning) og ved reparationer, der skal udføres som følge af saltningen (betonskader mv.).
- *Trafikale konsekvenser* ved hhv. saltning og ved ikke tilstrækkelige af-isningsmetoder (fremkommelighed og sikkerhedsmæssige spørgsmål/ulykker).
- *Miljømæssige påvirkninger*, herunder beplantninger langs veje og gader.
- *Korrosion* af biler mv.

Der er ikke foretaget samfundsøkonomiske analyser af vintertjenesten de seneste 10 år (Jaquet et al. 1992). Under danske forhold er *vejmyndighedernes omkostninger* ved saltning, herunder grundlag, omfang, planlægning, materialer og metoder beskrevet af Jaquet et al. (1992).

Angående de *trafikale konsekvenser* er en række bivirkninger ved hhv. saltning, grusning og snerydning beskrevet af Jaquet et al. (1992). Tøsaltene natriumklorid (NaCl), calciumklorid (CaCl<sub>2</sub>) og magnesiumklorid (MgCl<sub>2</sub>) forstærker alle korrosionen af metaller. Derfor er korrosion af biler og konstruktioner én af de hyppigst omtalte bivirkninger ved saltning. Öberg et al. (1991) beskrev således, at man allerede to år efter ophør af saltning på Gotland kunne se en 80-90% reduktion af korrosion på ubeskyttet stål.

Angående ulykker er det i Norge vist, at saltning reducerer ulykkesfrekvensen i vintersæsonen med mere end 20 % (Skoglund 1995). Det er særligt i de vanskelige overgangsperioder efterår/vinter samt vinter/forår, at saltning ser ud til at have størst effekt i forhold til ulykkesstatistikken.

I Sverige fandt man efter to sæsoner med usaltede veje, at ulykkesfrekvensen øgedes på veje med større trafik (års døgns trafikraten, ÅDT > 1800). Til gengæld sås en faldende tendens i ulykkesfrekvensen på veje med mindre trafik (ÅDT < 1800) (Öberg et al. 1991). Det norske Statens Vegvesen (1989) omtalte et tysk forsøg (fra 1988) der tilsyneladende dokumenterede, at antallet af ulykker kan reduceres ved en forbedret vintertjeneste.

OECD (1989) konkluderede, at nedgangen i uheld og de dertil forbundne besparelser var omfattende i forhold til udgifterne ved vejsalt. Denne konklusion blev foretaget på baggrund af oplysninger fra otte europæiske lande (heriblandt Danmark), USA og Japan.

Angående *miljømæssige påvirkninger* berettede Vejregeludvalget allerede i 1977 at der i udlandet, specielt i USA, er registreret mange tilfælde af saltforurening af brønde og indvindingsanlæg placeret nær hovedveje eller saltlagre. Siden midten af 1950'erne har antallet af registrerede tilfælde i USA været stigende til flere hundrede i visse delstater. Flertallet af disse udgøres dog af mindre brønde i ringe dybde, placeret mindre end 10 m fra vejkanten. I de tilfælde i USA hvor større vandindvindingsanlæg har måtte opgives, har saltet stammet fra dårligt beskyttede oplagringspladser (Vejregeludvalget 1977). Bäckman & Folkesson (1995) berettede at grundvand og jord langs en vej ned, til 165 cm dybde, havde kraftigt forhøjede Na- og Cl-indhold, set i forhold til målinger foretaget i 1978, 1979 og i 1988. Også indholdet

af Na og Cl aftog markant med stigende afstand fra vejkanterne. En række artikler og rapporter har vist tilsvarende miljømæssige påvirkninger som følge af glatførebehandling med afisningsmidler (Bl.a. Zimny & Zukowska-Wieszczyk 1989 og Gibbs & Palmer 1994).

Tabet af salt fra opbevaringspladser kan reduceres til praktisk taget ingenting ved at opbevare saltet under tag. I 1981 fastslog Vejdirektoratet at afvandingen af saltopbevaringspladser i Danmark skulle foregå således, at overfladevandet primært ledes til kloaksystemet, og såfremt dette ikke er muligt *'må det forventes at der ved miljøgodkendelsen (af saltpladsen) vil blive stillet krav om at nedslivningsanlægget er placeret i en afstand på mindst 300 m fra vandboringer samt i rimelig afstand fra beplantninger'* (Vejregel 1981). Idag stilles der ikke længere specifikke miljømæssige krav til saltpladser og saltlader (Jaquet et al. 1992).

I Sverige er de fleste tilfælde af saltforurenet grundvand ligeledes sat i forbindelse med dårligt beskyttede saltlagre. Det konkluderedes, at der er risiko for kloridforurening af mindre indvindingsanlæg og brønde, placeret tæt ved veje i det åbne land, specielt hvis de udnyttede vandførende jordlag befinder sig i ringe dybde (Vejregeludvalget 1977).

Undersøgelser af vejsalts betydning for et givent afstrømningsområdes saltbalance vanskeliggøres i mange tilfælde af andre kilder til saltforurening, f.eks. i form af saltbelastet industrispildevand. Den mulige påvirkning af grundvandet i bymæssige sammenhænge er vanskelig at belyse, idet oplysninger om de hydrologiske forhold er sparsomme for disse områder.

Egentlige skader på beplantninger er beskrevet af en række forfattere. Flere af disse er citeret i denne rapport. Skaderne viser sig både på nåle- og løvtræer og på buske. Det typiske synlige skadebillede er mindsket bladvækst, bare eller døde kviste, uudviklede skud og rødbrune nåle og blade. Skaderne aftager markant med afstanden fra vejen.

Der er derfor ingen tvivl om, at brugen af natriumklorid i vintertjenesten medfører en række negative påvirkninger på det omgivende miljø. I hvor høj grad disse påvirkninger kan minimeres eller undgås, samtidig med at vejmyndighedernes serviceniveau opretholdes, vil blive diskuteret i de følgende afsnit.



## 7. Saltning

Salt er en fælles betegnelse for en stor gruppe af kemiske forbindelser, der kortfattet har det til fælles, at de er afledt af syrer gennem ombytning af syreatomet -  $H^+$  med f.eks. et metal. Saltsyre (HCl) er en stærk syre. Byttes syren ud med natrium (Na) fås det almindelige salt, natriumklorid (NaCl). I natriumklorid er både natrium og klorid (Cl) lukket inde i et fast gitter, hvor de danner et farveløst terningformet krystal. En formel som NaCl betyder ikke, at det udelukkende er opbygget af NaCl-molekyler, men blot at der i en saltkrystal er lige mange natrium- og klorid-ioner.

Salt kan let opløses i vand og opløses stort set lige let i koldt og varmt vand. Når salt opløses, ændres tilstanden af natrium og klorid. De kommer på 'ion-form'. Natriumionen bliver positiv, og skrives nu som  $Na^+$ . Kloridionen bliver negativ, og skrives nu som  $Cl^-$ . Alle andre stoffer, der reagerer som natrium, kaldes kationer, fordi de bliver positive, når de opløses i vand. Alle stoffer, der reagerer som klorid, kaldes anioner, fordi de bliver negative, når de opløses i vand. I vandig opløsning tiltrækker positive og negative stoffer som  $Na^+$  og  $Cl^-$  hinanden, fordi de er modsat ladede.

Geologisk set forekommer natriumklorid især som opløst i havvand og som mineralet stensalt (halit) i salthorste. Salthorste stammer fra indtørrede have i tidligere geologiske perioder. Den kemiske sammensætning af havsalt og stensalt er meget ens. Både havsalt og stensalt består oftest af over 98% natriumklorid. En fælles betegnelse for disse salttyper er kogsalt eller bare 'salt'.

### 7.1 Salt som optøningsmiddel

'Vejsalt' er i Danmark traditionelt natriumklorid (NaCl). Ved meget lave temperaturer (lavere end f.eks. -15 °C) benyttes desuden i enkelte tilfælde Kalciumklorid ( $CaCl_2$ ). Saltets evne som optøningsmiddel beror på at vands frysepunkt nedsættes. Rent vand fryser ved 0°C. Opløses der almindeligt salt i vandet kan frysepunktet teoretisk nedsættes til -21°C. Med  $CaCl_2$  kan frysepunktet teoretisk nedsættes til -52 °C. I praksis virker NaCl kun ned til ca. -8 °C, mens  $CaCl_2$  virker helt ned til mellem -15 og -20 °C, og især ved lavere temperaturer virker  $CaCl_2$  hurtigere end NaCl (OECD 1989). En vigtig forskel mellem de to stoffer er, at opløsningen af  $CaCl_2$  afgiver varme, mens opløsningen af NaCl kræver varme. Fordelene ved  $CaCl_2$ 's lavere frysepunkt og hurtige opløsningsevne, tynges dog af dette salts handelspriser (Vejdirektoratet 1988, OECD 1989). Desuden er  $CaCl_2$  stærkt hygroskopisk og dermed vanskeligere at håndtere end NaCl.

I Danmark benyttes typisk tre typer salt i vintertjenesten: Havsalt, der udvindes fra havet, stensalt, der brydes i miner og vakuumsalt. Vakuumsalt er stensalt, der udvindes ved at opløse salt og oppumpe vandet, med efterfølgende genindvinding af saltet. Udover vandindholdet karakteriseres de forskellige salttyper ved at havsalt består af forholdsvis store irregulære korn. Stensalts kornstørrelse veksler, mens vakuumsalt har en meget lille kornstørrelse. Saltets tekniske formåen som af-isningsprodukt er tildels afhængigt af partikelstørrelsen. Fine korn vil hurtigt opløses og giver dermed en hurtig effekt. Grovere korn vil forblive på vejen i en længere periode og vil dermed også kunne gennemtrænge og opløse et tykkere islag (VSR 1989).

Salttyperne kan brydes op i enskornede partikelstørrelser, således at udbringningen kan styres optimalt. I Danmark er vejsalts middeldkornstørrelser mellem 0,35 mm til 1,3 mm (Vejdirektoratet 1991). I andre lande hænger meget store saltforbrug formentlig sammen med, at partiklerne ofte er uensartede og nogle op til 10 mm store (Dobson 1991). Dermed spiller saltkornenes størrelse og spredningsmetoden en stor rolle. Jo større og jo mere uensartede saltpartiklerne er, desto mere vanskeligt er det at styre en ensartet spredning.

## 7.2 Omfang af saltning

I Danmark kan snedække forekomme i månederne fra november til april. Landsgennemsnittet af antal dage med snedække i dette vinterhalvår er normalt ca. 40, heraf udgør antallet i januar og februar tilsammen normalt 25 dage, medens der i november og april i alt kun forekommer 2-3 dage med snedække (DMI 1975).

Vejsaltningen har været stigende, efterhånden som antallet af veje, mængden af trafik og trafikshastigheden er steget. Erkendelsen af de negative følger af saltning har dog bevirket, at salt i dag ikke længere benyttes kritiskløst. Brugen af salt afhænger af hvor, og af hvem der udfører saltningen (Vejdirektoratet 1995).

Der er næppe tvivl om, at Danmark er langt fremme mht. anvendelse af salt i vintertjenesten. I en OECD rapport fra 1989 figurerer Danmark med et af de laveste gennemsnitlige saltforbrug pr. km. Danmark ligger på niveau med lande som Østrig og Japan, hvorimod f.eks. England benytter næsten 3 gange mere salt pr. m<sup>2</sup> end man gør i Danmark (OECD 1989). De seneste tre års saltforbrug har dog været 2-3 gange større end normalen, nævnt i OECD rapporten (OECD 1989, Vejdirektoratet 1996)

I andre lande anvendes alternativer til salt, som f.eks. grus eller knust granit tilsyneladende i større omfang end tilfældet er i Danmark. I Hamburg reduceredes allerede i 1981 den tilladte mængde salt pr. spredning til 20 g/m<sup>2</sup>, og i 1983 besluttedes det kun at salte på hovedveje. I North Dakota, USA benyttede kun mellem 50 og 82% af statens kommuner salt midt i 1980'erne. Dette hænger formentlig sammen med at den overvejende del af saltningen foregår på byveje og at der i en gennemsnitsby i North Dakota kun er ca. 3 km byveje, for hver ca. 900 km landeveje. Flere af disse landeveje er derudover grusveje der næppe saltes (Rogness et al. 1988). OECD berettede, at i vinteren 1986/87 benyttede ca. 50% af alle byer i Tyskland både saltning, grusning og 'ingen vintertjeneste' (OECD 1989). De øvrige 50% benyttede primært salt.

I vinteren 1986/1987 iværksatte Nordisk Ministerråd en undersøgelse af stedvis saltning, kaldet 'spot saltning' i Norden. Forsøget indeholdt også danske lokaliteter, men disse blev aldrig undersøgt fordi de danske vejmyndigheder trak sig ud af undersøgelsen, da det blev aktuelt (Öberg 1994). Dette skyldtes danske trafikmyndigheders bekymring for trafikikkerheden, ved en radikal ændring af saltningpolitikken i et lokalområde (Jaquet 1996).

Den øgede opmærksomhed på saltets belastning af miljøet og den store udvikling i materiel og metoder, herunder fugtsaltning og elektronisk overvågning, har medført en mærkbar reduktion af det gennemsnitlige saltforbrug pr. saltning. En gennemsnitlig spredningsmængde

på mellem 10 og 20 g/m<sup>2</sup> er nu standarden i det meste af Europa (OECD 1989).

I Danmark spredtes i gennemsnit over en vinter mellem 12 og 18 g/m<sup>2</sup> pr. spredning i perioden fra 1980 - 1990 (Jaquet et al. 1992). I gennemsnit blev der i Danmark udbragt mellem 480 og 1300 g/m<sup>2</sup> pr. vinter i perioden fra 1980 - 1991. Til sammenligning nævner Bradshaw et al. (1995) at totalforbruget i England ofte er på mellem 3000 og 5000 g/m<sup>2</sup> afhængigt af vinterens omfang. I vinteren 1995/1996 var saltforbruget i Danmark større end set i de foregående 14 år (Vejdirektoratet 1996). På det overordnede vejnet var det gennemsnitlige forbrug således på 1990 g/m<sup>2</sup>.

### 7.3 Saltnings metoder

Snefald vil altid genere trafikken og give anledning til forøget transporttid. Snefald i store mængder samt snefald i moderate mængder i forbindelse med fygning kan umuliggøre trafik. Sne fjernes derfor mekanisk, hvilket oftest efterlader et tyndt lag sne eller sjap, der fjernes med salt, da det ellers vil fryse eller køres fast til vejbanen. Saltning af veje foregår derfor principielt ikke som en sneryddende foranstaltning.

Forhold, som temperatur, temperatursvingninger, vejens overfladestruktur, og fugtighed, vind og trafikbelastning, har stor indflydelse på saltningens effekt. Ved lave trafikmængder blev der i Sverige konstateret en markant nedgang i saltningens effekt. Ved store trafikmængder var effekten derimod nogenlunde konstant (Öberg 1994).

Ved forebyggende saltning forhindres fastfrysning af is og sne til vejens overflade, idet der dannes et tyndt væskelag. I forbruget af salt skelnes der mellem rim/is og sne. Ved rim/is kan en præventiv virkning opnås med saltmængder i størrelsesordenen 5 - 10 g/m<sup>2</sup> afhængigt af om vejen er tør eller våd (Jaquet et al. 1992). Ved præventiv saltning før snefald, indregnes også vejens temperatur når doseringen skal fastsættes. Ved vejtemperaturer > 0 °C anbefales det at benytte 5 - 10 g/m<sup>2</sup>, ved vejtemperaturer < 0 °C anbefales normalt ca. 10 g/m<sup>2</sup>, men ved samtidigt kraftigt snefald anbefales 15 - 20 g/m<sup>2</sup> (Jaquet et al. 1992).

Ved isslag eller når det på anden måde allerede er blevet glat, anbefaler Vinterudvalget at benytte op til 5 - 25 g/m<sup>2</sup>, afhængigt af situationen. Vinterudvalgets samlede anbefalinger kan ses i tabel 2.

Når der skal saltes vurderes det altid om der allerede befinder sig salt på vejen, og om der er sandsynlighed for at flere enkelt-situationer kan optræde i rækkefølge. På dette grundlag besluttet det hvad den aktuelle saltdosering skal være.

De danske retningslinier for saltforbrug følger stort set andre landes tilsvarende anbefalinger. Således er det i Schweiz beskrevet, at der indledningsvis skal benyttes en mekanisk fjernelse af sne, og efterfølgende mellem 10 - 20 g salt pr. m<sup>2</sup>, afhængigt om der er tale om præventiv saltning eller egentlig af-isning (VSR 1989). I Sverige anbefaler Vägverket spredningsmængder mellem 6 og 25 g/m<sup>2</sup> (Henrysson 1985), hvorimod man i England anbefaler mellem 10 og 40 g/m<sup>2</sup> (Dobson 1991). Dobson (1991) angav, at der ved forebyggende saltning kan nøjes med 10 g/m<sup>2</sup> og at der ingen fordele er ved at sprede mere end 40 g/m<sup>2</sup>. I England spredes

Enkeltsituation	Saltmængde g/m <sup>2</sup> kørebane
<p><b>1. Præventiv saltning mod rim/is</b></p> <p>Ved tør kørebane Ved våd kørebane</p>	<p>5-10 10</p>
<p><b>2. Præventiv saltning mod sne</b></p> <p>Der saltes normalt ikke ved vejtemperaturer <b>over</b> 2-3°C eller på saltfri kørebane, ved temperaturer <b>under</b> minus 5-6°C</p> <p>Vejtemperatur <b>over</b> 0°C Vejtemperatur <b>under</b> 0°C i almindelighed Vejtemperatur <b>under</b> 0°C og kraftigt snefald</p>	<p>5-10 ca. 10 15-20</p>
<p><b>3. Isslag, fremkaldt af:</b></p> <p>Underafkølet let regn, ved vejtemperaturer <b>over</b> minus 2-3°C Underafkølet let regn, ved vejtemperaturer <b>under</b> minus 2-3°C Underafkølet kraftig regn</p>	<p>ca. 10 15-20 15-20</p>
<p><b>4. På allerede indtrådt glathed</b></p> <p>Der saltes ikke med NaCl ved vejtemperatur under minus 10°C. Der kan benyttes punktvis spredning af grus eller CaCl<sup>2</sup></p> <p>Rimfrost/islag: Vejtemperatur <b>over</b> minus 2-3°C Vejtemperatur <b>under</b> minus 2-3°C</p> <p>Fastkørt sne/islag: Vejtemperatur <b>over</b> minus 2°C Vejtemperatur <b>på</b> minus 2°C til minus 4°C Vejtemperatur <b>under</b> minus 4°C</p> <p>Der saltes ikke på en kørebane, der er mere eller mindre dækket af løs sne, eller under snefald eller fygning. Der bør altid ryddes mest muligt inden saltning</p>	<p>5-10 10-15 10-15 15-20 20-25</p>

Ved beslutning om saltning skal man altid vurdere, om der allerede er salt på vejen, om der kan optræde flere enkeltsituationer i rækkefølge, og forventningerne til vejrets udvikling. På dette grundlag skal man tage stilling til den nødvendige saltmængde.

**Tabel 2.** Retningslinier for salt-dosering med fugtsalt. (Fra Jaquet et al. (1992), bilag 3)

ofte mellem 20 - 83 g/m<sup>2</sup>, hvilket bl.a. skyldes klumpningsproblemer (lagring af salt under åben himmel, der bevirker at saltes vædes og klumper). Manglende kalibrering (sammenhæng) mellem spredningsmængde og kørselshastighed er et andet problem.

Et eksempel på hvordan retningslinierne søges efterlevet i Danmark fremgår af en 'overenskomst' mellem Lyngby-Taarbæk kommunes Park- og Vejafdelinger. Heri præciseres det, at de øverste lag sne fjernes mekanisk, mens de resterende dele fjernes med salt. Derudover præciseres det at: *'Det er vigtigt at få saltet i bunden før et snefald begynder, eller straks når et snefald begynder. På den måde undgås det, at sneen ved skiftende tøj og frost fryser fast i kørebanen. Det skal udtrykkeligt bemærkes, at saltning udelukkende tjener til at forhindre at snelaget fryser fast til belægningen og ikke anvendes som et middel til snerydning.'* (Lyngby-Taarbæk kommune 1989).

### 7.3.1 Is og sneovervågningsudstyr

En præcis bedømmelse af saltmængden på kørebanen, giver store økonomiske besparelser, og kan have afgørende miljømæssig betydning. Det er imidlertid vanskeligt at måle mængden af den tilbageværende salt på vejbanen. I Danmark benyttes glatførevarslingssystemer i vintertjenesten. Disse overvågningssystemer er baseret på to elektroder, der er placeret i vejen. Efter saltning stiger ledningsevnen mellem elektroderne, afhængigt af fugtigheden på vejen og mængden af salt. På en solrig dag kan vejen tørre ud og ledningsevnen falder til 0 $\mu$ S. Målingerne skal derfor tolkes med forsigtighed (OECD 1989).

### 7.3.2 Fugtsaltning og tørsaltning

Fugtsalt er natriumklorid som befugtes med en saltopløsning, tørsalt er natriumklorid uden saltopløsning. Befugtningen bevirker at saltets hæftgevirkning forbedres, accelererer af-isningen og forbedrer muligheden for at variere spredningshastigheden. Udbringningshastigheder op til 70 km/t er mulige ved benyttelse af fugtsaltning (OECD 1989). Så høje hastigheder kan ikke benyttes ved tørsaltning, samtidig med at en relativ sikkerhed i spredbilledet skal opretholdes. I Danmark anbefales en max. hastighed ved spredning af fugtsalt på 60 km/t og for tørsalt på 40 km/t (Jaquet et al. 1992). Forsøg har vist at ved kørehastigheden 70 km/t opstår der et 'sug' bag bilen, hvilket betyder at der spredes mere salt i højre side end i venstre side (Vejdirektoratet 1991).

Anvendelsen af fugtsaltning er en simpel og billig måde at opretholde vintertjenesten på, og samtidig reducere forbruget af salt (OECD 1989). Ulemperne ved fugtsaltningen bygger primært på at spredningsmateriellet er dyrere, og at lastbilerne skal udstyres med endnu en tank til væsken. Ved at tilsætte en saltopløsning, opnås flere fordele:

- Befugtet salt, der spredes med en tallerkenspreder blæser ikke så let væk, da partiklerne falder tungere og bindes bedre til underlaget det lander på, end tørt salt.
- Trafikken hvirvler befugtet salt mindre op end tørt salt, hvilket muliggør forebyggende saltninger.
- Der opnås en mere ensartet saltspredning ved fugtsaltning end ved tørsaltning. Tørt salt har derimod en tendens til at spredes med vinden, eller under udbringningen, hvorved op imod 70 % af den spredte salt kan mistes (OECD 1989).

Gustavsson (1985) fandt i en testspredning at 78% af befugtet salt faldt indenfor 1/3 af vejbanens midte, hvorimod kun 4% faldt i vejgrøften. De tilsvarende tal for tørt salt var 46 og 30%. Vejdirektoratets Vejafdeling forestod i 1991 en undersøgelse af forskellige saltsprederes effektivitet ved forskellige salttyper, dosering, befugtning og kørehastighed (Vejdirektoratet 1991). Ved disse forsøg fandt man at befugtning forbedrer spredbilledet.

#### **7.4 Spredningsmateriel**

Jaquet et al. (1992) gav en oversigtlig beskrivelse af udstyr til glatførebekæmpelse i Danmark, som summarisk gengives her:

Det gælder for alle spredningsmetoder, at der skal opnås en jævn spredning, selv ved forskellige doseringer. Maskinerne bør være vejafhængige og det trækkende køretøjs hastighed må således ikke være afgørende for spredemængden pr. m<sup>2</sup>. Optimale økonomiske, sikkerheds- og miljømæssige hensyn skal tilgodeses.

I Danmark anvendes typisk tre typer af spredningsmateriel: valsespredere, tallerkenspredere og væskespredere.

##### **7.4.1 Valsespredere**

Valsespreders princip er, at saltet spredes vha. en roterende valse, der fødes fra en beholder. Valsesprederen ses normalt konstrueret som en efterløber, der er tilkoblet køretøjet som en påhængsvogn. Vha. kørehjulene trækkes en omrører, som via en doseringsanordning tilfører valsen saltet. Sprederen er dermed vejafhængig og kan uafhængigt af kørselshastigheden sikre en jævn spredning. Valsespreders ulempe er, at den kun spreder materialet i valsens bredde. Den er derfor ikke hensigtsmæssig til glatførebekæmpelse på brede kørebaner eller på veje med vekslende bredde (Jaquet et al. 1992).

Miljømæssige forhold taler tilsyneladende også imod valsesprederen. De nuværende valsespredere giver ikke mulighed for automatisk justering af doseringen fra førerhuset, ligesom det heller ikke er muligt at sprede så lille en saltmængde, som med tallerkenspredere. Dette skyldes bl.a. at valsespredere ikke kan sprede fugtsalt.

Jaquet et al. (1992) konkluderede, at valsespredere er bedst egnede til glatførebekæmpelse på stier og mindre veje, hvor enten hele færdselsarealet kan dækkes i en arbejdsgang, eller hvor en fuldstændig dækkende glatførebekæmpelse ikke er nødvendig.

##### **7.4.2 Tallerkenspredere**

I tallerkensprederen spredes saltet vha. en roterende spredeskive, der fødes fra en beholder. Tallerkensprederen slynger materialet ud over kørebanen. Gennem spredeskivens omdrejningshastighed og hældningsvinkel er det muligt at justere spredbredden.

Tallerkenspredere findes som efterløbsspredere, trukket efter f.eks. en traktor, eller monteret på ladet af en lastbil. På det overordnede vejnet anvendes udelukkende sidstnævnte type, da den i forhold til efterløbssprederen er mere manøvreedygtig og tillader en større spredeshastighed. I dag er tallerkenspredere oftest monteret i kombination med et befugtningsanlæg.

Efterløbssprederne kan typisk sprede fra ca. 1,5 m til ca. 6 m. Disse benyttes derfor oftest på mindre veje, samt på f.eks. cykelstier. Med ladmonterede tallerkensprederer kan der spredes salt i op til 12 m bredde. Chaufføren har mulighed for at styre spreddebredde, -retning og dosering (typisk fra 5 - 40 g/m<sup>2</sup>) direkte fra førerhuset (Vejdirektoratet 1991). Glader et al. (1984) nævner, at en ulempe ved tallerkensprederne i forhold til valesprederer er, at saltet spredes mere upræcist og at risikoen for at saltet havner på uheldige steder, derfor er større. Vejdirektoratet forestod i 1991 en undersøgelse af to tallerkensprederes reelle doseringer (Vejdirektoratet 1991). Af denne undersøgelse fremgik det at afvigelse fra den teoretiske indstilling oftest lå indenfor intervallet +/- 10%. Ensidede afvigelser blev konstateret for stensalt (mellem +16% og +35%), men dette formodedes at skyldes manglende justering af sprederen da man gik fra én salttype til en anden.

I dag benyttes tallerkensprederer også på smalle arealer. Der findes således forvaltninger der helt er holdt op med at benytte valesprederne til fordel for tallerkensprederer af forskellige størrelser (Olsen 1996).

#### **7.4.3 Væskesprederer**

Med denne form for spredemateriel spredes der saltlage på færdselsarealet fra en ladmonteret tank. Der findes i dag to typer spredere. Den ene type er baseret på en spredébom med nedadrettede dyser kombineret med siderettede dyser for varierende spreddebredde. Den anden spredere saltlage vha. en eller to spredetallekener. Der anvendes typisk en mættet opløsning af natriumklorid.

Metoden anvendes sjældent på danske veje, men vil formentlig ses i stigende omfang, idet den fuldstændige fordeling af saltet i opløsningen bevirker at der kan anvendes mindre doseringer end ved fugtsaltning. Odense kommune har udviklet et dysebaseret anlæg til brug på cykelstier (Mikkelsen 1995). Med væskemetoden benyttes kun ca. 20% af den salt, der benyttes ved traditionel saltning (10 g/m<sup>2</sup> i stedet for 50 g/m<sup>2</sup>, som man i Odense benytter på cykelstier). En reduktion til 25% af det normale forbrug blev nævnt af Öberg et al. (1991).

Den primære fordel ved brugen af væskesprederer, frem for de traditionelle spredetyper er at der benyttes mindre salt.

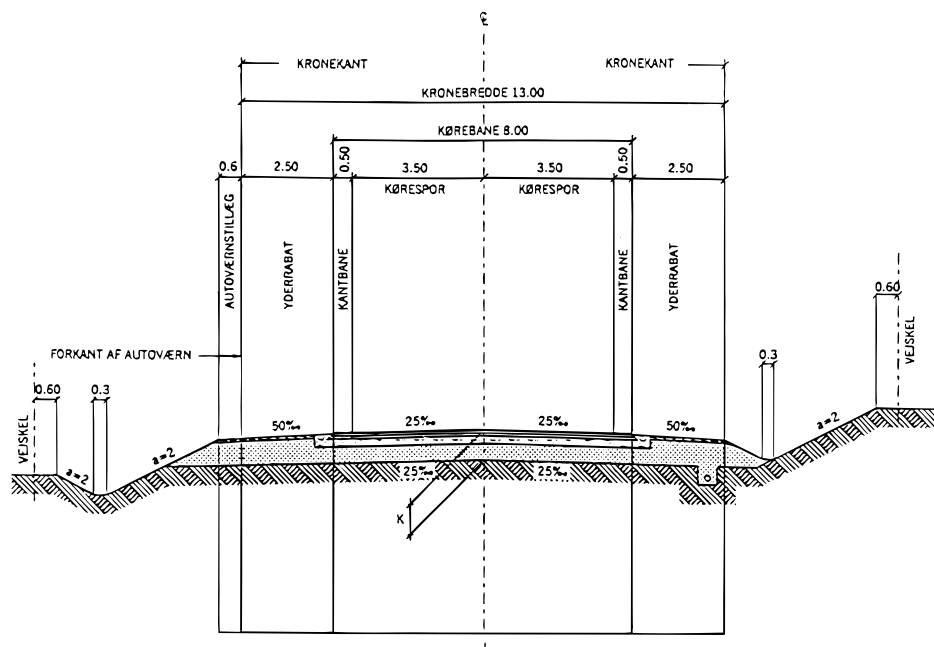
## 8. Vedplanters vækstforhold langs veje og gader

Vedplanters placering langs veje er i høj grad bestemt af vejprofilens udseende. Vejprofilet er derfor en vigtig faktor for det samlede stressniveau som vedplanterne er udsat for.

### 8.1 Vejprofiler

Tværrprofilet af en vej er sammensat af en række elementer, der enten betjener de enkelte trafikarter eller adskiller de forskellige trafikstrømme, herunder afgrænsning af vejen fra omgivelserne. Typen og mængden af profilelementer, afhænger af vejens trafikale funktion, ønsker til vejens kapacitet, serviceniveau og sikkerhed. Tværprofilelementerne kørespor, krybespor, nødspor mv. udformes med tværfald på overfladen, således at afstrømningen ledes til rende-sten, grøfter eller afvandingstrug (Thagesen 1991).

En typisk to-sporet landevej/hovedlandevej er vist i figur 2.



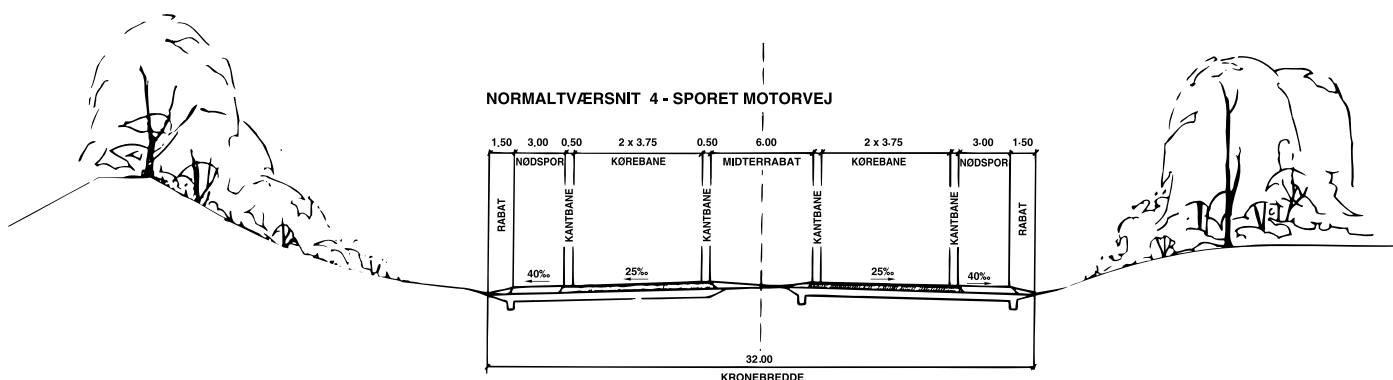
Figur 2. Et typisk tværsnit af to-sporet landevej /hovedlandevej. Fra vej nr. 338 Give - Horsens, Vejle Amt. Vejdirektoratet, tegning nr. 338-7001.

En hovedlandevej karakteriseres ved en samlet kørebanebredde på ca. 8 m, med en samlet vejbredde på ca. 13 m. På den skitserede vej er der 25‰ fald fra midten mod de to yderrabatter, som hver har et fald på 50‰. Fra yderrabatten er der yderligere fald mod et trug eller en grøft. Vejkassen er opbygget således at den også udgør yderrabattens bund. Der findes et dræn



i yderrabattens yderkant. Drænet hindrer opadstigende vand i at infiltrere vej-kassen således at denne gøres ustabil. Overfladevandet indeholdende salt løber fra vejen og opsamles i trug eller grøften, hvorfra det ledes til en recipient. På rabatterne og i grøften projekteres der ofte med en muldlagstykkelse på ca. 10 cm, hvis ikke overfladen henstår som en grusoverflade. Plantning langs sådanne profiler finder oftest sted på arealet bag grøften. Derved sikres at de gældende trafikikkerhedsmæssige regler overholdes (placering af træer, minimum 3 m fra vejkant).

En typisk motorvejsstrækning er vist i figur 3.



Figur 3. Typisk motorvejsstrækning. Fra Vallensbæk - Tårnby motorvejen.

En motorvej kan karakteriseres ved en samlet kørebanebredde på ca. 15 m, med en samlet vejbredde på i alt ca. 32 m. Udover kørebane er der på motorveje også kantbaner og nødspor. På den skitserede vej er der 25‰ fald fra midten mod de to nødspor, der hver har et fald på 40 ‰. Fra yderrabatten er der et yderligere fald mod det umiddelbart omgivende terræn. Vejkassen er opbygget således at den også udgør yderrabattens bund, med bundsikring og stabiliserende lag. Afvandingen foregår her, som ved hovedlandeveje fra vejoverfladen mod vejens ydersider.

Der vil ofte være etableret dyrkningsskråninger med en hældning på 1:10, svarende til en skråning der er 1 meter høj og 10 meter bred, hvor der er foretaget mindre afgravninger og påfyldninger. De øvrige skråninger langs en motorvej er ofte udført med en hældning på 1:2. En motorvej kan også have et ensidigt fald eller fald mod midterrabatten, afhængigt af vejens forløb. På lige strækninger vil det ovenfor beskrevne sidefald dog oftest være gældende.

## 8.2 Jordbundsforhold generelt

Når vejsalt siver ned i jorden med overskudsnedbøren, foregår der en række komplekse reaktioner mellem jorden og vejsaltet. Disse lader sig bedst forstå med et vist indblik i jordbundens fysik og kemi. Dette afsnit indeholder en kort beskrivelse af de væsentligste jordbunds-fysiske og kemiske forhold, set i relation til vejsalt (NaCl) og de ofte meget særprægede jordbunds-mæssige forhold, der optræder langs veje og gader samt under byforhold.

I naturlig tilstand er jordbunden en funktion af flere jordbundsdannende faktorer. Således er klimaet, plante- og dyrelivet, mikroorganismene, udgangsmaterialets mineralogiske egenska-

ber, overfladetopografien og tiden vigtige faktorer, der har afgørende indflydelse på jordbundens tilstand. Til trods for Danmarks ringe størrelse varierer disse faktorer overordentligt meget indenfor landets grænser. Derfor findes der også i Danmark meget forskellige jordbundstyper, der strækker sig fra de magreste sandede hedejorde (podzoljorde) i Vestjylland til de fedeste lerholdige muldjorde på Lolland.

Jordens opbygning har stor betydning for hvordan vejsalt påvirker jorden og de planter, der vokser i den. I nyere tid har mennesket påvirket jordbunden afgørende. Pløjesaale i landbrugsjorde er således velkendte. Reolpløjningen i skovbruget er et andet eksempel, men den mest markante ændring er sket i byjordene (urbane jorde), samt i de jorder der findes under og langs vejanlæggene. Byjordene har deres særegne og ofte meget vekslende opbygning og frugtbarhed (Craul 1992, Short et al. 1986a og Short et al. 1986b).

Selv i naturlig tilstand er jord et uensartet materiale. Jord består principielt af en blanding af fire dele: Jordvæske, jordluft, de levende organismer og den faste masse, dvs. jordens uorganiske mineralpartikler og det døde organiske stof. Dette udgør jordens matrix (Bolt & Bruggenwert 1976). Det indbyrdes forhold imellem disse fire komponenter bestemmer *jordens struktur, infiltration, vandkapacitet og vandgennemtrængelighed*, der alle har betydning for transporten af vejsalt i og ovenpå jorden.

### 8.2.1 Tekstur og struktur

Jordstrukturen er en vigtig egenskab, fordi det navnlig er den, der påvirker jordens dræningstilstand og planterøddernes luft- og næringsstofftilgang. Jordens struktur angiver dens lejringsforhold, dvs. hvorledes jordpartiklerne er organiseret i større enheder, i aggregater (Payne 1973a). I sandjorde er der intet der sammenkitter jorden i større aggregater, derfor er de *struktureløse*. De har en god lufttilgang, men en lille evne til at tilbageholde vand og de tørrer hurtigt ud om sommeren. Lerjorde derimod, har ofte en god og veldefineret struktur, der tillader en god dræning samtidig med en optimal næringsstofforsyning. Lerindholdet kan imidlertid let blive så højt at strukturen bliver for tæt, dræningen nedsættes og lufttilgangen til planterødderne mindskes.

Evnen til at danne aggregater og stabiliteten af aggregaterne er nøje knyttet til jordens tekstur. Teksturen beskriver mineraljordens kornstørrelsessammensætning. Typisk beskrives en jords tekstur ved det procentuelle indhold mellem de tre kornstørrelsesklasser. Sand, ler og silt (FAO/UNESCO 1990).

Det er kornstørrelsesfordelingen, der bestemmer om jorden er en lerjord, en leret sandjord eller blot en sandjord. Alle jorde kan indplaceres i et såkaldt trekantsdiagram, der angiver den indbyrdes beliggenhed af forskellige jordtyper. Jorderne med den bedste tekstur er i figur 4 sammenfattet under den engelske betegnelse 'loam'-jorde. De jorde der ligger vest for den jyske israndslinie hører typisk til de struktureløse sandjorde, mens de jorde der ligger øst herfor ofte er brunjorde med krummestruktur. Bl.a. på basis af struktur, tekstur og lagdelingen indplaceres et givent jordprofil i et større klassifikationssystemer som 'FAO/UNESCO Soil Map of the World' eller det amerikanske 'Soil taxonomy'.

Jordenes egenskaber varierer med kornstørrelsesfordelingen. Jo større lerindhold, jo vigtigere er jordstrukturen. Den gode luft- og vandgennemtrængelighed i sandjorder følges af at sandkornene har en lille specifik overflade og tilmed i overvejende grad består af kvarts. Sandjorder indeholder derfor ikke så mange næringsstoffer. Derimod har det fine ler har en meget stor specifik overflade, hvorpå der kan holdes på mange næringsstoffer. Silt har egenskaber der ligger midt imellem (Jury et al. 1991).

Den ideelle struktur findes, hvor der er en god balance i kornstørrelsesfordelingen mellem både ler, silt og sand. En sådan balance findes i brunjorde. Sådanne jorder har et veludviklet muldrag med stor aktivitet af regnorme. Regnormene fremmer dannelsen af en god jordstruktur ved at sammenkitte mineralpartiklerne og det organiske stof (Evans 1948, Payne 1973b). Den ideelle struktur er krummestrukturen. Her er jorden samlet i mindre aggregater med store mellemliggende hulrum. I jorde med en sådan struktur er dræning, lufttilgang og næringsstofforsyning optimal.

Jordaggregaternes stabilitet afhænger især af de udbyttelige kationer. Kalcium og andre grundstoffer med to ladninger fremmer en god struktur med stabile aggregater, som man ser i typiske brunjorde med krummestruktur og stort porerumfang. Kalcium er især god til at skabe stabile bindinger mellem de enkelte jordpartikler og til organisk stof (Schachtschabel 1967). Man siger Kalcium virker flokkulerende. Natrium omgiver sig med en store vandkapper og har den modsatte effekt (Bäckman 1985, Brod 1989). Natrium siges, at være dispergerende.

Den store vandkappe der omgiver natrium, er en dårlig strukturdanner som nærmest hindrer aggregeringen i lerjorde. Resultatet bliver, at den lerede jordbund får et lille porevolumen hvor lufttilgang og dræning er meget dårlig. I overfladen kan dette også få den konsekvens, at jorden sammenkittes (komprimeres) som følge af opløsning af dens struktur. I overensstemmelse hermed finder Fleck et al. (1988) at jorden er mere tør på steder hvor der saltes, sammenlignet med hvor der ikke saltes. Det synes at være karakteristisk, at til trods for den længe kendte dispergerende effekt af natrium på jordstrukturen, findes der kun en yderst begrænset dokumentation for effekterne i forbindelse med anvendelsen af vejsalt (Brod 1989).

### **8.2.2 Infiltration, permeabilitet og vandkapacitet**

Infiltration, permeabilitet og vandkapacitet har stor betydning for vandhusholdningen i jorden. Infiltrationen er jordens evne til at lade overskudsnedbøren trænge ned i selve jorden. Er overskudsnedbøren større end infiltrationen vil det overskydende vand afstrømme langs jordoverfladen. Infiltrationen bestemmes i stort omfang af de øverste cm af jorden (Payne 1973b). En lille infiltration vil ofte skyldes komprimering.

Permeabiliteten beskriver vandgennemtrængeligheden i jorden. Strukturløse sandjorde og lerede jorde med god struktur og stort grovporerumfang har en høj permeabilitet. Sådanne jorde er veldræned og mangler de træk, der karakteriserer vandlidende jorde. Meget lerede jorde er med deres ringe permeabilitet ofte vandlidende.

Vandkapaciteten beskriver jordens evne til at holde på vand. Det er vigtigt med en høj vandkapacitet. Når sommeren kommer og fordampningen stiger vil jord med høj vandkapacitet

besidde en stor plantetilgængelig vandreserve. Lerede jorde har normalt en høj vandkapacitet i forhold til sandede jorder.

### 8.2.3 Jordluften og jordvæsken

Planterne har behov for ilt på samme måde som dyr. Det er ikke bare de overjordiske dele der har brug for ilt. Det gælder også rodsystemet. Gennem jordluften udveksles ilt og kuldioxid mellem de levende organismer og atmosfæren.

Jordvæsken er en vigtig del af jorden. Tilstrækkelig høj luftfugtighed er en forudsætning for den kemiske forvitring af jordminerale ligesom for andre kemiske jordprocesser. Langt den væsentligste del af transporten af næringsstoffer foregår også i jordvæsken. Dette gælder både transporten mellem forskellige dele af jorden og mellem jordpartiklerne og planterødderne. Det vil sige, at det primært er igennem jordvæsken planterne får dækket deres behov for næringsstoffer. Det er også igennem jordvæsken, at planten optager mange giftstoffer som f.eks. klorid og aluminium.

Når nedbøren overstiger fordampningen vil det overskydende vand forsvinde ved overfladeafstrømning eller gennem nedsivning. Det er således via jordvæsken, at jorden mister såvel næringsstoffer som giftstoffer, når disse nedvaskes og dermed siver ud af planternes rodzone. Siver der større mængder vejsalt ned igennem en given jord vil der uanset jordtype ske en ionbytning mellem jordvæskens indhold af natrium og de udbyttelige kationer på jordpartiklerne (Brod 1989). Derimod er klorid så mobil og jordpartiklernes evne til at tilbageholde de negativt ladede anioner så lille, at klorid forholdsvis hurtigt udvaskes, når der ses bort fra de mængder som beplantningen eventuelt har optaget. Selv under naturlige forhold uden vejsaltning, er denne optagelse uden betydning i økosystemernes klorid-husholdning, dvs. i forhold til hvad der tilføres og fraføres en given jord.

Koncentrationen af vejsalt aftager generelt med afstanden fra vejkanterne og med jorddybden (Gidley 1989, Leisner et al. 1980, Liem et al. 1985, Scott 1980, Zelazny et al. 1970).

Reaktion mellem vejsalt og den omgivende jord er kompleks og afhænger af befugtningen af vejsaltet, jordens adsorptionsformåen og permeabilitet, dræningsmønstre, mængden af saltsprøjt og af jordtype.

Ionbytningen med natrium fra vejsalt kan have stor betydning for opretholdelse af jordens frugtbarhed. Således fandt Shanley (1994) at vejsaltning forøgede afstrømningen af opløste stoffer i en flod med 120% og at ionbytning i jorden af natrium med calcium og magnesium forårsagede at udvaskningen af disse stoffer steg med 44%. Derudover fandt Fleck et al. (1988) at saltning har forårsaget en nedgang i jordens indhold af calcium og magnesium sammenlignet med usaltede steder.

I en amerikansk undersøgelse af over 400 grundvandsboringer konkluderer Howard og Beck (1993) at klorid må betragtes som en vigtig forureningsfaktor i grundvand fordi koncentrationerne ofte oversteg de amerikanske vandkvalitetskriterier (250 mg/l). Lignende konklusioner er nået af Toler & Pollock (1974), Wulkowicz & Saleem (1974) og Eisen & Anderson (1980). Hanes et al. (1976) viste, til trods for klorids høje mobilitet, en akkumulering af natrium og

en akkumulering af klorid i jord, som følge af vejsaltning i en periode over tre år. Akkumuleringen kunne genkendes otte meter i dybden og i en bredde af 400 m fra vejen. Locat and Gélinas (1989) fandt, at omtrent et års forbrug af vejsalt kan opmaganiseres i jordzonen over grundvandet.

I Danmark er et højt natrium- og kloridindhold i grundvand uønsket af hensyn til saltsmag. Den vejledende grænseværdi for klorid i drikkevand er 50 mg/l, mens den højest tilladte værdi er sat til 300 mg/l (GEUS 1995). Ribe og Københavns amt mener at vejsaltning stedvis har forhøjet kloridkoncentrationen i grundvand. Københavns amt anser indholdet af klorid for stigende (GEUS 1995). Den vejledende grænseværdi for natrium i drikkevand er i Danmark sat til 50 mg/l og det højest tilladte indhold til 175 mg/l (GEUS 1995). Under nedsvivningen til grundvandet er det kun fortynding af mindre kloridholdigt jordvand, der kan moderere de høje kloridkoncentrationer. Natrium koncentrationen ændres imidlertid meget under nedvaskningen til grundvandet som følge af markant ionbytning med bl.a. calcium. Mange byjorde, der har modtaget store mængder vejsalt er ikke længere i stand til at 'udføre' denne ionbytning (Howard & Beck 1993).

Tilgængeligheden af mange essentielle næringsstoffer reguleres af pH i jordvæsken. Det er vist, at vejsalt indvirker på jordens pH. På visse lerholdige, næringsrige jorder kan vejsalt få pH til at stige (Brod 1993). På sandede næringsfattige jorde kan vejsalt få pH til at falde (Brod 1993). Herved kan tilgængeligheden mindskes. Falder pH øges chancen for tilstedeværelsen af giftigt aluminium.

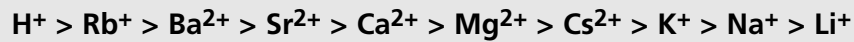
#### **8.2.4 Næringsstoffer og giftigt aluminium**

Foruden at være planternes forankringsplads fungerer jorden også som det substrat, der forsyner planterne med næringsstoffer. Næringsstofferne findes hovedsageligt i jordmatrix. De fleste næringsstoffer sidder lukket inde i mineraler og organisk stof, og frigives først gennem forvitring og mineralisering. Andre sidder mere eller mindre løst på overfladen af jordens forskellige partikler.

Næringsstofferne Na, kalium ( $K^+$ ), calcium ( $Ca^{2+}$ ), magnesium ( $Mg^{2+}$ ), jern ( $Fe^{3+}$ ), mangan ( $Mn^{2+}$ ) og zink ( $Zn^{2+}$ ) samt grundstofferne hydrogen (eller syre) ( $H^+$ ) og det plantegiftige aluminium ( $Al^{3+}$ ), findes som regel i overvejende grad knyttet til jordens mineralpartikler og organisk stof. Kvælstof (N), svovl (S) og fosfor (P) er i stort omfang kun bundet til jordens organiske stof.

Overfladen på jordens partikler er normalt negativt ladede (Bolt et al. 1976). Derfor tiltrækker jordpartiklerne de positivt ladede kationer (figur 7), men de enkelte kationer bindes med meget forskellig styrke til jordens partikler (Troedsson & Nykvist 1973). Natrium er en kation, der er omgivet af en stor vandkappe og som samtidigt har en lille ladning på kun én. Det betyder, at natrium bindes svagt til jordens partikler (Wild 1973) (tabel 3). Langt den overvejende del af de udbyttelige kationer er knyttet til lerpartiklerne, en mindre del til siltpartiklerne og kun et fåtal til sandpartiklerne (Raulund-Rasmussen 1993).

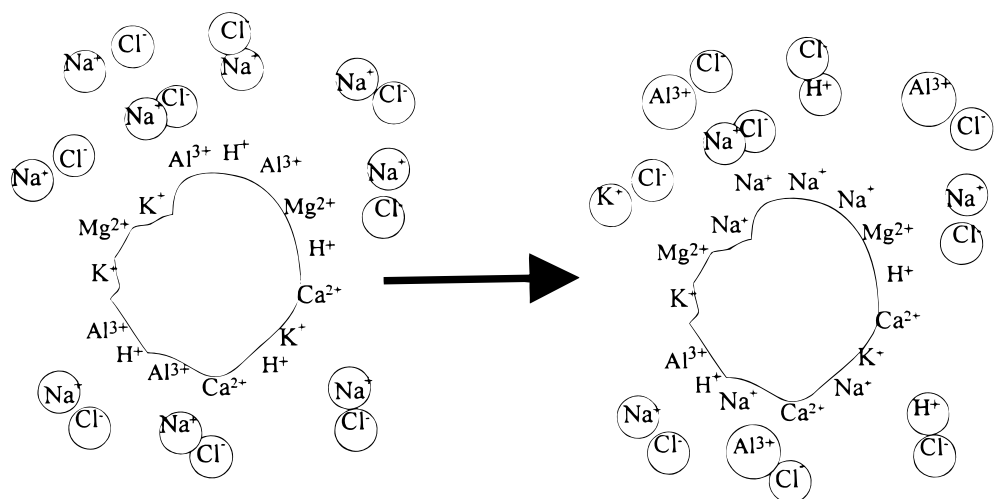
## Næringsstoffers generelle bindingsstyrke til jordpartikler



Tabel 3. Bindingsstyrken af forskellige kemiske stoffer til jordpartikler (Hofmeisters kation sekvens).

En kation, der sidder på en jordpartikel, sidder der altså ikke for altid, da den kan udbyttes med andre kationer. Derfor kaldes de kationer, der sidder på jordpartiklernes overflade for udbyttelige kationer. Disse er umiddelbart tilgængelige for planterne.

Udbytningen afhænger af den involverede jordpartikel og af den kemiske sammensætning af jordvæsken. Findes der meget natrium i jordvæsken, som følge af vejsaltning, vil natrium til trods for at den bindes svagere til jordpartiklerne end f.eks. calcium, fortrænge mange af de andre udbyttelige kationer (figur 5). Sammensætning af de udbyttelige kationer på jordpartiklernes overflade afhænger altså af en ligevægt med jordvæskens sammensætning af kationer. Udvaskes en del af vejsaltet og dermed den natrium, der er i jordvæsken, vil en ny ligevægt mellem jordvæskens og jordpartiklernes kationer søge at indstille sig. Den ekstra natrium, der nu sidder på jordpartiklerne, vil i et vist omfang udbyttes med syre, aluminium eller calcium, der f.eks. er frigivet til jordvæsken gennem den føromtalte ionbytning eller gennem forvitring af jordens mineraler.



Figur 5. Ionbytning mellem natrium i jordvand med diverse ioner på en jordpartikel.

Mængden af organisk stof er størst i overjorden og aftager meget hurtigt med dybden. Organisk stof har som regel mange flere udbyttelige kationer pr. vægtenhed end mineralpartiklerne, men pr. fladeenhed sidder der som regel lige så mange eller flere udbyttelige kationer på mineralpartiklerne fordi jordbunden har en udstrækning på 120 cm eller mere, ned i mineraljorden. Betydningen af de udbyttelige kationer i det organiske lag er som regel afgørende for plantevæksten, fordi planterødderne især befinder sig i dette lag.

Aluminium er et af de almindeligste mineraler jorden. Det indgår som en af de vigtigste byggesten i mange mineraler, men også i den pulje af udbyttelige ioner, der sidder på jordpartiklernes overflade. Aluminium findes i flere tilstandsformer i jorden og mange af disse er plantegiftige.

De fleste næringsstoffer er giftige når de er tilstede i store koncentrationer. Aluminium er derimod giftigt ved forholdsvis små koncentrationer. Aluminium er plantegiftigt fordi det anretter uoprettelige skader på planteceller. Desuden påvirker aluminium rodoptagelsen af især calcium og magnesium negativt ved at konkurrere om de samme optagelsessteder i planternes rødder. Derfor er mange symptomer på giftvirkning fra aluminium de samme som mangel på calcium og magnesium. Calcium har afgørende betydning på planternes vækstkraft, struktur samt optaget af en lang række andre næringsstoffer (Pedersen & Beier 1996).

Som de øvrige udbyttelige ioner står aluminium i ligevægt med koncentrationen i jordvæsken, men forholdet kompliceres af jordvæskens pH (Novenzamsky & Beck 1976). Ved lavt pH opløses der meget aluminium og ved højt pH er aluminium næsten uopløseligt og dermed ugiftigt for planterne. Da det oftest er de sandede jorde, der har et lavt pH, er det også her, der optræder giftigt aluminium. Luftforurening og sur nedbør er med til at forsure jorden og dermed til at øge mulighederne for opløsning af giftigt aluminium (Ulrich 1986, Mulder 1988).

Ionbytning med aluminium følger de samme grundlove som de øvrige kemiske stoffer (Rowell 1973, Novozamsky & Beck 1976). Findes der høje saltkoncentrationer i jordvæsken som følge af f.eks. vejsaltning vil aluminium på jordpartiklerne ionbytte med jordvæskens natrium (figur 8). Herved vil aluminium fortrænges ud i jordvæsken hvorved stoffet bliver giftigt for planterne. Som sideeffekt forårsager opløsning af aluminium at jordvæskens pH falder dramatisk. Dette kan have betydning for plantetilgængeligheden af en lang række næringsstoffer (Lucas & Davies 1961). Fænomenet kendes fra flere undersøgelser bl.a. i Danmark (Pedersen 1995) og Skotland (Langan 1987, Dalziel et al. 1988) og optræder selv ved mindre tilførsler af havsalt til skovøkosystemer.

### **8.3 Jordbundsforhold i forbindelse med trafik anlæg**

Jordbundsudviklingen i naturlige jorde strækker sig typisk over mange hundrede, måske tusinder af år. På sandjorde vil der måske dannes blegsandslag og al-lag. På de lerede jorde kan der foregå nedslæmning af lerpartikler. Sådanne processer bidrager alle til dannelse af bestemte naturlige jordbundstyper. Her vil der ofte være teksturforskelle i over- og underjorden afhængig af de konkrete jordbundsdannede betingelser. Jordene langs gader og andre vej-anlæg er stærkt påvirket af menneskelig aktivitet og er kun i ubetydeligt omfang af naturlig oprindelse (Short et al. 1986a, Short et al. 1986b, Craul 1992, Harris 1992, Bradshaw et al. 1995 og Randrup 1996).

Short et al. (1986a) beskrev en række jordprofiler fra the Mall i Washington D.C.. De var så kompliceret opbygget, at de faldt udenfor de traditionelle profilbeskrivelser. Dette skyldtes at jordene var blandinger af sand og grovere materialer som grus og bygningsaffald. Tilsvarende forhold er gældende i forbindelse med nyere byggerier i Danmark (Randrup 1996). Jorden

langs veje kan ligeledes karakteriseres ved en sammensat jordprofil, der ofte indeholder skarpe grænser mellem de enkelte jordlag. F.eks. er der ofte en skarp grænse mellem råjorden (mineraljorden) og de ovenpå liggende jordlag (muldjorden). Langs vejanlæg ses det ligeledes at mineraljorden under muldlaget ofte er komprimeret (Randrup 1993). Komprimeringen opstår oftest under anlæggelse af vejanlægget. Ved større afgravsarealer kan en stor jordtæthed være et udtryk for jordens naturlige komprimering, der er en følge af det tryk, den overliggende jord har ydet igennem årtusinder. På afgravsarealer mangler et muldlag ofte, fordi afgravningen har blotlagt de naturlige jordbundslag, i op til flere meters dybde.

I byen påvirkes rødderne af manglende vand- og lufttilgang på grund af de ofte uigennemtrængelige overfladebelægninger. Denne effekt forstærkes af bærelagsopbygninger, der findes under belægningerne. I dag er disse oftest udført med et materiale, der er optimalt komprimeringsmæssigt (stabilgrus). Dette betyder, at hulrum i jorden hvor vand- og luftbevægelser kan foregå, praktisk taget ikke eksisterer. Hvis jorden omkring et plantehul er lerrig, eller hvis jorden er komprimeret, er der risiko for, at overfladeafstrømning fører til akkumulering af vand i plantehullet. Dermed bliver vandmætning (drukning af rødderne) en væksthæmmende faktor. Hvis vandet der løber til plantehullet er forurenset med vejsalt, kan den skadelige effekt af saltet forstærkes, gennem opkoncentrering i plantehullet som følge af vandets fordampning og planternes forbrug. Dette betyder at regnvand og anden overfladevand mange gange ledes uden om plantehullet og planternes rodsystemer, men også at den naturlige omsætning af organiske plantedele (primært blade) ikke finder sted.



## 9. Udbredelse af vejsalt til planterne

I Danmark varetages vintertjenesten af amter, kommuner og private, herunder boligselskaber, ejerforeninger m.v.. Saltforbruget afhænger af det anvendte materiel og af saltningsmetoden og dermed også af den involverede instans. Saltforbruget afhænger også af hvor der saltes. Foran butikker, fodgængerovergange, busholdepladser m.v. saltes der ofte meget intensivt for at sikre færdslen. Træer plantet nær sådanne steder er derfor generelt mere udsatte for saltskader end andre gade- og vejtræer (Lyngby-Taarbæk kommune 1989, Gibbs & Palmer 1994). På sådanne lokaliteter spredes saltet oftest med hånden. På motorveje og andre færdselsårer med store trafikmængder, er planteskaderne større end på veje med mindre trafikintensitet og hvor hastigheden er mindre (Sucoff 1975). Dette skyldes at der typisk saltes mere og oftere på trafikintensive veje, samt at saltspredningen øges ved stigende trafikmængder og trafikhastighed.

Vejsalt transporteres til det omgivende miljø ved *overfladeafstrømning* (Kliejunas et al. 1990), ved *saltsprøjt* (OECD 1989, Jones et al. 1986, Priebe 1990) eller i form af *vindbårne partikler* (OECD 1989, Jones et al 1986). Spredningen sker på en eller flere af følgende måder:

- Gennem ikke optimale saltningsmetoder, hvor en del af saltet under spredningen lander udenfor vejkanter, på fortove, pladser m.v.
- Ved at tørt salt slynges til vejkanterne som følge af trafikken eller af vinden.
- Ved at opløst salt løber af vejen eller spredes som en tåge af den passerende trafik til jord og beplantning langs vejen.
- Ved at saltholdigt sne blæses eller skubbes ud over vejkanterne af fejmaskiner eller snepløve.

Saltpåvirkningen af træer og buske, der vokser langs gader og veje sker derfor:

- Ved at saltet sprøjtes på de overjordiske plantedele.
- Ved at salt lander på jord/vejoverfladen, løber af denne og efterfølgende nedvaskes i jorden til rodsystemet.
- Ved en kombination af de to ovenfor nævnte forhold.

Betydningen af udbredelsestyperne afhænger tydeligvis af den enkelte lokalitet. Townsend (1989) anførte, at der i det mindste langs motorveje er gode beviser for at saltsprøjt udgør en større skadefaktor end salt, der optages fra jorden. Om skadens omfang anførte Harris (1992), at planter ser ud til at være mere alvorligt påvirket af salt der spredes, sprøjtes eller flyder direkte på dem, end af salt der ophobes i jorden. Sucoff (1975) anførte, at skadebilledet som følge af saltsprøjt er mere alvorligt ved vejtræer end ved gadetræer. Dette skyldes formodentlig to forhold: 1) trafikhastigheden er oftest lavere i byen end udenfor byen, 2) gadetræer vil i mange tilfælde have deres krone i en højde hvor saltsprøjtet ikke når op. Dobson (1991) angav i overensstemmelse hermed, at skader som følge af saltsprøjt stort set ikke eksisterer i byen.

Brod (1989) understregede betydningen af saltpåvirkningen gennem jorden, mens Zelazny & Blaser (1979) i en undersøgelse af vejsalts effekt på *Acer saccharinum* (Sølvløv) langs veje anførte, at saltsprøjt er uden betydning for skaderne. Årsagen til skaderne skyldes udelukkende effekter fra rodoftag af klorid og natrium.

Skaderne afhænger af hvordan træerne er eksponeret. Typisk modtager vegetation der vokser på nedadgående skrånninger mere salt end tilsvarende vegetation, der vokser på stigende skrånninger (Sucoff, 1975). Harris (1992) omtalte forsøg der viste, at planter der var dækket af sne eller på anden måde tildækket, ikke blev skadet. Skaderne afhænger derfor meget af om træarten er et nåletræ eller et løvtræ (Dobson 1991), på grund af nåletræernes store filtereffektivitet. Sucoff (1975) skrev f.eks., at skader kunne observeres i løbet af vinteren på nåletræer, hvorimod skaderne først optræder i løbet af foråret på løvfældende arter, samt at saltsprøjt har størst betydning for tilbagevisning af grene hos løvfældende arter. Beaudoin (1992) anførte, at ophvirvling og saltsprøjt giver de værste skader på granarter (*Picea*).

Betydningen af den direkte effekt af saltet på de overjordiske dele og den indirekte effekt via jordbunden er vanskelig at gøre op. Det vil altid være forhold, der er specifikke for den enkelte lokalitet og plantning, der er afgørende for om det er saltsprøjt eller saltpåvirkning gennem jordbunden der er den afgørende stressfaktor.

### **9.1 Lufttransport og sprøjt**

Der findes mange undersøgelser, der belyser hvor langt væk vejsalt kan udbredes fra vejkanten. Dragsted (1988b) konkluderede, at vejsalt i høj grad deponeres indenfor en afstand af 3 m fra vejen. Tilsvarende afstande angav Bradshaw et al. (1995) som kritiske i forhold til hvornår saltkoncentrationer var skadelige for plantevæksten. Bowers & Hesterberg (1976) har dog målt forhøjede koncentrationer af natrium især i jordens øverste jordlag indtil 7 m fra vejkanten. Dette svarer til Harris (1992), der beskrev et studie fra Maine, hvor jorden blev analyseret i 0,15 - 0,2 m dybde i forskellige afstande fra vejen. De første fem år efter saltning var der mest natrium og klorid indenfor 5 m fra vejen. Efter 18 år var natriumklorid niveauet meget højere og gik helt ud til mindst 15 m fra vejkanten. Saltkoncentrationen var halvt så stor i 15 m afstand som ved 2 m afstand. Colwill et al. (1982) beskrev at 2 m fra vejkanten var klorid koncentrationerne mindre end halvt så store som i tilsvarende arealer beliggende i midtterrabbatten. I midten af en 4 meter bred midterrabbat fandt Colwill et al. (1982) ca. halvdelen af den samlede saltmængde indenfor ca. 0.5 m fra vejkanten.

Breckle & Scheck-Hoffman (1985) angav, at vejsaltet lufttransporteres ud over 10 m fra vejkanten, (se figur 9). Hutchinson (1966) beskrev lignende afstandsrelationer til vejkanten i det første år efter vejsaltning. Efter 18 års saltning var saltkoncentrationen i jorden, 20 m fra vejkanten, øget med næsten 500% i forhold til det første saltningsår. Golwer (1991) beskrev, at saltsprøjt kan nå ud på ca. 10 m fra vejkanten, men at vindtransporteret vejsalt når helt ud på 60 m fra vejkanten. Wentzel (1974) har fundet skader på rødgran omtrent 80 m fra vejkanten, Hofstra & Hall (1971) mere end 100 m væk som følge af lufttransporteret vejsalt om skader på træer der stod 150 m fra vejkanten. I en undersøgelse foretaget i vinteren 1995/1996 langs en motorvej på Sydsjælland fandtes at saltkoncentrationen i jorden såvel som på nålene var mærkbart forøget over 40 meter fra vejkanten (Pedersen & Christensen Pers. Komm.).

Harris (1992) omtalte et forsøg, hvor 9 m blev anført som den minimale afstand mellem plante og vejkant. Tilsvarende anførte Townsend (1989), at indenfor 9 meters afstand fra vejkanten var saltindholdet i jorden ligeså skadeligt, som den salt der ved sprøjt skadede træerne. Ifølge Townsend (1989) må det forventes, at sandsynligheden for natriumforgiftning er størst

indenfor 2,5 m fra gader, der saltes. I en opsummering (OECD 1989) angives, at vejsalt afsættes eksponentielt fra vejkanten og at ca. 90% afsættes indenfor de første 15 m. Meget tyder derfor på, at mest vejsalt afsættes i umiddelbar nærhed af vejkanten med saltsprøjt, mens varierende mængder men oftest mindre mængder, vindtransporteres som tørt salt, der afsættes længere væk. Dette indikeres af flere undersøgelser: Bäckman (1980), Dragsted (1980), Kreutzer (1974), Rich (1972), Thompson et al. (1986) og Vestergaard (1971). Pedersen (1996) fandt at 10-25% af den samlede udbragte saltmængde blev spredt udenfor vejkanten via sprøjt. Saltet bliver typisk afsat ud til ca. 8 m fra vejkanten og aftager hurtigt i afstande mellem 2 og 6 m.

Burton (1992) viste at saltkoncentrationen langs vejkanterne, er afhængigt af trafikhastigheden, (tabel 4). Det ses af tabel 4, at koncentrationen som forventet stiger i afstand fra vejen i takt med at hastigheden af trafikken stiger. Ved hastigheder på ca. 50 - 60 km/timen fandtes de største saltmængder indenfor 2 meter af vejkanten. Ved hastigheder omkring 80 - 100 km/timen fandtes de største koncentrationer i 8-10 meters afstand fra vejen. Burton (1992) angav ikke typen af trafik og trafikintensiteten, men resultaterne vurderes alligevel at kunne betragtes som retningsgivende.

Trafikhastighed (km/t)	Afstand til største saltkoncentration (m)	Max afstand saltsprøjt blev registreret i (m)
50	1.5	28
60	2	31
80	8	34
100	10	37

Tabel 4. Saltspredning som følge af trafikhastighed. Fra Burton (1992).

Pedersen (1996) fandt at en 'høj' årsdøgnstrafikmængde (ÅDT) og en fartgrænse på 90 km/t gav en typisk saltafsætning på 12-16 m, medens en 'lav' ÅDT og 80 km/t fartgrænse kun gav en saltafsætning ud til 8 m. Bradshaw et al. (1995) angav at en planteafstand på 3 meter fra vejkanten ville være tilstrækkeligt i byområder, hvor hastigheden var lav. Colwill et al. (1982) noterede, at selvom en del amerikansk litteratur beskriver at saltsprøjt kan deponeres meget langt fra vejkanten, er disse resultater oftest i forbindelse med nåletræer. Konklusionen er derfor ifølge Colwill et al. (1982), at man kan plante i vejkanter, men ikke i midterrabatter. Bradshaw et al. (1995) supplerer hertil at gadetræer enten bør plantes bag et forto, der hælder væk fra beplantningen, eller der bør plantes i åbne arealer uden forbindelse til vejanelæggene.

## 9.2 Transport igennem jord

Når afstrømningsvandet med vejsalt møder de omgivende jorde vil vandet og de opløste stoffer bevæges både i det vandrette og det lodrette plan. Den vandrette bevægelse medfører et minimum af infiltration og bestemmes især af hældning og jordens kompakthed i overfladen. For eksempel vil hældende kompakte, lerede jorde føre til en meget lav infiltration og vil dermed fremme overfladeafstrømning på bekostning af vertikal dræning (Jones et al. 1986).

Omvendt vil forholdsvis flade sandede jorde med høj permeabilitet fremme en lodret vandbevægelse og dermed nedvaskning af opløste stoffer. Indbyggede dræn i vejkanterne vil fremme en lignende effekt. Jones et al. (1986) har fundet, at kompakte jordbundstyper fører op til 75% af det tilførte vand videre som overfladeafstrømning. Ukompakte permeable jorde kan bortlede op til 35% af det tilførte vand ved overfladeafstrømning. Når jordoverfladen er frossen vil vejsalt ikke nødvendigvis strømme af langs overfladen. Zelazny & Blaser (1970) efterviser, at vejsalt er i stand til at sive ned i jorden, når denne er frossen.

Opløste stoffer som natrium og klorid bevæges gennem jorden langs en hydraulisk gradient. Er vandindholdet større end hvad jorden kan opsuge, vil der foregå en dræning og stofferne vil nedvaskes og eventuelt fortyndes i grundvandet. Er jordens indhold af vand mindre end hvad den kan opsuge, vil den hydrauliske gradient bevæge sig opad med mulighed for at stoffer afsættes i de overfladenære lag.

Saltkoncentrationen varierer over året, men afhænger meget af den konkrete lokalitet og klimaet. Dragsted (1988a) anførte at saltindholdet i jorden stiger stærkt om vinteren for at falde en del i løbet af foråret i takt med at saltudbringningen indstilles. Brod & Speerscheider (1991) viste derimod at vejsalt opkoncentreres i jorden i løbet af sommermånedene. I et review viste Brod (1993), at det er meget almindeligt at salt kan opkoncentreres i jordvæsken i løbet af sommeren.

Det er velkendt, at træer der er plantet i befæstede arealer skades af salt (Hedvard 1972, Harris 1992, Bradshaw et al. 1995). Det er ikke klarlagt hvordan salt når ned til disse træers rodsystemer. Skaden skyldes måske udelukkende en saltophobning i det forholdsvis lille rodrum, men det kan også skyldes saltopløsninger, der trænger ned gennem åbninger i belægningen (fuger m.v.) eller salt der trænger ned igennem belægninger, der i øvrigt betragtes som værende uigennemtrængelige. Det er blevet foreslået, at saltskader kan fremkomme via træerødder der vokser i afløbsledninger (Dobson, 1991), hvori store mængder af salt transporteres. Bortset fra at træerødder i ledninger er blevet bevist at være et stort problem (Stål, 1992), er der tilsyneladende ingen dokumentation for denne teori.

## 10. Salts indvirkning på planter

I den kritiske zone langs vejene, i midterrabbatter m.v. påvirker vejsalt alt liv, såvel fauna som flora. Efter en vinter som i Danmark 1995/1996, er det ikke svært at få øje på mistrivslen af vedplanter. Effekten på jordens fauna og især for de mindste dyr er måske ligeså markant (Braun & Flückinger 1984, Höbel et al. 1992, Resource concepts 1992).

De forskellige plantearter påvirkes meget forskelligt af salt. Nogle planter har gennem årtusinder udviklet en stor tolerance overfor salt, måske fordi de har vokset nær havområder, hvor der traditionelt bringes store mængder saltstøv med vinden ind over land, eller fordi de stammer fra ørkenagtige områder, hvor en stor fordampning til stadighed trækker grundvand og næringssalte op mod jordoverfladen. Andre plantearter påvirkes let af selv meget små saltmængder. Det kan være arter, der er tæt knyttet til ferske vådområder eller som har tilpasset sig områder langt væk fra havet.

Planter, der elsker en stor saltpåvirkning, kaldes halofile planter. Planter, der ikke tåler salt, kaldes glycofile planter. I midterrabbatten på mange danske motorvejsstrækninger har der allerede indfundet sig mere eller mindre halofile plantesamfund (Bille-Hansen Pers. Komm.).

De forskellige salttålede plantearter er indrettet anatomisk og fysiologisk så de kan modstå saltpåvirkning. Hvorledes den enkelte plantearts modstand er indrettet afhænger af en lang række forhold, bl.a. om saltpåvirkningen især er på de overjordiske eller underjordiske plantedele. Der findes dog flere generelle forhold i planternes reaktion og i de påvirkninger planterne står overfor. Planternes reaktion på ugunstige kår har længe vakt en betydelig interesse og er ikke noget nyt i forhold til vejsalt. Forstmanden og landmanden har længe karakteriseret planter som kunne modstå ugunstige kår som 'hårdføre'. Stress er den glose, der bruges om en miljømæssig faktor (kår), der er ugunstig for en levende organisme. Stress-modstand er glosen der beskriver en organismes evne til at overleve de ugunstige kår.

### 10.1 Typer af stressfaktorer

Stress opdeles i primær og sekundær stress afhængig af, om det er det ugunstige kår, der selv udøver stress, eller om det er et afledt kår, der er den egentlige stressfaktor. Der findes flere forskellige måder som et primært stress kommer til udtryk på. F.eks. kan stresspåvirkningen forårsage en direkte irreversibel stresskade (plastisk belastning), der er karakteriseret ved en hurtig stressreaktion, muligvis efterfulgt af plantedød. Stresspåvirkningen kan også være indirekte. Sådanne stresskader er oprindeligt reversible (elastisk belastning) og ikke skadelige i sig selv, men med tiden udvikler de sig til irreversible skader. Indirekte skader kendetegnes ved, at have udviklet sig over en længere tid. Sekundært stress er en stresstype, der kendetegnes ved, at planten ikke skades ved belastningen som stressfaktoren fremkalder, men ved at stressfaktoren giver ophav til en ny type stress, et sekundært stress.

Stress kan også opdeles i forhold til oprindelsen fra det omgivende miljø. Den ene type kaldes 'biotisk stress', der f.eks. stammer fra infektion og konkurrence fra andre organismer. Dette kan være indefor samme art eller blandt andre arter. Den anden type stress kaldes 'fysisk/kemisk stress', der bl.a. omfatter stress forårsaget af høje og lave temperaturer, tørke, oversvøm-

melse, stråling, vindslid, jordkomprimering, men også effekterne af kemiske stoffer som insekticider og herbicider. Stress der stammer fra anvendelsen af vejsalt hører også til her.

Planter klassificeres som 'udelukkere' eller 'optagere' (Marschner 1986). Udelukkerne søger at undgå saltoptagelse, mens optagerne har en forholdsvis stor optagelse og transport til bladene, hvor de søger at tåle større koncentrationer. I de fleste tilfælde hører træarterne hverken til den ene eller anden gruppe, men er mere eller mindre intermediære.

Udelukker planten vejsalt minimerer den samtidig stress fra giftvirkningen, men accelerere vandmanglen og det osmotiske stress (fysiologisk tørke) (Gidley 1989, Prior & Berthoeux 1967). Optager planten vejsaltet balanceres det osmotiske tryk inden i planten med jordvæsken udenfor, men risikoen for giftvirkning og næringsstofubalance forøges. Her forsøger vejplanterne i modsætning til ved fysiologisk tørke at beskytte sig ved at udskille indtrængende salt, men jo mere salt der trænger ind des større bliver skaden (Levitt 1972). Det er ofte vanskeligt at henføre stresssituationen til fysiologisk tørke eller giftvirkning, når saltindholdet i jordvæsken er ekstremt højt, men væksthæmning hos saltfølsomme arter, ses selv ved lave saltkoncentrationer at stamme fra giftvirkning (Marschner 1986). Dragsted (1988a) konkluderer i forskellige løvtræarter, at giftvirkning af salt var en vigtig skadetype. Uden kemiske analyser er det ikke muligt at bedømme om stresssituationen stammer fra underskud af vand (tørke) og/eller specifik ion giftighed/næringsstofubalance (saltskader).

## 10.2 Vejsalts stressbelastning på vedplanter

Store mængder vejsalt fører til en række problemer for træer og buske, der først og fremmest er relateret til om påvirkningen er af primær eller sekundær karakter og om den sker gennem jorden via rodsystemerne eller direkte på de overjordiske dele. I begge tilfælde optræder der synlige skader.

Bernstein (1964) opdelte stress fra salt i tre hovedtyper: 1) osmotisk stress, 2) ernæringsstress og 3) stress fra giftvirkning. Disse typer kan igen underopdeles (Eaton 1942, Hayward & Wadleigh 1949, Holmes 1961 Bernstein 1964, Hofstra & Hall 1971, Bernstein et al. 1972, Poljakoff-Mayber 1975, Sucoff et al. 1979, Greenway & Munns 1980, Dragsted 1988a, Dobson 1991 og Pedersen 1992):

### *Osmotisk stress (fysiologisk tørke)*

Osmotisk stress opstår når salt mindsker vandpotentialet udenfor en plantecelle i forhold til indenfor. Plantecellen udtørres (dehydrerer) som følge af at vand bevæges ud af cellen.

Vandhusholdningen skades af vejsalt i jordvæsken.

Osmotisk stress skyldes ofte at for meget salt i jordvandet formindsker jordvandets vandpotentiale i forhold til vandpotentialet inden i rødderne. Herved forsvinder vand ud af rødderne til jordvandet (Levitt 1972). Høje saltkoncentrationer i jordvæsken vanskeliggør derfor røddernes vandoptagelse. Planten må anvende mere energi på aktivt at optage vand (Pedersen 1992). Denne type stress er typisk sekundær og ofte elastisk (reversibelt). Nedbringelse af saltkoncentrationen vil hurtigt mindske stress-påvirkningen.

Vandhusholdningen skades af afsætning af vejsalt på planternes overjordiske dele. Når vand opløser salt på blade eller nåle vil den høje koncentration, skade plantens overflade. Herved kan fordampningen fra planternes overflade (spalteåbninger) øges betragteligt, en proces der ofte fører til udtørring. Så længe effekterne kun er begrænset til forringet vandhusholdning, vil denne stresstype være elastisk. Den deciderede svidning af bladpladen og nåleoverfladen er derimod en irreversibel primær stressreaktion.

### ***Ernæringsstress***

Ernæringsstress skyldes konkurrence imellem forskellige stoffer f.eks. natrium og kalium i forbindelse med planteoptag. Denne stresstype er også sekundær i sin natur (Levitt 1972). Ernæringsstress er typisk elastisk, hvorfor stresssituationen kan afhjælpes gennem bedring af næringsstofforsyningen. Stresssituationen kan dog udvikle sig til at være akut og irreversibel.

Store mængder natrium kan føre til kalium mangel (Prior & Berthouex 1967, Westing 1969), mens store mængder klorid kan føre til fosfor mangel (Levitt 1972) og kvælstofmangel. Kvælstof er vækstbegrænsende for mange planter. Planter reagerer dog ofte positivt på kvælstof med øget vitalitet og vækst. Da klorid konkurrerer med nitrat ( $\text{NO}_3$ ), påvirker tilstedeværelsen af store mængder klorid ofte plantekvaliteten som følge af mindsket kvælstofoptag. Skadebilledet varierer meget afhængig af plantearten og det enkelte næringsstof. Dette fører ofte til nedsat vækst og sundhed. Mange forskellige stofskifteprocesser påvirkes.

### **Næringsstoffmangel**

Er tilgængeligheden af et næringsstof begrænset fører det til en decideret mangelsituation for det pågældende næringsstof. Mangel opstår især som følge af ombytning af natrium med jordens andre næringsstoffer. Ombytningen fører som oftest til at jordens pH ændres. Såvel en stigning som et fald kan føre til dårligere næringsstofftilgang. (Figur 5). Skadebilledet varierer meget afhængig af plantearten og det enkelte næringsstof. Nedsat vækst og sundhed er almindelige effekter. Mange stofskifteprocesser påvirkes.

### ***Stress fra giftvirkning (specifik ion effekt)***

Dette er oftest et direkte primært stress. I modsætning til de to ovenstående sekundære stress typer, hvor planten er i stand til at i en vis grad at beskytte sig selv gennem f.eks. akkumulering af salte eller stofskifteprodukter, vil skaderne ved det primære stress øges i takt med akkumuleringen af salt (Levitt 1972).

### **Rodskader**

Der kan opstå rodskader som følge af indtrængning af vejsalt gennem planternes rødder. Høje koncentrationer af især klorid er giftigt. Røddernes struktur kan skades og planternes symbiotiske forhold til mycorrhiza-svampe kan svækkes. Skaden kan være såvel primær som sekundær.

### **Vævsskader**

Der kan også opstå overjordiske vævsskader som følge af afsætning af vejsalt på planternes overflade. Ved høje koncentrationer er det især klorid der som stof betragtet er plantegiftigt. Salt der trænger i blade/nåle, knopper m.v. kan ændre planteanatomen og ødelægge de finere strukturer i cellerne. En sådan skade er primær og plastisk og vil som regel forløbe hurtigt.

Overjordiske vævsskader kan også være en følge af indtrængning af vejsalt gennem plantenes rødder. De giftige stoffer (især klorid) transporteres let rundt fra rødderne til plantens forskellige dele. Især blade og nåle kan modtage store natrium- eller kloridmængder med transpirationsstrømmen. Skaderne er her generelt de samme, som hvis salt afsættes direkte på bladene/nålene (primære og plastiske).

Giftvirkning fra aluminium

Ionbytning mellem jordens aluminium og jordvæskens natrium kan på sure sandede jorde føre til mobilisering af aluminium i mængder, der er skadelige for rodvæksten og som negativt påvirker planternes generelle næringsstofftilstand. Dette er en sekundær stresstype, der oftest har udviklet sig over en længere tid. Skaderne er oftest elastiske, men kan udvikle sig til plastiske skader.

#### *Stress fra dispergering af jordpartikler*

Dannelsen af ustrukturerede jorde med dårlig ilttilgang påvirker plantens stofskifte. Dispergeringen vil gennem ionbytning (og jordbearbejdning) føre til flokkulering og dermed reetablering af jordens struktur. Dette er et sekundært stress. Skaderne er derfor elastiske.

### **10.3 Forekomst og funktion af Na og Cl i planterne**

Klorid er et uundværligt plantenæringsstof (Mengel & Kirkby 1982). I planterne er klorid nødvendig, men kun i ganske små mængder for funktionen af fotosystem II (Bove et al. 1963, Kelley & Izawa 1978, Marschner 1986) og dermed planternes fotosyntese. Klorid er en vigtig uorganisk anion i forbindelse med ladningsneutraliseringen af kationer og indgår i reguleringen af planternes vandhusholdning (Clarkson & Hanson 1980). Klorid spiller sandsynligvis derfor også en vis rolle ved opretholdelsen af planternes saftspænding og som kationernes medfølgende anion (Clarkson & Hanson 1980).

Klorid er et stof, der naturligt er tilstede næsten hvor som helst. Mangel ses derfor sjældent. Klorid tåles af de fleste planter indenfor et stort koncentrationsinterval. Klorid er tilstede i de fleste planter i koncentrationer mellem 2 - 20 mg/g tørstof, men indholdet ved optimal vækst (0,34 - 1,2 mg/g tørstof) understreger, at klorid er et mikronæringsstof. Planter akkumulerer normalt mellem 1 og 15 mg/g tørvægt plantemateriale. Kritiske kloridmængder i blade ligger mellem 2-15 mg/g tørstof. Grænseværdien for klorid i blade ligger ofte mellem 0,5 og 1,5% af tørstofindholdet og tilsvarende for natrium mellem 0,1 og 0,8% (Brod 1993). Især blandt nåletræerne er der dog eksempler på at grænseværdien for skader er langt lavere (Dobson 1991).

Klorid forgiftning opstår før, og er værre end natrium forgiftning (Levitt 1972). Zelasny & Blaser (1971) omtalte at skader på *Acer saccharinum* (Sølvløv) stammer fra klorid forgiftning. Svidninger startede ved bladkoncentrationer på 2 mg/g tørstof og større svidninger, løvtab og plantedød sås ved 5 mg/g tørstof. Også Prior & Berthouex (1967) og Westing (1969) angav, at giftige niveauer ses ved omkring 5 mg/g tørstof. Holmes (1961) angav at skader forekommer ved klorid-koncentrationer mellem 5 og 10 mg/g tørstof. Balder & Nierste 1987 anførte, at saltskadede træer (*Tilia cordata* (Småbladet lind) og *Acer saccharinum* (Sølvløv)) havde klorid indhold mellem 8 og 20 mg/g tørstof. Leh (1990) anførte, at klorid-koncentrationer i saltskadede nåle/blade fra henholdsvis grantræer og ahorn lå mellem 6 og 13 mg/g tør-



stof. Hofstra & Hall berettede om kraftige skader ved 7 mg/g tørstof i en undersøgelse af *Thuja occidentalis* (Alm. Thuja) og *Pinus strobus* (Weymouthsfyr). Også natrium koncentrationen var høj i denne undersøgelse (4 mg/g tørstof). Normalt overstiger kloridindholdet natrium (Brod 1993, Balder & Nierste 1987).

Mangelsymptomer opstår ved kloridkoncentrationer mellem 0,07 og 0,7 mg/g tørstof afhængig af hvilken planteart, der er tale om. Fordi planternes behov er så lille, og fordi klorid ikke er særlig reaktionsvillig og kun bindes meget svagt til organisk stof og til jordens kolloider, kan klorid betragtes som en uvirksom anion som let transporteres rundt i økosystemerne.

Ældre blade hos planter der er udsat for saltstress har ofte højere kloridindhold end yngre blade, sandsynligvis fordi kloridtransporten til bladene er tæt korreleret med transpirationen. Ældre blade der i længere tid har transpireret har derfor et højere kloridindhold end yngre blade (Greenway & Munns 1980). I overensstemmelse hermed konkluderede Simini og Leone (1986), Hanes et al. (1976) og Bogemans et al. (1989) at kloridkoncentrationen i blade er godt korreleret med skaden.

Natrium regnes ikke for at være et essentielt plantenæringsstof, når der ses bort fra visse salttolerante plantearter (Clarkson & Hanson 1980, Wild 1973). Natrium kan dog hos nogle planter næsten helt erstatte funktionerne af det vigtige plantenæringsstof kalium (Montasir et al. 1966). Hos nogle planter stimulerer tilstedeværelsen af natrium væksten, mens hos andre er en ombytning med kalium slet ikke mulig (Marschner 1986).

Natrium optages ikke i samme omfang som klorid, men akkumuleres i kviste. Westing (1969) angav at giftige koncentrationer forekommer over 0,3%. Når en tærskelværdi på 1 mg natrium pr. g. tørstof i grene overskrides, begynder natrium indholdet i bladene at stige. Maksimalt kan *Tilia* (Lind) og *Aesculus* (Hestekastanie) i grenene ophobe ca. 2 mg Na pr. g tørstof (og ca. 1 mg klorid pr. g tørstof). En sådan ophobning gør det vanskeligt at 'helbrede' saltskader. Træet kan ikke alene ved afkastning af løvet, skille sig af med overskydende salt (Löhr, 1989).

Der findes ingen egentlige grænseværdier for hvor stort et saltindhold man kan have i jord, uden planterne skades. Natrium- og kloridindhold på henholdsvis 200 og 300 mg/kg jord er dog ikke ualmindelig i mineraljorder. Saltbelastede byjorder regnes for at have natrium- og kloridindhold på henholdsvis mellem 600 og 1000 mg/kg jord. De stærkt belastede byjorder, hvor saltskader normalt ikke kan undgås, har natrium- og kloridindhold på mellem 1000 og 2000 mg/kg jord (Brod 1993).

#### **10.4 Skadebilleder og symptomer på saltstress**

Det første og mest almindelige symptom på saltskade er begrænset vækst (Bernstein 1964, Brod 1993, Dobson 1991, Eckstein et al. 1978, Levitt 1972, Poljakoff-Mayber 1975, Greenway & Munns 1980). Dette skyldes at skaderne kan udvikle sig til, at skud ikke er i stand til at springe ud for til sidst at ende i den ultimative tilbagevisning. Gibbs & Palmer (1994) berettede fra et studie af vej- og gadetræer i og omkring London, at de mest karakteristiske skader på træerne efter saltning var tilbagevisning umiddelbart efter udspring (post-flushing, die-back) og misfarvning af blade.

Saltskaden kan ofte være vanskelig at opfatte eller kan forveksles med andre stressfaktorer negative indflydelse på bytræerne. Begrænset vækst er som regel ledsaget af tidlige efterårsfarver, bronzering og afløvning (Dragsted 1988b, Eaton 1942, Harris 1992). Bradshaw et al. (1995) beskrev at uventet langsomt udspring og en ensidig død af træet næsten altid er ensbetydende med saltskade. Derudover ses en tendens til at træerne indtræder i en form for tidlig ældning, dvs. skift til plantens florale fase.

Ofte hæmmes væksten og de grønne blade bliver mørkere og mere blålige end normalt. Visse planters blade bliver nærmest sukkulente, dvs. mere vandholdige end normalt bl.a. på grund af en forøget længde af bladenes palisadevæv (Dobson 1991). Det modsatte hvor planterne bliver mindre sukkulente kan dog også forekomme (Eaton 1942). Meiri & Poljakoff-Mayber (1967) og Jennings (1976) anførte, at den forøgede størrelse af diverse bladceller som følge af saltbelastning skyldes et større saltindhold i cellerne og dermed et ændret osmotisk tryk. Dette forårsager diffusion af vand fra omgivelserne og ind i cellerne. Større celler er derfor en følge af osmotisk stress. Generelt mindskes skudvæksten mindre end rodvæksten.

Skadebilledet der opstår som følge af vejsaltets påvirkning af plantens overjordiske dele forveksles let med skadebilledet, der følger af vejsalts påvirkning gennem rodsystemet. Salt fra saltsprøjt akkumuleres ofte på vindsiden af planterne. Det kan være vanskeligt at bedømme, men det ensidige skadebillede, der vender mod vejen og dermed saltpåvirkningen tolkes af mange som det bedste indicium på at skaden stammer fra optag gennem overjordiske dele (Hofstra & Hall 1971, Lumis et al. 1973, Wentzel 1974, Foster & Maun 1978, Barrick et al. 1979, Dobson 1991 og Bradshaw et al. 1995).

Følsomme planter der udsættes for saltholdige jorder eller saltsprøjt vil typisk udvise rand- eller spidssvidninger på bladene (bladrandsnækroser). Mange planter optager klorid meget hurtigt og i store mængder (Greenway & Munns 1980). Vejsalt der når rodsystemet, optages i mængder der afhænger af koncentrationen i jordvandet (Scmalfuss & Reinicke 1960) og med en hastighed der svarer til transpirationsraten i vedplanternes blade (Hanes et al. 1976, Prior & Berthouex 1967, Westing 1969). Hvis saltet kommer fra jorden er der en tendens til at skaden er størst i de dele af bladet, hvor der er den største koncentration af spalteåbninger.

Skaderne omtales ofte som klorotiske eller nekrotiske. Klorose er mangel på normal grøn farve. Klorose skyldes et formindsket antal eller nedsat størrelse af bladets kloroplaste (grøn-korn), nedbrydning af klorofyl, det grønne farvestof i kloroplasterne, eller manglende evne til at opbygge klorofyl eller mangel på næringsstoffer, kulde, lys eller infektioner. Klorose kan også være arveligt betinget.

Nekrose er en gradvis bortdøen af væv. Det er typisk for de fleste træer under saltstress at skaden starter med at vise sig som marginale kloroser eller nekroser. Fra randen breder nekrosen sig typisk ind på bladpladen mellem bladnerverne. Dette bevirker, at bladet til sidst krøller sig sammen (Dragsted 1988b). Disse ultimative nekroser er en følge af celleforurening og udtørring, der starter fra den yderste ende af transpirationskæden. I forbindelse med kloroser og nekroser er kloridindholdet i bladene/nålene ofte meget højt, hvilket indikerer, at giftvirkningen af klorid er den alvorligste stressfaktor (Marschner 1986).

Hos nåletræarter ses saltpåvirkningen først gennem svage kloroser i nålespidsen, der hurtigt udvikler sig til nekroser, der spreder sig fra nålespidsen ned med basis af nålen. Som tidligere omtalt, er det årsskudene der brun/rødfarves i hele deres længde. Ultimativt afkastes nålene. Gentagne saltbelastninger fører til stadigt mere tyndnålede træer, der eventuelt dør til sidst (Dragsted 1988b). Typisk skades nåletræer mere af direkte svidning end løvtræer, fordi nåletræers filtervirkning er stor hele vinteren igennem (Dobson 1991).

Når træer udsættes for saltsprøjt, ser det ud som om at saltet udelukkende kommer ind i planten gennem uforvandede dele som f.eks. blade/nåle, basis af knopkæl og yngre skud, men f.eks. også gennem bladar. Hos nåletræer er beskaffenheden af nålenes vokslag formodentlig af afgørende betydning (Pedersen 1992). Sårvæv, især efter beskæring, er et andet sted hvor salt kan trænge ind i vedplanterne. Under alle omstændigheder er den præcise placering af stederne hvor saltet trænger ind i planten og den relative betydning for det samlede skadebillede uklart. Nåletræarter er særligt modtagelige for saltoptag gennem de overjordiske dele, fordi de bærer nåle i hele saltningsperioden. Barken virker som en barriere mod saltindtrængning (Dobson 1991), men kan dog dø på den saltede side (Bradshaw et al. 1995). Barkens tykkelse er derfor ofte afgørende for beskyttelsen. Da ældre træer har tykkere bark end unge træer kan der ses en større saltafvisende effekt hos ældre træer end hos yngre. Shigo (1991) omtalte, at selv de yderste celler beliggende umiddelbart under barken, kan være levende og aktive for transport af salt gennem osmotiske processer, hvorfor ældre træer ikke kan forventes at være totalt modstandsdygtige mod saltsprøjt på stammen.

Kutscha et al. (1977) og Poljakoff-Mayber (1975) anførte, at forhøjet kloridindhold fører til ødelæggelse af intracellelære strukturer. Kloridstress kan medføre reduceret transpiration og fotosyntese. Pezeshki & Chambers (1986) understregede endvidere at saltning reducerer fotosyntesen i en amerikansk askeart (*Fraxinus pennsylvanica* - Rødask) med op til 86%. Strogonov (1975) anførte, at klorid stress fører til en hæmning af visse enzymer i forbindelse med syntese af klorofyl og til en accelereret pigment nedbrydning. Hæmning eller stimulering af enzymaktiviteten er rapporteret i flere andre undersøgelser (se bl.a. review i Levitt 1972). Membraner i levende organismer påvirkes kraftigt af saltstress. Osmoreguleringen skades gennem morfologiske og biokemiske forandringer (Kylin & Quantrano 1975, Poljakoff-Mayber 1975, Stuiver et al. 1981). Membran permeabilitet forøges ved NaCl stress (Campbell & Pitman 1975). von Sury & Flückinger (1983) angav at forhøjede klorid-niveauer fører til at cellemembranerne mister deres funktion ved ikke længere at være i stand til at tilbageholde næringsstoffer (ioner) og vand. Kutscha et al. (1977) angiver, at forhøjet saltbelastning også kan føre til opløsning af ledningsvæv og ødelæggelse af cellekerner og kloroplaste.

Der er således mange faktorer der har betydning for skadernes omfang. Simini & Leone (1982) anfører, at ved påvirkning af saltsprøjt (fra havet) er der større absorption af klorid ved nedsat fotosyntese, lave temperaturer og høj relativ luftfugtighed. Dette er alle forhold, der karakteriserer det danske vinterklima. På denne baggrund må det derfor forventes, at skaderne her i landet har et relativt stort omfang.

# 11. Minimering og forebyggelse af saltskader på etablerede beplantninger

Foranstaltninger til forebyggelse af saltskader skal tilpasses den enkelte lokalitet. Dette skyldes at mængden og arten af saltskader på vej- og gadeplantninger er afhængig af en række forskellige forhold:

- saltets tilstand (tørt, fugtigt, væskeform)
- saltningsmetode (valse-, tallerken- eller væskespreder, håndspredning)
- saltningsdosering
- vejens udformning (overfladeafvanding og afgrænsning; kantsten, voldanlæg mv.)
- klimatiske forhold (temperaturer, luftfugtighed og vindhastighed)
- trafikintensiteten (trafiktype og -hastighed)
- jordbundstype (vejens- og vejkantens opbygning)
- beplantningens afstand til vejkanten
- beplantningens art

## 11.1 Saltets tilstand og opbevaring

Man benytter i Danmark primært fugtsalt (Jaquet et al. 1992) (se afsnit 7.3.2.). Ifølge vejreglerne for tøsalte, sand og grus (Vejregel 1980b) må vejsaltet (NaCl) ikke indeholde stoffer, herunder antiklumpningsmiddel, der ved normalt brug er skadeligt for mennesker, dyr og planter. Derudover skal saltet ved leverancen være ensartet, løst, uden klumper og uden indhold af fremmedlegemer af nogen art, der kan medføre skade på spredningsmateriellet.

På mindre lokaliteter findes der eksempler på anvendelse af væskesaltning (fortrinsvis på cykelstier).

Salt der opbevares under åben himmel, udvaskes delvist. Derudover optager saltet fugtighed under skorpedannelse. Når saltet lastes, brækker skorpen i mindre klumper, som kan blokere spredetallerken eller valsen på spredemateriellet. Herved vanskeliggøres spredningen, og overdosering kan forekomme. Under engelske forhold udgør tabet pga. af udvaskning op imod 3-6% af det årlige saltindkøb (OECD 1989). Dobson (1991) berettede, at ved en mere effektiv lagring, og dermed spredning kunne saltforbruget reduceres med næsten 60 % i England. I Danmark kan der tilføres antiklumpningsmiddel til saltet (Vejregel 1980b) og i 1981 udarbejdedes i Danmark en vejregel om indretning af saltlader og saltpladser (Vejregel 1981). Alle amtskommuner opbevarer saltet i saltlader, medens mange kommuner endnu ikke har salthaller (Jaquet 1996).

## 11.2 Saltspredning

I Danmark benyttes der primært tallerkenspredere, med hvilke det er muligt at kontrollere saltmængden bedre end ved brug af valespredere. Til gengæld spredes saltet mere ukontrolleret ved tallerkenspredningen. Med væskespredere kan forbruget nedsættes yderligere, men

brugen af disse er ikke almindelig i Danmark. Forskellige saltsprednings-metoder er omtalt i kapitel 7. I afsnit 7.4.3. omtales Odense kommune for at have udviklet en væskespreder til brug på cykelstier (Mikkelsen 1995). Det blev omtalt at der med denne metode kun benyttes ca. 1/5 af den salt der benyttes ved traditionel tørsaltning (10 g/m<sup>2</sup> i stedet for 50 g/m<sup>2</sup>).

Udvikling af effektive væskespredningsanlæg til brug på mindre lokaliteter er i gang og de bør finde en mere udbredt anvendelse i den nærmeste fremtid. Det bør tilstræbes at anvende maskiner ved saltning, selv på mindre arealer, fordi kontrollen med de spredte mængder salt derved er større.

### **11.3 Saltningsdosering**

Saltningens doseringen i England er stor i forhold til i Danmark. Sammenlignet med andre europæiske lande som Tyskland, Belgien, Italien og Holland, er den danske dosering ligeledes af et moderat omfang (OECD 1989). På trods af, at det samlede saltforbrug gennemsnitligt ligger højere i Tyskland end i Danmark er man dog tilsyneladende længere med forbud mod vejsaltning i bymiljø og på særlige vejstrækninger i Tyskland (Mekdaschi et al. 1988, Balder 1990, Leh 1990). Den internationale litteratur omtaler ofte mærkbare forbedrede vækstbetingelser, efter et saltningstop (Mekdaschi et al. 1988, Balder 1990, Leh 1990, Plate 1991, Balder & Krüger 1992 og Albert 1993).

En differencieret saltningspolitik, baseret på en afvejning af hensynet til de trafikale forhold og vejens omgivelser bør overvejes af alle vejbestyrelser.

### **11.4 Planteafstand fra vejkanten**

I kapitel 9 er det beskrevet, at der indenfor 3 meter af vejkanten er stor sandsynlighed for at finde meget store saltkoncentrationer i jorden. Derudover ses der ofte indenfor 9-10 meter fra vejkanten alvorlige saltskader forårsaget af saltsprøjt. På visse lokaliteter i Danmark er der fundet alvorlige sprøjteskader 40 meter fra vejkanten. Der kan derfor ikke gives specifikke anbefalinger på hvilken afstand fra vejkanten, man skal plante for at undgå saltpåvirkninger. Generelle anbefalinger er, at man indenfor 3 meter af vejkanten i de fleste tilfælde vil opleve saltskader der både stammer fra sprøjt og fra overfladenedsivning. I afstande fra vejkanten til 9-10 meter er der stor sandsynlighed for at opleve direkte saltsprøjt, forårsaget af trafikken. I afstande større end 10 meter fra vejen vil saltskader oftest være relateret til saltstøv, der oprindeligt befinder sig som overskudssalt på vejbanen, men som hvirvles op i luften af trafikken og transporteres af vinden.

### **11.5 Beskyttelse mod saltsprøjt**

Under et, kan saltbeskyttelse betegnes som saltafværgende foranstaltninger. Saltafværgningen kan være en kantsten langs kørebanen, der forhindrer saltet i at spredes ud over denne under spredningsoperationen, eller det kan være egentlige saltværn af måtter eller buske, der skal forhindre saltsprøjt i at ramme plantedele og jorden omkring gade- og vejtræer (Bjerregård 1972, Glader et al. 1984, Hvass 1985, Dahl 1985). Beskyttelsen er oftest rettet mod nyplantede træer.

Værdifulde træers rodsystem kan beskyttes mod tilløb af saltforurennet vand fra kørebanen ved for eksempel at hæve rabatkanten eller sætte en kantsten. Formålet med kantsten er udover de rent æstetiske, at lede overfladevandet til afløb og derved udenom f.eks. plantehuller. Der findes ingen regler eller normer for størrelsen af en kantstens lysning i Danmark. Kantsten i Danmark har dog sjældent mere end ca. 10 cm lysning. Dermed vil kantsten ikke kunne begrænse sprøjt og lignende fra sneerydning og trafik.

Vejregeludvalget (1980) beskrev at vejmyndigheden selv bør tage initiativ til beskyttelse og på langt sigt fornyelse af træerne langs enestående vejstrækninger. Nyplantninger kan således placeres på steder, hvor der er mindre risiko for tilledning af saltforurennet vand. I denne forbindelse er det af stor betydning at planterne står placeret højere end de omkringliggende kørearealer. Dermed kan saltholdigt vand samt sne transporteres væk fra træernes rodzoner. En sådan placering kan dog øge tørkerisikoen for planterne.

Hvass (1985) foreslog at den mest effektive beskyttelsesmåde er, at plante træerne en smule højere end vejkantens kote. Formålet er, at det saltholdige overfladevand skal løbe væk fra plantehullet. Selve stammen beskyttes med en stråmåtte. Derudover bør der etableres en vandtæt barriere af f.eks. plastik med stråoverflade udenom selve plantehullet (træets rodzone). Det er væsentligt at saltbeskyttelsen er så tæt, at vedvarende saltsprøjt ikke går igennem materialet. Saltafværgningens fod skal derudover være udenfor plantebedet, for at sikre afledningen af det saltholdige vand. Strå på ydersiden af afværgningen minimerer tilbagesprøjt og har ofte et mere tilfredsstillende æstetisk udseende end plastik. Dahl (1985) beskrev, at man i København har valgt at benytte halmmåtter, velvidende at 2 mm tykt plastik formentligt ville være billigere på længere sigt.



Figur 6. Saltbeskyttelse med plastikbeklædt halmmåtte, i København.

Højden på skærmene i København er 60 cm. Længden af skærmene tildannes efter forholdene. Hvis træet er placeret i rabatten mellem cykelsti og vej beskyttes træet mod både cykelsti og vej. Hvis det kun er kørebanen der saltes, beskyttes kun den side der vender mod vejen. Dahl (1985) angav endvidere at man ikke benyttede plastik under hele halmmåtten, men kun fornedet for at lette afledningen af det saltholdige vand.

Vestergaard (1992) omtalte at man i Odense benytter både måtter og kegler af ruglanghalm til saltbeskyttelse af enkelt træer samt buske. Disse halmmåtter er anvendt på gadestrækninger med lindetræer underplantet med snebær. Odense kommune kalkulerer med en levetid på 5 år for hver måtte. Dahl (1985) angav at levetiden af tilsvarende måtter i København er 2-4 år, afhængigt af placeringen om vinteren og opbevaringen om sommeren. I Kolding kommune anvendes der beskyttelsesforanstaltninger af krydsfiner, der angives at have en levetid på min. 10 år (Vestergaard 1992).

Vestergaard (1992) nævnte at man både i Odense og i Københavns kommuner har fundet at natriumkoncentrationen i jorden er mindre hvor der er anvendt halmmåtter i forhold til i jord uden brug af halmmåtter. Oplysningerne fra Vestergaard (1992) er ikke yderligere dokumenteret, men Dahl (1985) nævner at: "*Den praktiske anvendelse af halmmåtter har vist at disse har en god virkning omkring unge og nyplantede træer. Jordanalyser om foråret og efteråret peger i samme retning.*" Derudover bemærkede Dahl (1985) at saltbeskyttelsen ikke i sig selv er nogen løsning på saltningsproblemet. Der er f.eks. meget få erfaringer med saltbeskyttelse af større træer med større rodsystemer. Denne konstatering kan vi gentage, her i 1996.

Glader et al. (1984) foreslog at man plantede buske, der kunne tage hoveddelen af saltstænket. Vejreguludvalget (1980) foreslog tilsvarende, at i smalle midterrabatter og på tilsvarende arealer vil det være af værdi at finde frem til en type buske, som har mulighed for at gro sådanne steder. Dette gælder også selvom de svides af salt eller fryser ned, blot regenerations- evnen i sommerhalvåret er tilfredsstillende.

Brugen af buske som filtre for saltspredningen kan dog medføre den samme uheldige effekt som den kendes fra nåleskovene placeret i kystnære egne (Pedersen 1993, Pedersen 1995). På disse planter ophobes store mængder af salt der på én gang kan nedskyldes og dermed medføre en pludselig omfattende giftvirkning på jorden.

## **11.6 Klimatiske forhold**

Klimaet i Danmark er vanskeligt rent vintervedligeholdelsesmæssigt. Den gennemsnitlige årlige landstemperatur ligger omkring 8°C, og er steget jævnt fra ca. 7°C, siden 1880 (DMI 1975). I perioden hvor der kan forventes nedbør i form af sne (november til april) er den relative luftfugtighed høj (sjældent under 80%) og døgnets middeltemperaturer svinger omkring frysepunktet (DMI 1996). Typisk vil temperaturerne fra november til april variere fra ca. 7°C til ca. frysepunktet. Ofte vil temperaturen dog falde til under frysepunktet. Dette betyder at ved nedbør vil sandsynligheden for isglatte veje være stor. Derfor ses det også at antallet af 'udrykninger' er stort. I den lange vinter 1995/1996 var antallet af udrykninger på stats- og amtsvejene i gennemsnit 133 (Vejdirektoratet 1996).

Brug af alternativer til vejsalt, som f.eks. grus, vanskeliggøres ligeledes af de klimatiske forhold i Danmark. Grus vil i en tøperiode smelte ned i sneen eller isen, og ved den efterfølgende frostperiode være dækket af is, hvorefter en ny udbringning må finde sted. Dette kan medføre flere udrykninger end ved saltning. På veje med megen trafik eller høj hastighed, vil gruset ofte blæse af vejen. Kombinationer af grus og salt benyttes i Danmark.

### 11.7 Trafikintensiteten

Sucoff (1975) listede på baggrund af en undersøgelse af beplantningen langs forskellige motorveje i Minnesota, arternes salttolerance i forhold til trafikintensiteten og vejafstanden. De af Sucoff (1975) nævnte arter, der er relevante under danske forhold er nævnt i tabel 5.

Artstolerancen til vejsalt	Års Døgns Trafik (i tusinder)	Afstand fra vejkant(m)				
		L	L	L	L	L
Tolerance	0-10	L	L	L	L	L
	10-19	L	L	L	L	L
	20-39	L	L	L	L	L
	40-59	ML	L	L	L	L
	60-79	M	ML	L	L	L
	80+	H	M	ML	L	L
Moderat	0-10	M	L	L	L	L
	10-19	MH	L	L	L	L
	20-39	MH	ML	ML	L	L
	40-59	H	MH	MH	M	L
	60-79	H	H	MH	M	L
	80+	H	H	MH	M	L
Følsom	0-10	M	ML	L	L	L
	10-19	H	MH	M	M	L
	20-39	H	H	MH	MH	ML
	40-59	H	H	MH	MH	ML
	60-79	H	H	H	H	M
	80+	H	H	H	H	M

**Tabel 5.** Skadebillede som kan opstå på planter med forskellig salttoleranceafhængigt af placering fra vejkant, i forhold til trafikmængden. Fra Sucoff (1975).

Skadebilledet er inddelt efter: L (Lav), ML (Mediumlav), M (Medium), MH (Mediumhøj), H (høj).

Ifølge Vejdirektoratet (1995) findes den højeste årsdøgntrafikmængde (ÅDT) i Danmark på motorvejene i Københavns Amt. På visse strækninger er ÅDT omkring 60.000. I Jylland og på Fyn overstiger ÅDT ikke 40.000. Som det kan ses af tabel 5, ligger de kritiske trafikmængder for både tolerante og moderat tolerante arter fra ca. 40.000 biler og højere. Dette stemmer overens med Thompson & Rutter (1986), der anbefalede ikke at plante buske i midterribatten langs motorveje hvor trafikintensiteten oversteg 45.000 køretøjer pr. dag, med mindre der benyttes mindre end nogle få tons salt, pr. km. motorvej/år.



## 11.8 Jordbund

Der er i vejsaltningssammenhæng to generelle beplantningssituationer: 1) vejplantninger og 2) gadeplantninger. Vejplantninger er oftest plantet i et græsareal, der kan være karakteriseret ved forskellige hældninger imod eller væk fra vejen. Gadeplantninger er derimod oftest plantet i eller meget nær belagte arealer. Disse forhold har stor betydning for hvordan saltet spredes væk fra vejen, op på træerne og eventuelt siver ned i jorden. Disse forhold er nærmere omtalt i kapitel 9.

### 1) Langs veje

På sandede jorder vil nedsivningen af salt gennem rodzonen foregå nemmere end på lerrige jorder. Glader et al. (1984) berettede om at tilførsel af organisk materiale og uorganisk materiale i form af grus og/eller sand kan virke strukturforbedrende på saltskadede jorder. I Danmark forhandles et moler materiale, der efter sigende skulle kunne indgå i en jordblanding hvorved saltskadede træers overlevelsessevne forbedres (Damolin 1996). Der findes ingen praktisk dokumentation af sådanne materials kvaliteter.

I en saltskaded jord fandt Balder (1990), at indholdet af klorid var normalt seks år efter saltning var ophørt, i såvel ler- som sandjorder. Derimod blev der fundet et større indhold af natrium i lerrige underjorder. Dette tyder på, at udvaskningen går meget hurtigt i sandede jorder, hvorimod en opkoncentrering i lerrige jorder kan forventes. Öberg et al. (1991) gennemførte i slutningen af 1980'erne et forsøg på Gotland, hvor man standsede forbruget af vejsalt i tre vintre. Effekterne på miljøet var ikke helt entydige, men der kunne spores mindre salt langs vejene og i grundvandet umiddelbart efter saltningens ophør. Den hurtige respons skyldtes den forholdsvis grove tekstur, der findes på de undersøgte lokaliteter. Det forventedes at udvaskningen, på finere jorder, ville tage længere tid.

### 2) Langs gader

Gadeplantningers generelle sundhedstilstand kan i mange tilfælde forbedres ved at udvide plantehullets størrelse. Dette kan dog føre til forøget nedsivning af saltholdigt vand. På denne baggrund kan det anbefales at projektere gadeplantninger med rodvenlige befæstelser, som omtalt af Kristoffersen (1996b) og Grabosky & Bassuk (1995). Princippet heri er at befæstelsen under fortøve, cykelstier og lignende lettere trafikerede områder både kan bære befæstelsen og fungere som rodvækstareal. Det formodes at den befæstede overflade virker som barriere, også for det saltholdige vand. Vanding skal derfor sikres ad kunstig vej.

Bach (1996) beskrev en praktisk gennemførelse af etablering af gadetræer (Rådhuspladsen i København), hvor der bevidst var arbejdet med at hindre saltnedtrængning og med at opnå størst muligt rodvolumen. Vanding af disse træer foregår vha. installerede vandingssystemer.

## 11.9 Artstolerancer

Dobson (1991) og OECD (1989) berettede begge om betydelige saltforbrug i den vestlige industrialiserede verden. Der er god grund til at tro, at de benyttede saltmængder langt overstiger de fleste vedplanters tolerancegrænser. Denne problematik skal selvfølgelig, som Löhr (1989) diskuterede, ses i tæt sammenhæng med summen af alle de øvrige stressfaktorer vej- og gadetræer typisk er udsat for.

Colwill et al. (1982) anbefalede, at man ved beplantning i midterratter benyttede flere forskellige arter. Dette begrundedes med det ringe kendskab til egentlige salttolerante arter. En høj artsdiversitet kunne forventes at ville medføre en acceptabel samlet overlevelse, selv hvis enkelte arter faldt helt ud, pga. saltpåvirkningen. En generel anbefaling vil derfor være at benytte de mest salttolerante arter, samt at sikre en vis artsdiversitet i beplantningerne.

Det er vanskeligt at sige noget eksakt om enkelte plantearters salttolerance eller saltfølsomhed, med mindre der foretages egentlige eksperimenter. Tabeller over forskellige arters salttolerancer har været udviklet i mange tilfælde og mange af disse er baseret på materiale det er svært at sammenligne. Sammenstillingerne mangler ofte et systematisk videnskabeligt sammenligningsgrundlag. F.eks. kan det ses i tabel 5 at Dobson (1991) angiver *Aesculus hippocastanum* (Hestekastanie) som både tolerant, moderat og følsom.

Formålet med tabel 6 er derfor udelukkende at give et billede af forskellige forfatteres opfattelse af forskellige plantearters salttolerancer/ saltfølsomhed. Det bør noteres at der i denne tabel ikke er taget stilling til ved hvilke saltmængder den pågældende art vurderes at være hhv. tolerant eller følsom. Det kan derfor generelt ikke anbefales kun at benytte de i tabel 6 mest salttolerante arter, langs danske veje og gader. De mest salttolerante arter bør benyttes hvor forholdene forventes at være mest kritiske, og i øvrigt bør anbefalingerne i Kapitel 11 ses i sammenhæng med valget af plantearten. Man bør derudover være opmærksom på, at planter der er tolerante i forhold til salt i jord, ikke nødvendigvis er tolerante i forhold til saltsprøjt, og omvendt.

Udfra tabel 6 kan det generelt konkluderes at:

*Acer*-arterne (Løn, Ahorn, Ær mv.) er moderate til følsomme i forhold til salt, måske med undtagelse af *Acer platanooides* (Spidsløn).

*Aesculus hippocastanum* (Hestekastanie) er oplyst som både tolerant og som følsom overfor salt.

*Ailanthus altissima* (Skyrækker) er tilsyneladende et salttolerant træ, som man af denne årsag, bør overveje at benytte mere i bytræssammenhæng.

*Alnus* (El) er moderat til følsom over for salt.

*Berberis thunbergii* (Berberis) må siges at være saltfølsom.

*Betula* (Birk) er saltfølsom.

*Caragana arborescens* (Ærtetræ) er tilsyneladende salttolerant.

*Carpinus betulus* (Avnbøg) er tilsyneladende saltfølsom.

*Cornus spp.* (Kornel) er generelt saltfølsomme.

*Coryllus spp.* (Hassel) er saltfølsomme.

*Cotoneaster* (Dværgmispel) er tilsyneladende saltfølsom.

*Crataegus* (Tjørn) er det vanskeligt at udtale sig om, idet den kan optræde som både tolerant og følsom. I mange tilfælde vil Tjørn nok betragtes som tolerant.

*Fagus sylvatica* (Bøg) er en meget benyttet hækplante, men benyttes sjældent som bytræ, måske fordi det er saltfølsomt.

*Fraxinus* (Ask) må betegnes som moderat til salttolerant.

*Gingo biloba* (Tempeltræ) er tilsyneladende salttolerant.

*Gleditsia triacanthos* (Tretorn) er salttolerant.

*Juglans spp.* (Ægte kastanie) er saltfølsomt.

*Larix spp.* (Lærk) optræder som både tolerant og som følsomt. Som nåletræ har det den fordel, at det står uden nåle i vinterhalvåret. Dermed har det flere fordele i forhold til de andre nåletræer, og kan muligvis benyttes på denne baggrund.

*Ligustrum spp.* (Liguster) ser ud til at være ustabil overfor salt. Den er opgivet som både tolerant og som følsom.

*Lonicera spp.* (Gedeblad) kan betragtes som salttolerant.

*Malus spp.* (Æble) må betegnes som saltfølsom.

*Picea abies* (Rødgran) må betegnes som saltfølsom. Rødgran benyttes sjældent i bysammenhæng, men ses ofte i plantager langs hovedlandevejene. På sådanne lokaliteter er de meget udsatte.

*Pinus spp.* (Fyr) må betegnes som salttolerant. Skovfyr skal man dog være varsom med, da den også optræder som moderat i forhold til salt.

*Platanus* (Platan) er der ikke mange oplysninger på. Oftest vil den nok opfattes som salttolerant.

*Populus spp.* (Poppel) kan generelt siges at være salttolerante. Tilsyneladende skal man dog være varsom med specielt Italiensk Pyramidepoppel (*P. nigra 'Italica'*).

*Prunus spp.* (Fuglekirsebær mm.) må nok generelt opfattes som moderate i forhold til saltpåvirkning.

*Pyrachantha spp.* (Ildtorn) er der få oplysninger på, men generelt vil den nok opfattes som saltfølsom.

*Quercus spp.* (Eg) må generelt siges at være salttolerant. Man bør nok udvise en vis forsigtighed i forhold til at benytte Alm. Eg/Stilkeg (*Q. robur*).

*Ribes alpinum* (Fjelddribs) må betragtes som salttolerant.

*Robinia pseudoacacia* (Falsk Acacie) må betegnes som salttolerant.

*Rosa spp.* (Rose) må generelt opfattes som saltfølsom, med undtagelse af Hybenrose (*R. rugosa*).

*Salix spp.* (Pil) kan betragtes som både følsom og tolerant i forhold til salt.

*Sambucus spp.* (Hylde) er saltfølsom.

*Sophora japonica* (Tusindtop) kan betragtes som moderat til salttolerant.

*Sorbus spp.* (Røn) må betragtes som generelt saltfølsom.

*Spirea spp.* (Snedrivebusk) er vanskelig at udtale sig om, da den er oplevet som alt fra ekstremt saltfølsom til salttolerant.

*Symphoricarpos albus* (Snebær) kan betragtes som salttolerant, tilgængelig bør der udvises forsigtighed med *S. chenaultii*.

*Syringa vulgaris* (Syren) optræder som moderat i forhold til salt.

*Tilia spp.* (Lind) er generelt at betragte som moderat til følsom. De er oplevet som tolerante, men i praksis vil de nok opfattes som temmelig saltfølsomme.

*Ulmus spp.* (Elm) er moderate til tolerante, men desværre ikke meget benyttet mere pga. elmesygen.

*Viburnum opulus* (Kvælvæd) må betragtes som saltfølsom.

<b>Tabel 6</b>	<b>Tolerant</b>	<b>Moderat</b>	<b>Følsom</b>
Acer campestre	9	1,3,4,7,10,17	1
A. ginnala	1	1,4,8,13,17	8,12
A. negundo		1,4,8,10,14	1,8
A. platanoides	1,8,13,16,17	1,4,7,8,10	1,6,7
A. pseudoplatanus		1,4,6,7,10	1,7,15
A. rubrum		17	1,4,8,10,12,13,14
A. saccharinum	17	1,8,13	4,8
Aesculus hippocastanum	1,6,8,13,16	4,7	1,7,10,12
Ailanthus altissima	1,4,7,12,16	15	1
Alnus glutinosa	1,8	1,4,7,8,10,13	1,7,8,14
A. incana	1	1,8	1,4,7,8
Berberis thunbergii			4,7,8,10
Betula pendula	1,6	1,8	10
B. pubescens	7	4,7	1,8
B. spp.	12	14	
Caragana arborescens	3,7,8,13	4	7
Carpinus betulus	9	1,3,6	1,4,7,10,12
Cornus alba			1,8
C. mas		1	1,4,8
C. sanguinea	1	1	1,4,8
Coryllus avellana			1,4,7,12
C. colurna	1,7		1,12
C. spp.			10,13,17
Cotoneaster spp	1		1,8
Crataegus crus-galli		4,17	1,8
C. monogyna	1,12	1,17	1,4
C. laevigata (oxyacantha)	1	1,17	1,4
Fagus sylvatica		1	1,4,7,10,14
Fraxinus americana	1,8,10,13	4,14	
F. excelsior	6,9,10,16	1,3,4,7,15	1
Gingo biloba	1,16		
Gleditsia triacanthos	1,4,7,8,12,13,16,17		8
Juglans spp.		10	4,8,10,12,13,14
Larix spp.	13,16		10,14,15
Ligustrum vulgare	1,9	1,3,4	1,8,13
L. spp.	10	17	
Lonicera spp.	1,3,4,7,8,10,13	1,4,14	1,8
Malus spp.	1	1,4,10	8,13,17
Picea abies		17	10,11,12,13
Pinus nigra	1,10,13,16,17	8	
P. sylvestris	7,8	7,8,10,13	8,17
Platanus acerifolia	7,10		4,7
Populus alba	1,4,7,8,10,12,13,14,16		
P. canadensis	8,10		4
P. canescens	1,4,8,10		
P. nigra	1,8,13	1,10	4,14
P. nigra 'italica'	8,13	1	1,4,8,14
P. simonii		1	1
P. tremula	1,4,7,16	1,10,14	
P. spp.	1	1,14	

	<b>Tolerant</b>	<b>Moderat</b>	<b>Følsom</b>
Prunus avium	1	4,7	1,7
P. mahaleb			
P. padus	1,8	1,4,8	1
P. serotina	1,4,8	1,13	1,8
P. spinosa	1,4,7		1
Pyracantha sp.		14	10
Quercus alba	1,4,8,10,13,14,16		8,17
Q. cerris	1		
Q. palustris		10	1,8,17
Q. petraea	1,4		
Q. robur	1,4,7,9,10,15,16	1,3,6,11,12	17
Q. rubra	1,7,8,10,13,14,16	1,8	1,8,17
Ribes alpinum	1,4,7,8,9,13	1,3	
Robinia pseudoacacia	1,4,6,7,8,13,14,15,16	1,11,12	
Rosa canina			1,4,7,8
R. multiflora			1,4,7,8,14
R. rugosa	1,3,4,7,8,13	1	1,8
Salix alba	1,8,10	1,4,7,8,13	
S. caprea	1	1,4,8	1
S. daphnoides	1	1	
S. fragilis	1,13		
S. nigra	1	1	
Sambucus nigra	1	1	1,4,7,8,10
S. racemosa			1,4,7,8,10
Sophora japonica	10	12	
Sorbus aria		1	
S. aucuparia		1	1,4,7,8,15
S. intermedia	1	1,4	1
Spirea spp	8,13,17	1,13	1,4,8,14
Symphoricarpos albus	4,7,9,13	1,3,8	
S. chenaultii	1		1
Syringa vulgaris	1	1,4,7,8,10,13	1,8
Tilia cordata	1,8	1,4,6,7,8	1,8,10,12,14
T. euchlora		1,4,7	
T. platyphyllos	1,8	1	1,10
T. tomentosa	1,10		
Ulmus americana	1	1,4,10,13	1
U. carpiniifolia		4,7	
U. glabra	1,4,7,8,10,13	1,7,8	1
U. hollandica		1	4
U. pumila	4,8,17		
Viburnum opulus	9	3,4	8,10,14

Litteratur:

1. Dobson (1991)
2. Lappen (1992)
3. OECD (1989)
4. Hedvard (1972)
5. Colwill et al. (1982)
6. Gibbs & Palmer (1994)
7. Glader et al. (1984)
8. Sucof 1975)
9. VSR (1989)
10. Pasquier (1991)
11. von Klincsek (1994)
12. von Wienhaus et al. (1993)
13. Hudler (1992)
14. Priebe (1990)
15. Semorádová & Materna (1982)
16. Burton (1992)
17. Davidson (1995)

Tabel 5:

Der er i tabellen kun medtaget arter der skønnes at være relevante under danske forhold, (som optræder i danske plantekataloger) og hvortil der er fundet minimum to referencer. Arterne er klassificeret som: Tolerante, Moderate eller Følsomme. Tallene henviser til de 17 kilder, der er listet til venstre for tabellen. Selve kildehenvisningen kan findes i rapportens referenceliste, side 61.

## 12. Udbedring af saltskader

Dobson (1990) beskrev at træer der befinder sig i et fremskredent stadie af tilbagevisning, er vanskelige at redde. Löhr (1989) anførte dog at træer, der er udsat for stærke saltskader kan forbedres over mange år, dog kun når kloridtabet via løvfald er større end optagelsen og akkumuleringen af salt i veddet (Löhr 1989). Dette betyder, at udgangspunktet for at iværksætte et restaureringsprogram for saltskadede træer, er at omfanget af saltning reduceres.

I Tyskland og Østrig har man flere eksempler på, at en redningsaktion kan iværksættes, selv på store træer. I alle tilfælde har forudsætningen dog været at saltning er indstillet på de pågældende lokaliteter. Leh (1990) beskrev således flere positive eksempler fra Berlin. Der fandtes generelt en klar sammenhæng mellem træernes forbedrede sundhedstilstand og et faldende indhold af klorid i bladene. Balder (1990) fandt et markant fald i synlige skader og i indholdet af såvel klorid som natrium efter ophør af saltning på: *Acer platanoides* (Spidsløn), *A. saccharinum* (Sølvløn) og *A. pseudoplatanus* (Ahorn), *Aesculus hippocastanum* (Hestekastanie), *Tilia cordata* (Småbladet Lind), *T. tormentosa* (Ungarns Sølvhind) og *T. intermedia* (= *T. x vulgaris*, Parkhind). Seks år efter den sidste saltning var de mindst skadede træer fuldstændigt kommet sig over skaderne, mens de mest skadede formodedes at skulle bruge betydeligt længere regenereringstid. Mekdaschi et al. (1988) fandt det muligt at lettere saltskadede træer (*Tilia spp.* og *Aesculus spp.*) kunne revitaliseres i løbet af 2-3 år.

I Wien by indførtes der i 1982 et forbud mod brugen af vejsalt (Albert 1993). Kun i ekstreme tilfælde blev saltet efterfølgende benyttet. I de følgende år forestod der derfor et omfattende arbejde i form af udbedring af de skader der var opstået på jord og planter, mens der blev saltet. For gadetræerne blev følgende program iværksat: Plantehullerne blev åbnet og forøget gennem løsning af jorden imellem plantehullerne. Herefter blev overfladejorden udskiftet og ny muld blev udlagt, indeholdende en stor del barkflis. Efterfølgende blev der plantet bunddækkeplanter og buske. Der blev opsat beskyttelsesforanstaltninger mod påkørsel og hvor det i øvrigt var muligt blev der installeret vandingsanlæg. Dette gjaldt især ved nyplantninger.

Både jordens tilstand og planternes vitalitet blev mærkbart forbedret ved vandingen i dette restureringsprogram. Indenfor få år var saltindholdet i jorden faldet med 10 - 20% og træernes saltindhold var faldet med mellem 50 og 70%.

I Danmark arbejder offentlige forvaltninger i disse år med at etablere større plantehuller (Theilmann 1996). Ved også at åbne plantehullernes overflade kan man tilstræbe at opnå at vand og organisk materiale er tilstede og påvirker planterne, således som det sker under mere naturlige vækstforhold. Hvor der saltes og hvor overfladen ikke er forsegleet med en uigen-nembrydelig membran, vil vejsalt dog kunne trænge ned til planternes rodsystemer. I sådanne tilfælde vil det derfor være formålstjenstligt at iværksætte en udvaskning af saltet.

### 12.1 Udvasning af salt

Vejregeludvalget (1980) beskrev, at der under gadeforhold kunne være grund til dyre ekstraordinære beskyttelsesforanstaltninger. Der kan f.eks. foretages udvaskning af jorden, med efterfølgende forsegling af overfladen og installering af udluftnings-, vandings- og drænsystemer.

Dragsted (1985) angav at vanding om foråret med hhv. 30 og 2 x 30 mm vand med en måneds mellemrum gav en mærkbar mindre plantedødelighed. Dragsted (1988a) angav at vanding svarende til en måneds nedbør i forsommeren (ca. 35 l/m<sup>2</sup> eller 35mm), vil begrænse skaderne kraftigt. Københavns kommune benytter generelt en udvaskning a plantehuller, før genplantning. For et plantehul på ca. 3-4 m<sup>2</sup> overflade anbefales det at løsne bunden, og på denne strø en blanding af kalksalpeter (kaliumnitrat), bittersalt (magnesiumsulfat) og superfosfat i forholdet 4-3-3. Ca. 1 kg benyttes pr. plantehul, hvortil der desuden tilføres ca. \_ kg. gips. Efter udstrøningen vandes der med ca. 300-400 liter vand, og vandingen gentages efter et døgn. Efter vandet er trukket væk kan man opbygge sit plantehul efter de generelle principper (Tvedt & Kristoffersen 1995).

En variant af den Københavnske model er beskrevet fra Hamburg. Her havde man i midten af 1980'erne udviklet en metode til at udskifte den saltholdige jord omkring gadetræerne, for at erstatte denne med en specialblanding af ny jord (Monard 1985). Man løsede forsigtigt 10 - 15 cm af overjorden, hvorefter jorden blev suget op i en specielbygget tankbil. En ionbytter substans med hemmelig recept blev derefter tilført. Ionbytteren blev derefter vandet ned med 500 liter vand, hvorefter en ny overjord, indeholdende organisk gødning blev lagt ud. Der afsluttedes med et lag barkflis. Der er grund til at formode at den 'hemmelige' tyske substans svarer til blandingen der strøs i plantehullerne i Københavns kommune. En behandling som den tyske kan 'holde' i flere år, og positive resultater kunne spores allerede året efter behandlingen. I USA anvender man bl.a. systematisk udvaskning af saltinfricerede jorder Harris (1992), men da man ikke foretager sådanne vandinger af danske vejplantninger, er disse anbefalinger næppe realistiske under danske forhold. Et areal der skal vandes, bør være forholdsvis jævnt for at sikre en ensartet nedsivning ved de mindste vandmængder. Tilsvarende er en tilstrækkelig dræning nødvendig. Harris (1992) angav at for en sandblandet lerjord kan man antage at:

- 50 l vand/m<sup>2</sup> (50 mm) udvasker 50% af saltet,
- 100 l vand /m<sup>2</sup> (100 mm) udvasker 80% af saltet
- 200 l vand/m<sup>2</sup> (200 mm) udvasker 90% af saltet

Til sammenligning er den gennemsnitlige nedbørsmængde i Danmark mellem 500 og 800 mm, afhængigt af lokaliteten (Jensen & Jensen 1991).

## 12.2 Kalkning/ gødskning

Ved at gøde med langtidsvirkende gødningsstoffer, gerne organisk, mindskes risikoen for en skadelig effekt af natrium- og klorid (Glader et al. 1984). Hvis jordstrukturen er forringet pga. et højt natriumindhold, kan gips (CaSO<sub>4</sub> x 2H<sub>2</sub>O) forbedre strukturen, dræningen og jordens næringsstofstatus (Harris 1992). Bradshaw et al. (1995) anførte dog, at effekten af en sådan behandling er diskutabel. Dobson (1990) skrev at kalktilførsel til jordens overflade, og efterfølgende tilførsel af 'store' vandmængder, tilsat en gødning med 'lavt' kvælstofindhold (heller i form af nitrat end urea) har en gavnlig effekt på saltforurenede jord. Glader et al. (1984) anførte ikke en prioritering i næringsstofftilførslen men nævnte, at denne helst skal ske med sure næringsstoffer som f.eks. urea.

Tilsætningen af gips medfører at  $\text{Na}^+$  udbyttes med  $\text{Ca}^{2+}$ . Sulfaten i gipsen vil derefter, sammen med frit natrium danne vandopløseligt  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  som nemt lader sig udvaske af rodzonen. Ligeledes beskrev Mekdaschi et al. (1988) at der er opnået en forbedring af træernes sundhedstilstand i løbet af 2-3 år ved tilsætning af gips, kalkammonsalpeter og kalimagnesia, enten enkeltvis eller i kombination. Foruden reguleringen af pH-værdien skal gødningen tilbageføre jorden de manglende stoffer, primært kalium og kvælstof, men også mikronæringsstoffer som bor, mangan og jern.



## 13. Behov for yderligere belysning

Gennemgangen af den danske og udenlandske litteratur om anvendelsen af vejsalt og følgeeffekterne på vejplantningerne og det omgivne miljø har, - uafhængigt af de mange planteskader der er set som følge af den seneste vinters massive saltning,- blottet to hovedområder, hvor der eksisterer et akut behov for ny viden:

- Videnopbygning og formidling af praktiske erfaringer i forbindelse med vejsaltning.
- Eksperimentel og dokumenteret videnopbygning i direkte tilknytning til de konkrete forhold langs det danske vejnet. Dette gælder såvel for de skadelige effekter på beplantninger, herunder effektiviteten af forebyggende foranstaltninger, som revitaliseringsmulighederne.

Det vil uden tvivl være af stor betydning for den fremtidige beplantning langs veje- og gader i Danmark - og dermed også for den fremtidige drift og vedligeholdelse af det danske vejnet, hvis der kan etableres forskning og udvikling indenfor de to hovedområder. En større integreret undersøgelse vurderes som værende nødvendig hvis der skal ske radikale ændringer for den danske vej- og gadetræsbestand, hvilket utvivlsomt også indebærer ændringer i vejsaltningspraksis. Det forudsættes at den eksperimentelle videndokumentation fastlægges på de erfaringer den generelle videnopbygning blottelægger.

### 13.1 Formidling af praktiske erfaringer

Der eksisterer ingen samlet dansk videnopbygning om de danske erfaringer vejmyndighederne har gjort sig i forbindelse med vejsaltning. Med henblik på at optimere vejsaltningen og forholdene for planter og disses omgivelser vurderes det som væsentligt at få belyst:

- Skadebilledet af beplantningen, set i forhold til vej-, gade- og beplantningstrukturen.
- Valg af og erfaring med beskyttelsesforanstaltninger (herunder økonomi).
- Valg af og erfaringer med forskellige planteafstande.
- Valg af og erfaringer med revitalisering gennem brug af strukturforbedrende midler, udskiftning eller vanding/gødskning af jord.
- Valg af og erfaringer med plantearter og plantestørrelser (herunder økonomi).

### 13.2 Eksperimentel videnopbygning

Der er kun i begrænset omfang foretaget egentlige eksperimentelle undersøgelser, der belyser og underbygger de faktiske omstændigheder for planter i relation til vejsaltning under in situ forhold i Danmark. Omfanget af den danske forskning indenfor området, har i forhold til de lande vi normalt sammenligner os med, været sparsom. Der eksisterer dog flere store danske forskningsarbejder på området, men enten er de af ældre dato eller også fokuserer de på fysiologiske forhold, uden at inddrage det konkrete miljø langs det danske vejnet. Derfor er det væsentligt at få dokumenteret:

- Omfanget af overjordiske saltsprøjt og saltstress gennem jordbunden, set i sammenhæng med vejtype og vejopbygning.
- Om beskyttelsesforanstaltningerne virker efter hensigten.

- Langtidseffekten af vejsaltning på de hyppigst anvendte vej- og gadeplanter.
- Vejsaltets kredsløb og langtidseffekten af vejsaltning på jordens indhold af næringsstoffer og på grundvandskvaliteten.
- Om revitalisering i form af jordudskiftning, strukturforbedring samt udvanding og tilførsel af gødning og gips er brugbar under danske forhold.

Vejtræer og buske er blandt de planter i Danmark, der er mest udsat for stress. På denne baggrund er det bemærkelsesværdigt, at der i Danmark ikke findes en koordineret videnopbygning over samspillet mellem vejsaltning og beplantningerne langs vejene. Med Forskningscentret for Skov & Landskab og Vejdirektoratets tre-trinsprojekt, vil det være muligt at skabe det bedst mulige grundlag for rådgivning angående de mest effektive og økonomisk forsvarlige metoder til beskyttelse af vej- og gadebeplantninger mod vejsalt. Tre-trins projektets del I er gennemført med denne rapport, del II gennemføres i 1997 og del III planlægges gennemført i perioden fra 1997 - 2000.

## 14. Referenceliste

- Albert, R. (1993) Experiences on improvement of street trees in Vienna. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 45(10):218-221.
- Allen, J.A.; Chambers, J.L. & M. Stine (1994) Prospects for increasing the salt tolerance of forest trees: a review. Heron Publishing - Victoria, Canada. pp. 843-853.
- Arnold, H.F. (1993) *Trees in Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, New York, 2nd Edition. 197 pp.
- Bach, F. (1996) Rådhuspladsens nye træer. Gartnermacadam, beriget grus og avanceret teknik - mere kan næppe gøres. *Grønt Miljø*, 3:61-64.
- Balder, H. (1990) Investigations of the Revitalisation of Trees Damaged by Deicing Salt. *Gesunde Pflanzen*, 42(10):356-361. (På Tysk, med Engelsk summary).
- Balder, H. & G. Krüger (1992) Vitality of Urban Trees - a comparison between east and west. *Gesunde Pflanzen*, 44(9):291-295. (På Tysk, med Engelsk summary).
- Balder, H. & J. Nierste (1987) Ökologische Auswirkungen eines tausalzfreien innerstädtischen Winterdienstes. *Umwelt Bundes Amt*, 87-058, 69 pp.
- Bäckman, L. (1980). Vintervägsaltets miljöpåverkan. Tatens väg- og trafikinstitut, 197. 62 pp.
- Bäckman, L. (1985) Salthanteringens miljökonsekvenser. I: Lundquist K. (ed): Saltets miljökonsekvenser. Rapport från MOVIUM's saltseminar i Alnarp 1984. *Stad och Land*, 40, 68.
- Bäckman, L. & L. Folkesson (1995) Saltpåverkan på vegetation, grundvatten och mark utmed E20 och Rv 48 i Skaraborgs län 1994. Väg- och transportforskningsinstitutet. *VTI Meddelande* 775. pp. 43.
- Barrick, W.E.; Flore, J.A. & H. Davidson (1979) Deicing salt spray injury in selected *Pinus spp.* *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 104, 617-622
- Beaudoin, R. (1992) Observations sur la tolérance aux embruns salins d'espèces ligneuses en plantation aux abords des autoroutes. *The Forestry Chronicle*, No. 4, Vol. 68, 496-502.
- Bernstein, L. (1964) Salt tolerance of plants. *Agriculture Information Bulletin*, 283, Washington DC, USDA, 3-23.
- Bernstein, L.; Francois L.E. & R.A. Clark (1972) Salt Tolerance of Ornamental Shrubs and Ground Covers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 550-556.
- Bille-Hansen, J. (1996) Personlig kommentar. *Forsker, Forskningscentret for Skov & Landskab*.
- Bjerregård, S. (1972) Beskyttelse mod saltskader. *Landskab, Havekunst*, 53(8), 163.
- Bogemans, J.; Neirinckx L. & J.M. Strassart (1989) Effets of deicing NaCl and CaCl<sub>2</sub> on spruce (*Picea abies* (L.) sp.). *Plant and Soil*, 21, 203-211.
- Bolt, G.H. & M.G.M. Bruggenwert (1976) Composition of the soil. I: Bolt G.H., Bruggenwert M.G.M.: *Soil chemistry. Basic Elements*. Elsevier Scientific Publishing Company, 1-12.
- Bolt, G.H.; Bruggenwert M.G.M. & A. Kamphorst (1976) Adsorption of cations by soil. In: Bolt G.H., Bruggenwert M.G.M.: *Soil chemistry. Basic Elements*. Elsevier Scientific Publishing Company, 54-90.
- Bove J.M.; Bove C.; Whatley, F.R. & D.I. Arnon (1963) Chloride requirement for oxygen evolution in photosynthesis. *Z. Naturforsch.*, 18b, 683-688.
- Bowers, M.C. & J.H. Hesterberg, (1976) Environmental implications og Highway De-icing Agents on White pine in Marquette County, Michigan. *Michigan Botanist*, 15, 75-89.
- Bradshaw, A.; Hunt, B. & T. Walmsley (1995) *Trees in the Urban Landscape. Principles and Practice*. E. & FN. Spon, London. 272 pp.

- Braun, S. & W. Flückinger, (1984) Increased Population of the Aphid *Aphis pomi* at a Motorway. Part 2 - the Effect of Drought and de-icing salt. *Environmental Pollution (Series A)*, 36, 261-270.
- Breckle, S-W. & A. Scheck-Hoffmann (1985) Streusalzwirkungen am Autobahnrand. Poster zu Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Bremen 1983), Band XIII, 1985. pp. 657-663.
- Brod, H. (1989) Soil properties and soil ameliorative measure after application of de-icing salt (NaCl). *Zeitschrift für Vegetationsstechnik*, 12, 99-105.
- Brod, H. (1993) Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen. Verkehrstechnik*, 2. 166pp.
- Brod, H. & R. Speerschneider, (1991) Zeitlicher Verlauf der Na- und Cl- Gehalte im Boden und in Bäumen zweier unterschiedlich verdichteter Alleebaum-standorte. In: Brod, H. (Ed): *Strassenbaumschäden. Ursachen und Wirkungen*, 67-76.
- Broderick, S.H. & D.M. Miller, (1989) Trees, Cities and Global Warming. University of Connecticut, Cooperative Ext. System, Urban and Community Forest File, Fact Sheet no. 2, [1] p.
- Burton, R. (1992) Scourge of the Planes. *The Horticulturist*, 1(3):28-30.
- Campbell, L.C. & M.G. Pitman (1975) Salinity and Plant cells. I: Talsma T. & Philip J.R. (eds) *Salinity and water use*, 207-226, London: Mcmillan.
- Clarkson, D.T. & J.B. Hanson (1980) The mineral nutrition of higher plants. I: Briggs W.R., Green P.R. & Jones R.L. (eds): *Annual Review of Plant Physiology*, 31, 239-298.
- Colwill, D.M.; Thompson, J.R. & A.J. Rutter (1982) An assessment of the conditions for shrubs alongside motorways. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne. TRRL laboratory report. 26 pp.
- Craul, P.J. (1992) *Urban soil in Landscape Design*. John Wiley & Sons, Inc. 396 pp.
- Dahl, P. (1985) Köpenhamn - skydd mot saltstänk på stads- och gatuträd. I: Rapport fra MOVIUMs saltseminarium i Alnarp 1984. Stad och Land. Rapport nr. 40. Ed. K. Lundquist. Alnarp. Sverige. pp. 59-60.
- Dalziel T.R.K.; Proctor, M.V. & A. Dickson (1988) Hydrochemical budgets calculations of the Loch Fleet catchment before and after watershed liming. *Water, Air and Soil Pollution*, 41, 417-434.
- Damolin (1996) *Damolin moler produkter. Produkt katalog fra Dansk Moler Industri*, Fur. 3 pp.
- Davidson, H. (1995) Tree and shrub tolerance to De-Icing Salt Spray. Michigan State University, Dept. of Horticulture, *Horticulture Bulletin* HM-95.
- DMI (1975) Danmarks Klima, analyse af snedækkedage. Det Danske Meteorologiske Institut, *Klimatologiske meddelelser*. No. 3. pp 98.
- DMI (1996) *Danmarks Klima 1995*. Danmarks Meteorologiske Institut. 126 pp.
- Dobson, M.C. (1990) De-icing salt damage to trees and shrubs and its amelioration. I: *Research for Practical Arboriculture. Forestry Commission Bulletin 97*. Ed.: S.J. Hodge. Proceedings from a seminar held at University of York, GB. April, 1990. Paper 18, pp. 141-151.
- Dobson, M.C. (1991) De-icing Salt Damage to Trees and Shrubs. *Forestry Commission Bulletin 101*. London: HMSO. 64 pp.
- Dragsted, J. (1978) Inventering af vejtræbestanden i Frederiksborg amtskommune. Vejdirektoratet. Statens Vejlaboratorium, Roskilde. 33 pp + bilag.
- Dragsted, J. (1979) Salt stress in Norway Spruce, Sitka Spruce and Birch. *Meddelelser fra Skovbrugsinstituttet*, 2(2):1-53.
- Dragsted, J. (1980) Vejsalt og vejtræer. Resultater af et praktisk studie over vejsaltets vandring i jorden omkring vejtræer og indvirkning på disse. Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium. *Laboratorierapport 46*. 77 pp.
- Dragsted (1985) Tråd och vägsalt - ett forskningsprojekt. I: Rapport fra MOVIUMs saltseminarium i Alnarp 1984. Stad och Land. Rapport nr. 40. Ed. K. Lundquist. Alnarp. Sverige. pp. 62-65.

- Dragsted, J. (1988a) Undersøgelse af nogle løvtræarters reaktion på saltbelastning. Skovbrugsinstituttet, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Fonden for Træer og Miljø. 285 pp + 4 appendiks.
- Dragsted, J. (1988b) Hvordan virker vejsaltet på træerne ? Grønt Miljø, 7, pp. 6-11.
- Dragsted, J. (1996) Træers forhold til salinitet. En behandling af træers reaktion på salt- og ionstress med vægt på arter fra den tempererede klimazone. Forskningsserien nr. 17-1996. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. 357 pp + bilag.
- Dwyer, J.F. (1992) Economic Benefits and Costs of Urban Forests. In: Rodbell, P.D. (Ed.) Proceedings of the Fifth National Urban Forest Conference, Los Angeles, November 1991. Washington DC, American Forestry association. pp. 55-58.
- Eckstein, D.; Liese, W. & N. Parameswaran (1976) On the structural changes in wood and bark of a salt damaged horse chestnut tree. *Holzforshung*, 30, 173-178.
- Eaton, F.M. (1942) Toxicity and Accumulation of Chloride and Sulphate in Plants. *Journal of Agricultural Research*, 64, 357-399.
- Eisen, C. & M.P. Anderson (1980) The Effects of urbanization on groundwater quality, Milwaukee, Wisconsin, USA. I: Jackson, R.E. (ed): *Aquifer contamination and protection*, UNESCO press, Paris, SRH 20, 378-390.
- Evans, A.C. (1948) Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. *The Annals of Applied Biology*, 35, 1-13.
- FAO/UNESCO (1990) Soil map of the World. Revised Legend. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom, 119 pp.
- Fleck, A.M.; Lacki, M.J. & J. Sutherland (1988) Responses by white birch (*Betula papyrifera*) to road salt application at Cascade Lakes, New York. *Journal of Environmental Management*, 27, 369-377.
- Foster, A.C. & M.A. Maun, (1978) Concentration of Highway Deicing Agent on *Thuja occidentalis* in a Greenhouse. *Canadian Journal of Botany*, 56, 1081-1085.
- Garrod, G.D. & K.G. Willis (1992) Valuing Goods' Characteristics: An Application of Hedonic Price Method to Environmental Attributes. *Journal of Environmental Management*. 34:59-76.
- GEUS (1995) Grundvandsovervågning 1995. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Miljø- og Energiministeriet. Geografiforlaget Aps. 208 pp.
- Gibbs, J.N. & C.A. Palmer (1994) A Survey of Damage to Roadside Trees in London caused by the Application of De-Ising Salt during the 1990/91 Winter. *Arboricultural Journal*, vol. 18, pp. 321-343.
- Gidley, J. (1989) The Impact of Deicing Salts on Roadside Vegetation on Two Sites in California. *The Environmental Impact of Highway Deicing. Proceedings of a Symposium held October 13, 1989, at the University of California, at Davis. Institute of Ecology Publication 33.*
- Glader, E.; Moback, U. & H. Persson (1984) Saltskador på träd. *Stad och Land, Rapport nr. 30. Alnarp*. 72 pp.
- Gludsted, S. (1996) Personlig kommentar. Skovtekniker. Frederiksborg Amt.
- Grabosky, J. & N. Bassuk, (1995) A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. *Journal of Arboriculture* 21(4):187-201.
- Greenway, H. & R. Munns (1980) Mechanisms of Salt Tolerance in Nonhalophytes. I: Briggs W.R., Green P.R. & Jones R.L. (eds): *Annual Review of Plant Physiology*, 31, 149-190.
- Gustavsson, K. (1985) Halkbekämpningsmetoder, Statens Väg- og Trafikinstitut. I: Rapport fra MOVIUMs saltseminarium i Alnarp 1984. *Stad och Land. Rapport nr. 40. Ed. K. Lundquist. Alnarp. Sverige*. pp. 51-57.
- Hanes, R.E.; Zelasny L.W.; Vergese 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.
- Hansen, W.F. (1952) Vejplantninger og deres vedligeholdelse. Fællesrådet for Havekultur og Landskabsgartneri. Skrift nr. 3. 47 pp.

- Harris, R.W. (1992) *Arboriculture, Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines*. 2. ed. Regents/Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 674 pp.
- Hayward, H.E. & C.H. Wadleigh (1949) *Plant Growth on Saline and Alkali Soils*. In Norman, A.G.: *Advances in Agronomy*, 1, 1-38. Academic Press Inc., Publishers New York.
- Hedvard, T. (1972) *Saltskader på vejtræer. Betænkning vedrørende skader på vejtræerne i Københavns kommune som følge af brugen af salt i glatførebeholdningen om vinteren*. Stadsgartnerens kontor, Københavns kommune. 137 pp.
- Henrysson, G. (1985) *Vägverkets salthantering. I: Saltets Miljøkonsekvenser. Rapport från MOVIUMs saltseminarium i Alnarp 1984*. Ed. K. Lundquist. *Stad och Land/ Rapport nr. 40*. pp. 8-12.
- Hofstra G. & R. Hall (1971) *Injury on Roadside Trees: Leaf injury on pine and white cedar in relation to foliar levels of sodium chloride*. *Canadian Journal of Botany*, 49, pp. 613-622.
- Holmes, F.W. (1961) *Salt injury to trees*. *Phytopathology*, 51, pp. 712-718.
- Holstener-Jørgensen H. (1991) *Saltskader*. *Skoven* 23, pp. 210-212.
- Hovard, K.W.F. & P.J. Beck (1993) *Hydrogeochemical implications of groundwater contamination by road de-icing chemicals*. *Journal of Contaminant hydrology*, 12. 245-268.
- Höbel, S.; Gerdsmeyer, J.; Mellin, A. & Greven, H. (1992) *The Effect of Two thawing Salts on Enchytraiders of a Meadow Soil*. *Zool.Anz*, 228, 107-128.
- Huang, J.; Richard, R.; Sampson, N. & H. Taha (1992) *The Benefits of Urban Trees. I: Akbari, H. et al., (Eds.). Cooling our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-coloured Surfacing*. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Policy Analysis, Climate Change Division. pp. 27-42.
- Hudler, G. (1992) *Relative Tolerance of Trees & Shrubs to Highway De-icing Salt*. *AG Focus, Publication Cornell Cooperative Extension*. Jan, pp 9.
- Hutchinson, F.E. (1966) *Accumulation of Road Salt in Soils Along Maine Highways*. *Maine Farm Research*, 14, 13-16.
- Hvass, N. (1985) *Defending street trees against road salt in Denmark*. *Journal of Arboriculture*, 11(2):61-64.
- ISA (1992) *Guide for Plant Appraisal*. Council of Tree & Landscape Appraisers. Official publication of the International Society of Arboriculture (ISA). (Eight ed.) 103 pp.
- Jaquet, J.; Jeppesen, P.S. & H.J. Jacobsen (1992) *Vintertjeneste for primære veje - stæde og udviklingsmuligheder*. *Vejdirektoratet, Vejafdelingen*. 134 pp + 3 bilag.
- Jaquet, J. (1996) *Personlig kommentar*. *Akademiingeniør, Vejdirektoratet*.
- Jennings, D.H. (1976) *The effects of sodium chloride on higher plants*. *Biological Reviews*, 51. 453-486.
- Jensen, H.E. & S.E. Jensen (1991) *Fysisk Edafologi, Kulturteknik 1*, DSR-Forlag, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København.
- Jones, P.H.; Jeffrey B.A.; Walter P.K. & H. Hutchon (1986) *Environmental Impact of Road salting - State of the Art*. The Research and development Branch Ontario Ministry of Transportation and Communications.
- Jury, W.A.; Gardner, W.R. & W.H. Gardner (1991) *Soil Physics*, 5<sup>th</sup> ed. John Wiley and Sons, Inc. 328 pp.
- Kelley, P.M. & S. Izawa (1978) *The role of chloride ion in photosystem II. I. Effects on chloride on photosystem II electron transport and hydroxyl amine inhibition*. *Biochim. Biophys. Acta.*, 502, 198-210.
- Kliejunas, J.M.; Marosy, M. & J. Pronos (1990) *Conifer damage and Mortality Associated with Highway Deicing and Snow Removal in the Lake Tahoe Area*. *Forest Pest Management*. Pacific Southwest Region, A.S.D.A., For. Ser. Rpt. , 89-11. 18pp.
- Kreutzer, K. (1974) *Bodenkundliche Aspekte der Streusalzanwendung*. *European Journal of Forest Pathology*, 4, 39-41.

- Kristoffersen, P. (1993) Etablering af vejplantninger. Resultater fra et 4-årigt forsøg. Forskningscentret for Skov & Landskab, Vejdirektoratet og Frederiksborg Amt. 68 pp.
- Kristoffersen, P. (1996a) Personlig kommentar. Forsker, Forskningscentret for Skov & Landskab.
- Kristoffersen, P. (1996b) Principper for anvendelse af rodvenlig befæstelse. Videnblade Park- og Landskabsserien, nr. 4.6-9. Forskningscentret for Skov & Landskab. 2 pp.
- Kutscha, N.P.; Hyland F. & A.R. Langille (1977) Salt damage to northern white cedar and white spruce. *Wood and Fiber*, 9. 191-201.
- Küller, R. & M. Küller, (1994) Stadens grönska äldres utvistelse och hälsa. Byggeforskningsrådet, Stockholm. 114 pp + appendices.
- Kylin, A. & R.S. Quatrano (1975) Metabolical and biochemical aspects of salt tolerance. I: Poljakoff-Mayber A. & Gale J. (eds): *Plants in saline Environments*, Ecological Studies, 15, 147-167. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Langan, S.J. (1987) Episodic acidification of streams at Loch Dee SW Scotland. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh: Earth science*, 78. 393-397.
- Leisner, A.T.; Palaniyandi R.; Pual, J.L. & R. Raabe (1980) Highway operation and Plant damage. Department of Environ. Hort., UC Davis and Cal. Dept. Of Trans. Rpt. , FHWA/CA/TL-80/30, 264 pp.
- Leh, H.-O. (1990) Investigations on health condition of street trees after discontinued use of de-icing salts on streets in Berlin. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 42(9):134-142.
- Levitt, J. (1972) Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, NY and London. 561 pp.
- Leopold, A.C. & M. G. Willing (1984) Evidence for toxicity effects of salts on membranes. I: Stables R.C. % Toenissen G.H. (eds): *Tolerance in plants: Strategies for crop improvement*, John Wiley and Sons, NY, 67-76.
- Liem, A.S.N.; Hendriks, A.; Kraal, H. & M. Loenen (1985) Effects of Deicing salt on Roadside Grasses and herbs. *Plant and Soil*, 84, 299-310.
- Locat, J. & P. Gélinas (1989) Infiltration of de-icing road salts in aquifers: the Trois-Rivières-Ouest case, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Science*, 26, 2186-2193.
- Löhr, E. (1989) Bytræer og deres skader. Fonden for Træer og Miljø 1989, pp. 16-24.
- Lucas, R.E. & J.F. Davies (1961) Relationships between pH values and organic soils and availability of 12 plant nutrients. *Soil Sci.*, 92. 177-182.
- Lumis, G.P.; Hofstra G. & R. Hall, (1973) Sensitivity of Roadside trees and shrubs to aerial drift of deicing salt. *HortScience*, 8, 475-477.
- Lyngby-Taarbæk kommune (1989) Rapport om: Glatførebekæmpelse og sunde vejtræer. Parkafdelingen / Vejafdelingen, Lyngby-Taarbæk kommune. 16 pp.
- Marschner, H. (1986) Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London. 674 pp.
- Matthews, J.R. (1991) Benefits of Armeria Trees. I: Hodge, S.J. (Ed.). *Research for Practical Arboriculture: Proceedings of a seminar*, University of York, April 1990. London Forestry Commission Bulletin no. 97, pp. 74-80.
- Meiri, A. & A. Poljakoff-Mayber (1967) The effect of chloride salinity on growth of bean leaves in thickness and in aerea. *Israelish Journal of Botany*, 16. 115-123.
- Mekadaschi, R.; Horlacher, D.; Schulz, R. & H. Marschner (1988) Streusalzshäden und Sanierungsmassnahmen zur Verminderung der Streusalzbelastung von Strassenbäumen in Stuttgart. *Angewandte Botanik*, 62.355-371.
- Mengel, K. & E.A. Kirkby (1982) Principles of Plant nutrition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Svejts. 655 pp.
- Michael, S.E. & R.B. IV Hull (1994) Effects of Vegetation on Crime in Urban Parks. Virginia Polytechnic Institute &

- State University, Dept. of Forestry, College of Forestry and Wildlife Resources. Blacksburg, VA, USA.
- Mikkelsen, L. (1995) Notat om anvendelse af saltopløsning til glatførebekæmpelse på cykelstier i Odense kommune. Trafik- og Vejkontoret den 22/9/1995, Odense kommune. 2 pp.
- Monard, R. (1985) Gatuträd och saltskador i Hamburg. I: Saltets Miljökonsekvenser. Rapport fra MOVIUMs salsseminarium i Alnarp 1984. Ed. K. Lundquist. Stad och Land. Rapport nr. 40. Alnarp. Sverige. pp. 26-30.
- Montasir, A.H.; Sharoubeem, H.H. & G.H. Sidrak (1966) Partial substitution for Potassium in Water Cultures. *Plant & Soil*, 15, 181-194.
- Mulder, J. (1988) Impacts of acid atmospheric deposition on soils: Field monitoring and aluminium chemistry. Doctoral thesis, Agricultural University, Wageningen, Holland, 163 pp.
- Møller & Grønborg (1991) Gröna och säkra vägar. Vägverket, Malmöhus län. 54 pp.
- Novenzamsky, I. & J. Beck (1976) Common solubility equilibria in soils. I: Bolt G.H., Bruggenwert M.G.M.: Soil chemistry. Basic Elements. Elsevier Scientific Publishing Company. 98-125.
- OECD (1989) Curtailing usage of de-icing agents in winter maintenance. Road Transport Research. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Paris, Frankrig. 126 pp.
- Olsen, P. (1996) Personlig kommentar. Sektionsingeniør, Frederiksborg Amt.
- Pasquier, P. (1991) Effects sur les végétaux ligneux de bordure de chaussée. *Phytoma*, La Défence des végétaux. pp. 57-60.
- Payne, D. (1973a) Soil structure, tilth, and mechanical behaviour. I: A. Wild (ed): Russel's Soil condition and plant growth. Longman Scientific & Technical (UK). 378-411.
- Payne, D. (1973b) The behaviour of water in soil. I: A. Wild (ed): Russel's Soil condition and plant growth. Longman Scientific & Technical (UK). 315-337.
- Pedersen, L.B. (1992) Salt stresser rødgran på mange måder. *DST*, 1, 43-54.
- Pedersen, L.B. (1993) Changes in Soil water Chemistry encouraged by high sea salt deposition. A possible Reason for the dieback of Norway spruce in Denmark. *For. & Landsc. Res.*, 1, 35-49.
- Pedersen, L.B.; Gundersen, P.; Rasmussen, L.; Mikkelsen, T. & M.F. Hovmand (1994) Rødgranens sundhed. *Skoven*, 2, 69-73.
- Pedersen, L.B. (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.
- Pedersen, L.B. & C. Beier (1996) Stofkredsløb i skove. Kalcium. Videnblade Skovbrug. 8.5.3, Forskningscentret for Skov & Landskab. 2 pp.
- Pedersen, L.B. & Christensen, C.J. (1996) Personlige kommentarer. *Forskere*, Forskningscentret for Skov & Landskab.
- Pedersen, L.B. & T.B. Randrup (1996) Talrige saltskader på vejbeplantninger. *Grønt Miljø Nr. 6*, pp. 62-67.
- Pedersen, P.A. & O. Fostad (1996) Effekter av veisaltning på jord, vann og vegetation. Hovedrapport del I. Undersøkelser av jord og vegetation. *Forskningsparken i Ås, Norge*. 65 pp.
- Pezeszki S.R. & J.L. Chambers (1986) Effect of soil salinity on stomatal conductance and photosynthesis of green ash (*Fraxinus pennsylvanica*). *Can. J. For. Res.*, 16, 569-573.
- Plate, H.P. (1991) Ausschnitte aus der pflanzenschutzlichen Arbeit in Berlib (West) während der letzten 20 Jahre. *Mitteilungen Biologischen Bundesanstalt Land Forstwirtschaft*. Vol. 266:7-22.
- Poljakoff-Mayer, A. (1975) Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress. I: Poljakoff-Mayer A. & Gale J. (eds.): *Plants in saline Environments (ecological studies, 15, 97-117)*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Priebe, L.V. (1990) Deicing Salt Compatibility with Vegetation. *Public Works*, 121(4):48-49.



- Prior, G.A. & Berthouex (1967) A study of the salt pollution of soil by highway salting. Highway Research Record, 193. 8-21.
- Randrup, T.B. (1993) Jordkomprimering og Plantevækst,- et litteraturstudium suppleret med en eksperimentel undersøgelse. (Ph.D.-støttefagsrapport.). Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Institut for Jordbrugsvidenskab. Udgivet af Forskningscentret for Skov & Landskab. 72 pp + 3 bilag.
- Randrup, T.B. (1994) Amerikanerne elsker bytræer. Grønt Miljø, nr. 4, pp. 12-15.
- Randrup, T.B. (1996) Plantevækst i forbindelse med byggeri: Planlægningens og projekteringens indflydelse på vedplanters vækstvilkår i uilsigtede komprimerede jorder. Ph.D.-afhandling. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Institut for Økonomi, Skov og Landskab. Forskningsserien nr. 15-1996. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. xv + 293 pp.
- Raulund-Rasmussen, K. (1993) Pedological and mineralogical characterization of five Danish forest soils. For. & Landsc. Res., 1, 9-33.
- Rich, A.E. (1972) Effects of Salt on eastern Highway Trees. American Nurseryman, 135, 36-39
- Resource concepts (1992) Survey of alternative road deicers. Resource concepts, Inc. Carson City, Nevada, USA. 108pp.
- Rogness, R.O.; Tuft, E.A. & R.C. Marshall (1988) Identification of maintenance and Equipment Needs of Rural Road Agencies. I: Transportation Research Record no 1189. maintenance Planning and managing Roadside Vegetation. Transportation Research Board, Washington D.C. pp. 1-13.
- Rowell, D.L. (1973) Soil acidity and alkalinity. I: A. Wild (ed): Russel's Soil condition and plant growth. Longman Scientific & Technical (UK). 844-898.
- Schachtschabel, P. (1967) The influence of pH on soil Structure and the turnover of fertilizer phosphate in the soil. Landw. Forsch., 21, 40-49.
- Schmalzfuss, K. & I. Reinicke (1960) The effect of increasing potassium rates in the form of KCl and K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on yield and content of water, N-compounds, K, Cl, and S fractions of spinach grown in pot experiments. Z. pflanzenähr. Bodenkn., 21, 384-386.
- Schroeder, H.W. & W.N. Cannon (1987) Visual Quality of Residential Streets: Both Street and Yard Trees make a Difference. Journal of Arboriculture, 13(10):236-239.
- Scott (1980) De-icing Salt Levels in Toronto Stream Banks and Roadside Soils. Bulletin Environmental Contamination and Toxicology, 25, 208-214.
- Semorádová, E. & J. Materna (1982) Salt Treatment of Roads in Winter: the Response of Trees and the Content of Chlorine in their Assimilation Organs. Scientia Agriculturae Bohemoslovaca, No. 4, pp. 241-260.
- Shanley, J.B. (1994) Effects of ion exchange on stream solute fluxes in a basin receiving highway deicing salts. J. Environ. Qual., 23. 977-986.
- Shigo, A.L. (1991) Modern Arboriculture, A systems approach to the care of trees and their associates. Shigo and Trees, Associates, Durham, USA. 424 pp.
- Short, J.R.; Fanning, D.S.; McIntosh, M.S., Foss, J.E. & J.C. Patterson (1986a) Soils of the Mall in Washington DC.: I. Statistical summary of properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:699-705.
- Short, J.R.; Fanning, D.S.; Foss, J.E. & J.C. Patterson (1986b) Soils of the Mall in Washington DC.: II. Genesis, Classification and Mapping. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:705-710.
- Simini, M. & I.A. Leone (1982) Effects of photoperiod, temperature, and relative humidity on chloride uptake of plants exposed to salt spray. Phytopathology, 72. 1163-1166.
- Simini, M. & I.A. Leone (1986) Studies on the effects of de-icing salts on roadside trees. Arboricultural Journal, 10, 221-231.
- Skoglund, J. (1995) Falsk trykghet? Våre Veger, nr. 8, 22. årgang, p. 19.

- Soil Survey Staff (1975) Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture, Washington D.C.
- Statens Vegvesen (1989) Samfunnsøkonomiske konsekvenser ved bruk av salt i vintervedlikeholdet. En litteraturstudie, Vegdirektoratet. Norge. 25 pp. + bilag.
- Stuiver, C.E.E., Kuiper P.J.C., Marschner, H. & A. Kylin (1981) Effects of salinity and replacement of  $K^+$  by  $Na^+$  on lipid composition in two sugar beet imbred lines. *Physiol. Plant.*, 52, 77-82.
- Stål, Ø. (1992) Trädrötter och Ledningar. Stad & Land. Movium / Inst. för Landskapsplanering. Sveriges lantbruksuniversitet, nr. 106. 63 pp.
- Sucoff, E. (1975) Effect of Deicing Salts on Woody Vegetation along Minnesota Roads. University of Minnesota, College of Forestry in cooperation with Minnesota Highway department and Minnesota Local Road research Board. Investigation Number 636. Minnesota Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin 303 - Forestry Series 20. 49 pp.
- Thagesen, B. (1991) Lærebog i vejbygning. Bind. 1. Trafik og geometri. Polyteknisk Forlag. 3. oplag.
- Theilmann, S. (1996) Bytræer nu og i fremtiden. Anlægsmetoder for bytræer i teori og praksis. Bachelorprojekt, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. 44 pp.
- Thomsen, E. (1996) Personlig kommentar. Nordjyllands Amt.
- Thompson, J.R. & A.J. Rutter (1986) The salinity of motorway soils. IV. Effects of sodium chloride on some native british shrub species, and the possibility of establishing shrubs on the central reserves of motorways. *Journal of Applied Ecology*, 23. 299-315.
- Thompson, J.R.; Rutter, A.J. & Ridout, P.S. (1986) The salinity of motorways soils. II. Distance from the carrigeway and other Sources of local variation in salinity. *Jornal of Applied Ecology*, 23, 269-280.
- Toler, L.G. & S.J. Pollock (1974) Retention of Chloride in the unsaturated zone. *J.Res.U.S.Geol.Surv.*, 2. 119-123.
- Townsend, A.M. (1989) The search for salt tolerant trees. *Arboricultural Journal*, (13):67-73.
- Troedsson, T. & N. Nykvist (1973) Marklära och markvård. Almqvist & Wiksell läromedel. pp. 403.
- Tvedt, T. & P. Kristoffersen (1995) Byens Træer, Plantningsvejledning. Københavns kommune, Stadsingeniørens direktorat - Parkafdelingen. 28 pp.
- Ulrich, B. (1986) Natural and anthropogenic componenets of soil acidification. *Z.pflanzen-ernährung und Bodenkunde*, 149, 702-717
- Ulrich, R.S. (1984) View through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science*, Vol. 224: 420-421.
- Urban, J. (1989) New techniques in urban tree plantings. *Journal of Arboriculture*. 15(11):281-284.
- Vejdirektoratet (1985) Byernes Trafikarealer. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. Hæfte 1, Introduktion og forudsætninger.
- Vejdirektoratet (1986) Saltspredningsforsøg. Farø, den 24. april 1986. Driftområdet. Vintertjeneste Udviklingsgruppen. 9 pp + 2 appendiks.
- Vejdirektoratet (1988) Vintertjeneste. Glatførebekæmpelse med fugtsalt.  $NaCl$ -,  $CaCl_2$ -, eller  $MgCl_2$ -lage ?. Litteraturstudium, laboratorie- og markforsøg. Referatrapport. Vedligeholdelsesafdelingen. 54 pp. + 2 bilag.
- Vejdirektoratet (1991) Vintertjeneste. Saltspredningsforsøg. Vejdirektoratet, Vejafdelingen. 13 pp. + 10 bilag.
- Vejdirektoratet (1995) Brev til Vejregeludvalget af 26. oktober 1995, Vejdirektoratets Journal nr. A97-H0960-06. 2 pp.
- Vejdirektoratet (1996) Oversigt over saltforbruget på det overordnede vejnet. Internt notat af 6. august 1996. 1 p.
- Vejregel (1980a) Beplantning. Vejregel for beplantning. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. 9.60.01 Udstyr. 9 pp.

- Vejregel (1980b) Vejtjeneste. Vejregel for tøsalte, sand og grus til glatførebekæmpelse. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. 9.80.01 Udstyr. 9 pp.
- Vejregel (1981) Vejtjeneste. Vejregler for indretning af saltlader og saltpladser. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. 9.80.02 Udstyr. 11 pp. + tegningsmateriale.
- Vejregelsekretariatet (1977) Beplantning. Forslag til vejregler for beplantning. Vejdirektoratet, Vejregelsekretariatet. 9.6.01. Udstyr. 136 pp + tegningsmateriale.
- Vejregeludvalget (1977) Vintervedligeholdelse, Stade og udviklingsmuligheder. Vejdirektoratet, Vejregelsekretariatet. 7.0.01 Befæstelser. 112 pp. + 2 bilag.
- Vejregeludvalget (1980) Beplantning. Informationshæfte til Vejregel for Beplantning. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. 9.60.02 Udstyr. 118 pp. + tegningsmateriale.
- Vestergaard, P. (1971) Om NaCl-niveaueet i vejrabatter efter vintersalting. Dansk vejtidsskrift, 48, 67-74.
- Vestergaard, A. (1992) Saltbeskyttelse af gadetræer. Videnblade Park og Landskab. Blad nr. 5.23-2. Forskningscentret for Skov & Landskab. 2 pp.
- von Klincsek, P. (1994) Über den Einfluss von Chloriden und Schwefeldioxid auf Gehölze in Grossstädten. Gesunde Pflanzen, 46(4):137-139.
- von Sury, R. & W. Flückinger (1983) The effects of different mixtures of NaCl and CaCl<sub>2</sub> on the Silver fir (*Abies alba* Miller). Eur.J.For. Path., 13, 24-30.
- von Wienhaus, O; Dässler, H.-G. & S. Börtitz (1993) Probleme und Erfahrungen zur Frage der Beteiligung von Luftverunreinigungen an der Schädigung von Strassenbäumen in der ehemaligen DDR. Gesunde Pflanzen, 45(1):26-29.
- VSR (1989) Die Streusalz-Praxis. Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen AG, Schweizerhalle, 4133 Pratteln 4. 44 pp.
- Wentzel, K.F. (1974) Salz-Spritzwasserschäden von den Autobahn in die Tiefe der Waldbestände. European Journal of Forest Pathology, 4, 45-46.
- Westing, A.H. (1969) Plants and salts in the roadside environment. Phytopathology, 59, 1174-1181.
- Wild, A. (1973) Potassium, sodium, calcium, magnesium, sulphur, silicon. I: A. Wild (ed): Russel's Soil condition and plant growth. Longman Scientific & Technical (UK). 743-779.
- Wulkowicz, G.M. & Saleem Z.A. (1974) Chloride balance of an urban basin in the Chicago area. Water Resour. Res., 10. 974-982.
- Öberg, G.; Bäckman, L.; Gregersen, N.P.; Nilsson, G.; Jutengren, K.; Hedlund, S. & B. Rendahl (1991) MINSALT Forsök med osaltede vägar och gator på Gotland. VTI meddelande 637. Statens väg- och trafikinstitut. Linköping. 105 pp. + 5 bilag.
- Öberg, G. (1994) (Ed.) Effekter av saltning och punktsaltning på gator. TemaNord 1994:511. Nordisk Ministerråd. København. 76 pp + 13 bilag.
- Zelazny, L.W.; Blaser R.E. & R.E. Hanes (1970) Effects of De-icing salts on Roadside Soils and and Vegetation. Highway Research Record, 335, 9-12.
- Zimny, H. & D. Zukowska-Wieszczeck (1989) Physiological consequence of the noxious influence of urban agglomerations on trees. Annals of Warsaw Agricultural University - SGGW-AR, Horticulture No. 15:43-47.
- Zolg, M & Bornkamm H. (1983) Über die Auswirkung von Streusalz auf die Alterung der Blätter verschiedener Strassenbaumarten. Flora, 174, 377-404.