

# Saltsprederes præcision

Vejsalt er et fremmed stof i naturen. Dets brug skal begrænses til det, der netop er nødvendigt for at imødegå glat føre. Alt herudover er spild. Derfor skal saltet spredes præcist, så det gør nytte. Men hvad er præcision ved spredning af vejsalt? hvordan udtrykkes præcisionen? ... og hvilken præcision kan saltspredere leverer?

Lars Bolet, lektor, Aalborg Universitet  
bolet@plan.aau.dk.

Jens Kr. Fønnesbech, AIBAN Vinterservice  
jkr@aiban.dk.

## Introduktion

Vejfolk har for længst erkendt, at salt og andre glatførebekæmpelsesmidler alene skal anvendes i det omfang, det er påkrævet for at forebygge eller bekæmpe glat føre.

Noget salt ender allerede ved spredningen uden for kørebanen. Det kommer aldrig til at gøre nytte i vintertjenesten. Noget salt vil blive slynget væk fra kørebanen, når trafikken passerer. Herefter ophører dets nytte. Det øvrige vil bidrage med at smelte sne og is. Det vil sammen med smeltevandet danne en lage, der siver ned i vejens omgivelser eller samles op af vejens afvandingsystem.

Vejsalt, der spredes, ender således før eller siden i miljøet, som en belastning for bl.a. beplantning og grundvand.

Derfor er udfordringen at sprede den rette mængde salt på det rette tidspunkt og med den rette fordeling over tværsnittet.

## Fyns Amts Vejevæsens testmålinger

Da vi i det daværende Fyns Amts Vejevæsen traf beslutning om at overgå til alene at bruge saltlage til glatførebekæmpelsen på de fynske landeveje, havde vi gennemført en sekvens af testmålinger og forsøg med spredning, såvel af befugtet salt som af saltlage.

Testmålingerne blev udført på en trafikeret vej i 2004 og 2005. Vi spredte kl. 6 om morgenen på en sommer- eller efterårs-hverdag, og vi målte i tidsrummet 8-10, så trafikken havde fordelt saltet på en naturlig måde. En testmåling angik én saltspreders resultater i ti sektioner. Spredere var forinden kalibreret. Ved testen blev spredningen ændret fra sektion til sektion med hensyn til dosering og med hensyn til spredbredde.

I hver sektion målte vi koncentrationen af salt på tværs af vejen. Det skete med saltstokke (SOBO 20) i fem parallelle tværsnit med 2 m afstand. I hvert tværsnit målte vi i punkter med en indbyrdes afstand på 0,5 m; i alt målte vi 80 punkter i hver sektion.

Måleresultaterne sammenstillede vi i diagrammer; et for hver målesektion. Diagrammerne sammenholdt gennemsnittet af de fem målte tværsnit med den tilstræbte sprednings dosering og spredbredde, jævnfør figur 1.

Herefter kom den egentlige udfordring nemlig at vurdere de spredbilleder, der var opnået. De ti diagrammer, vi havde for hver testet saltspredere, viste oftest vidt forskellige afvigelser fra det tilstræbte. Sammenligning af vifterne af spredbilleder fra forskellige saltspredere gjorde det ikke altid lige oplagt at udpege den, der opnåede bedst resultat. Vi endte med at give spredbillederne en verbal bedømmelse baseret på en visuel vurdering. Bedømmelserne fremgår af rapporterne fra testmålingerne [1].

Diagrammerne, støttet af de verbale bedømmelser, var en acceptabel udgang til

vort formål. Men for en ingeniør var det hartad forunderligt ikke at få sat et kvantitativt udtryk på resultaterne.

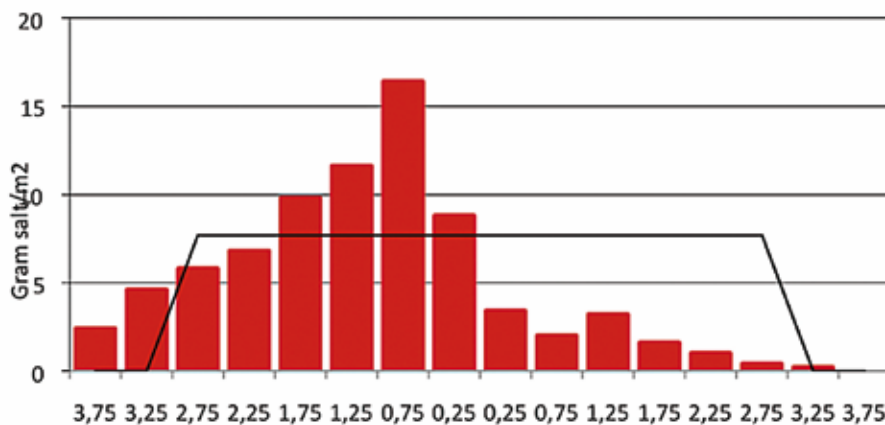
Samme anke kan rettes mod resultaterne af de målinger, der blev udført i Tirstrup Lufthavn i 2000 [2]. Og hagen hænger også ved resultaterne fra testmålingerne på Bygholm i 2008 [3].

I alle tre tilfælde ligger der et fyldigt resultat, som det er vanskeligt at få overblik over.

## Saltspildet ved én spredning

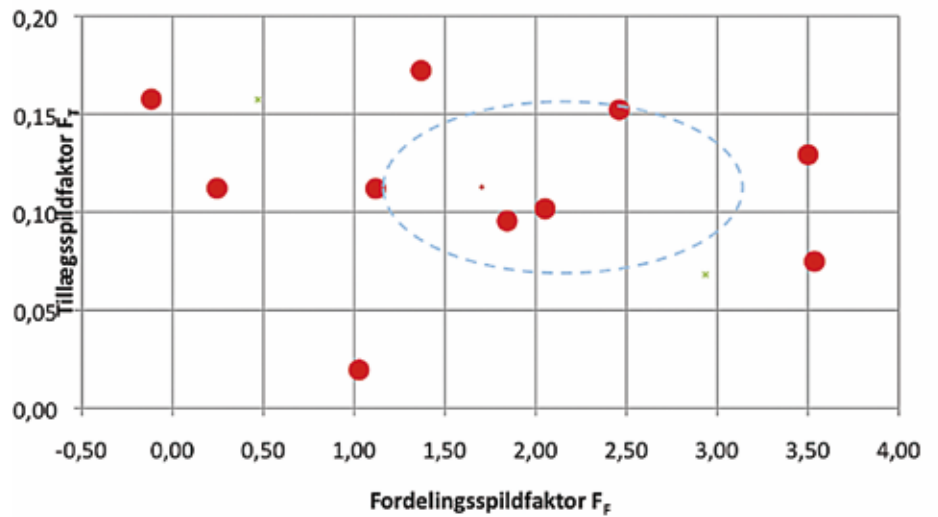
En måde at komme nærmere et udtryk for saltspredernes målte spredkvalitet er at se på, hvordan saltet fordeler sig i og uden for de to kørespor, der normalt indgår i målingerne.

I målingen på figur 1, optræder 1,93 g/m<sup>2</sup> salt i højre kørespor og 9,87 g/m<sup>2</sup> i venstre kørespor. Inden for den nærmeste meter fra køresporene er målt 0,1 henholdsvis 3,5 g/m. Antager vi, at den opnåede saltmængde i højre kørespor netop er tilstrækkelig, så betyder det, at vi har en overdosering på 7,94 g/m<sup>2</sup> i venstre kørespor. Da de to kørespor

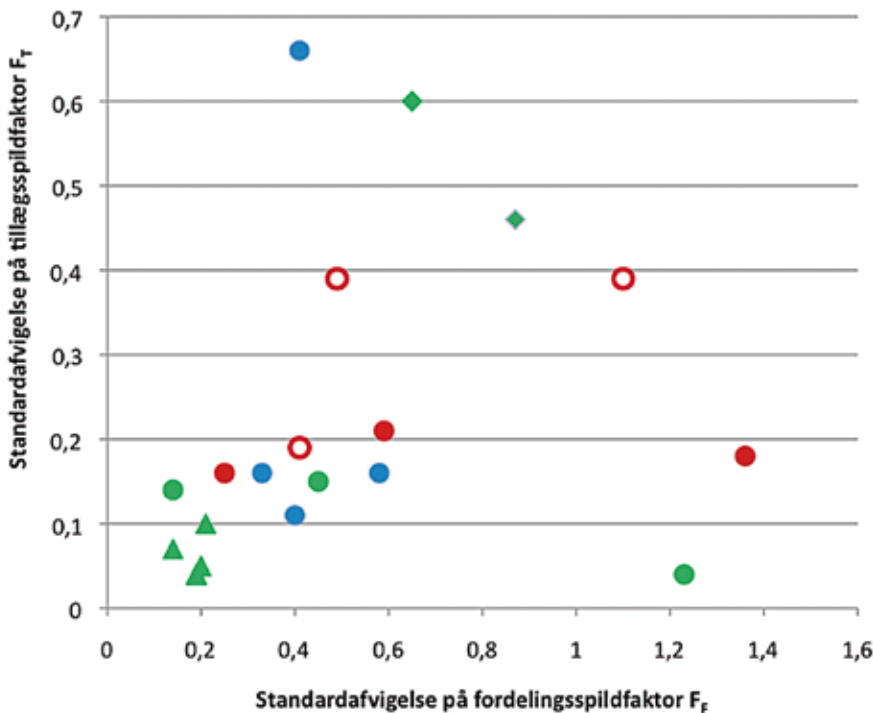


Figur 1. Målt spredemønster fra en tallerkenspredere. Der er tilstræbt 10 g befugtet salt (7,7 g ren NaCl) pr. m<sup>2</sup> over en 6,0 m bred del af kørebanen. Resultatet er ikke tilfredsstillende.

begge er 3,0 m brede, har vi altså udspreddt 23,82 g/m mere end den nødvendige saltmængde på køresporene. Det svarer til en fordelingspildfaktor på 2,05, eller at 67% af saltet på køresporene er spild. Hertil kommer den saltmængde, der er havnet uden for køresporene. Denne målte mængde, 3,6 g/m, svarer til en tillægsspildfaktor på 0,10, altså et spild på 10% ud over den mængde, der er spredt på køresporene. I alt har vi udspreddt mindst  $(1 + 2,05) \cdot (1 + 0,10) = 3,36$  gange den nødvendige mængde salt – mindst, fordi vi jo ikke ved, hvor meget salt, der ligger mere end 1 meter uden for køresporene.



Figur 2. Fordelingsspildfaktor og tillægsspildfaktor for de spredbilleder fremkommet for målinger af tallerkensprederen i figur 1. Ellipsen angiver én gang standardafvigelsen fra de målte spildfaktorerens middelværdier.



Figur 3. Standardafvigelser for fordelings- henholdsvis tillægsspildfaktorer for måleserier for forskellige saltspreder. Cirkel angiver tallerkenspreder, trekant dysepreder og rombe kombispreder. Grøn farve angiver målinger fra Fyns Amts forsøg, blå farve målinger fra Bygholm-forsøgene og rød farve målinger fra Tirstrup-målingerne – blandt sidstnævnte er SOBO 20-målinger vist med en fyldt cirkel og foto-baserede målinger med en åben cirkel.

### En spreders saltspild

Spildfaktorerne på 2,05 og 0,10 gælder alene for spredbilledet på figur 1. De 9 andre testmålinger, der er foretaget med samme saltspreder, giver andre spredbilleder, og andre tillægsspildfaktorer. Figur 2 illustrerer dette, jævnfør også [4] og [5].

På figur 2 viser absceisseaksen, hvor stor fordelingspildfaktoren er. Ordinataksen viser tillægsspildfaktoren. Værdierne fra de 10 målte testsituationer er plottet ind; hver situation med individuel dosering og spredbredde. Bemærk, at én af målingerne er angivet med negativ absceiseværdi. Det udtrykker, at i denne måling er det venstre kørespor, der har fået mindst salt. Det har betydning, når vi nedenfor ser på spredningens præcision.

Punktskyen på figur 2 er altså et billede af, hvordan spreders spild, udtrykt ved

spildfaktorerne, varierer i de 10 testsituationer. Ellipsen, der er tegnet ind på figuren, er en beskrivelse af denne variation. Ellipsens centrum ligger i middelværdierne af spildfaktorerne i de to akseretninger. Stor- og lilleakse svarer til standardafvigelserne på spildfaktorerne.

Spildellipsen kan anvendes til at vurdere spredningens kvalitet. Jo nærmere ellipsens centrum er på koordinatsystemets origo, des mindre er spildfaktorerne og dermed spildet i gennemsnit. Jo mindre ellipsens areal er, des større er præcisionen, dvs. des mere ensartet er spildet.

Placeringen af spildellipsens centrum beror på spreders kalibrering. I princippet kan man vægte de spredesituationer, som saltsprederen skal betjene på sine saltningsruter over en "normalvinter". Derudfra kan man fastlægge, hvordan spreders skal ka-

libreres for at sprede optimalt på ruterne. Herved minimerer man fordelingspildfaktorens systematiske bidrag til det akkumulerede saltspild.

I modsætning hertil er spredellipsens areal – altså spildfaktorerens spredninger i de to retninger – i højere grad et resultat af den teknologi, spreders betjener sig af. Arealet udtrykker præcisionen. Det kan, i et vist omfang mindskes ved kalibrering; men der vil være en grænse, hvor de tilfældigheder, som den anvendte teknik medfører, dominerer spredbilledet.

### Brug af spildellipsen

Man kunne forestille sig at inddrage spildellipsen ved tilrettelæggelsen af vintertjenesten. I så fald må vi betragte spredningens afvigelser fra det tilstræbte som resultatet af indbyrdes uafhængige, stokastiske variable.

Derved kan vi sikre os, at det er statistisk usandsynligt, at der spredes for lidt salt på mere end en ganske lille del af vejene.

Er afvigelse eksemplis normalfordelt med middelværdi  $\mu$  og spredning  $\sigma$ , vil man på 2% af vejnettet risikere undersalning, hvis sprederne indstilles til at dosere en mængde, der er  $\mu + 2 \cdot \sigma$  større end den nødvendige dosering. Øger man doseringen til  $\mu + 3 \cdot \sigma$  over den større dosering, så reducerer man andelen med undersalning til 1%.

Skifter man til en anden saltspreader, hvis afvigelser har halv så stor middelværdi, men samme spredning,  $\sigma$ , kan man reducere merdoseringen til  $\frac{1}{2} \cdot \mu + 3 \cdot \sigma$ , og stadig holde undersalningen på 1% af vejnettet. Kan man i stedet reducere spredningen til  $\frac{1}{3}$ , så kan man reducere merdoseringen til  $\mu + \sigma$ .

Bruger vi spildellipsen for vor spreder på figur 2 som eksempel, og ser vi alene på den betydning, som spredeskævheden inden for køresporerne har, er fordelingsspildfaktorens  $\mu$ - og  $\sigma$ -værdierne 1,70 henholdsvis 1,23. Det betyder, at vi skal arbejde med en fordelingsspildfaktor på 4,2, hvis kun 2% af vejnettet må undersaltes, og med en spildfaktor på 5,4, hvis kun 1% af vejnettet må undersaltes. Hertil kommer så, at der for sprederen i gennemsnit skal regnes med en tillægsspildfaktor med middelværdi (mindst) 0,11 og spredning 0,04 som følge af salt, der spredes uden for køresporerne.

Det er bestemt ikke givet, at forudsætningerne om indbyrdes uafhængighed og om normalfordeling holder vand. Men princippet i betragtningerne om de enkelte saltspreders evne til at levere med afvigelser med stor eller lille middelværdi og spredning er stadig gangbare: Saltforbruget i vintertjenesten kan reduceres ved at anvende sprederne, der spreder saltet uden store afvigelser.

### Sammenligning af saltspredere

Spildfaktorerne fra alle de spredningstest, Fyns Amts Vejevæsen udførte, er vist med grønne markeringer på figur 3. Værdierne for fordelingsspildfaktorerne er beregnet ud fra de testsituationer, hvor der er spredt i en bredde på mindst 4 m. Værdierne for tillægsspildfaktorerne er beregnet ud fra de situationer, hvor der er spredt i en bredde på højst 7 m.

Rombeformede markeringer er test fra kombispredere. Det ses, at deres spildfaktorer ligger markant højere end værdierne fra to ud af tre tallerkenspredere (cirkler) og fra alle dysespredere (trekanter). De målte dysespredere har meget lave standardafvigelser på værdier af såvel fordelings- som tillægsspildfaktorerne.

Måleresultaterne fra Tirstrup- og Bygholm-forsøgene er ligeledes vist på figur 3.

Tirstrup-forsøget omfattede tre tallerkenspredere, der blev bedømt med saltstokke (fyldte røde cirkler) såvel som ud fra fotografier (åbne røde cirkler). Fotobedømmelsen udviser langt større standardafvigelse end SOBO 20-målingerne.

Bygholm-målingerne (blå markeringer) omfattede fire tallerkenspredere, der alle viser lave standardafvigelser på fordelingsspildfaktoren. Et særligt forbehold, der knytter sig til Bygholm-målingerne er, at der kun er målt på én sprederindstilling (7 m bredde, asymmetrisk til venstre).

Ved tolkningen skal man være opmærksom på, at standardafvigelserne er sammensat af mindst fire bidrag:

- Måleudstyrets nøjagtighed
- Sprederens præcision, altså dens evne til at levere ensartede spredninger
- Variationen i sprederindstillinger (fx bør standardafvigelsen blive lille, når Bygholm-målingerne kun spredes med én indstilling)
- Usikkerhed med hensyn til, om chaufførerne under forsøgene får omstillet spredningen korrekt fra den ene tilstræbte sprederindstilling til den næste.

### Afslutning

Vintertjenestens hovedelementer er beredskabet og de egentlige indsatser.

Beredskabet handler om de ressourcer, der er til rådighed til driftsopgaven, og om de generelle planer og instruktioner, der er lagt og givet for opgavens udførelse. Her indgår allokering af materiel og bemanning til de enkelte ruter samt værktøjsrutiner, ruteplanlægning mv. Beredskabet afgør i høj grad, hvor godt og hvor præcist indsatsen kan udføres. Såvel valg af materiel som uddannelse af chauffører har betydning for det spredbillede og den præcision, som det er muligt at opnå.

Overvågningen, der resulterer i de enkelte udkald, er selvfølgelig centralt for, at den påkrævede ydelse leveres. Overvågningen understøttes af stedse bedre varslings-systemer, der giver støtte til beslutningerne om, hvorvidt der skal kaldes ud, og hvilken salt dosering, der skal tilstræbes.

Indsatsen under de enkelte udkald rummer afvigelser, der er knyttet til brug af en bestemt spreder med en bestemt chauffør på en bestemt strækning. Resultatet er ikke ens hver gang. Der vil være en stokastisk (tilfældig) afvigelse, fordi vind og vejr ikke er ens, og fordi der er forskelle i den trafik, chaufføren skal tage hensyn til. Spredbilledet vil også variere, når chaufføren manuelt skal tilpasse spredningen til ændringer i tværprofilen. Og det vil selvfølgelig ændre sig, hvis sprederen "springer" ud af sin kalibrering.

Nogle af de afvigelser, der optræder i de

enkelte indsatser, kan forebygges ved tilrettelæggelsen af beredskabet. Tæt, løbende kontrol af materiellets kalibrering reducerer antallet af udkald, hvor spredemønstret har systematiske afvigelser. GPS-styret spredning ad faste ruter sikrer mere ensartet omstilling, hvor tværprofilen ændrer bredde eller hældning – og tillader samtidig, at chaufføren kan koncentrere sig om selve kørslen.

Skal saltspildet i vintertjenesten bringes ned, så er det væsentligt at have opmærksomhed på, hvilken kvalitet, de sprederne, man anskaffer, kan udføre spredningerne med. Det gælder både ved indkøbet, og når sprederne indsættes i driften. Spredningsellipser kan blive et værktøj, man kan have glæde af ved bedømmelse af materiellet.

### Referencer:

- [1] Fyns Amts Vejevæsen saltspredningsmålinger – Set 21. sept. 2010 på [http://people.plan.aau.dk/~bolet/Fyns%20Amt%20-%20Salt/Bolet-Fyns\\_Amt-Salt.htm](http://people.plan.aau.dk/~bolet/Fyns%20Amt%20-%20Salt/Bolet-Fyns_Amt-Salt.htm)
- [2] F. Knudsen, K.N. Sørensen og M.M. Eram: Saltspredningsforsøg – Århus Lufthavn 20. – 23. juni 2000. Rapport 228. Vejdirektoratet 2001. Set 21. sept. 2010 på <http://www.vejdirektoratet.dk/pdf/salt/saltspredningsforsog.pdf>
- [3] Testresultater fra Bygholmforsøgene, september 2008 – Århus Universitet og Vejdirektoratet. Set 21. sept. 2010 på <http://www.vejsektoren.dk/imageblob/image.asp?objno=521013>
- [4] L. Bolet og J.K. Fønnesbech: Quality in Spreading – Reducing Impact on Environment by Addressing Precision in Distribution of Ice Control Agent Spreading Technologies. Paper presented at TRB's 89<sup>th</sup> Annual Meeting, January 2010, Washington DC.
- [5] L. Bolet og J.K. Fønnesbech: Ice Control with Brine Spread with Nozzles on Highways – Implementation of Brine Spreading Technologies in Denmark. Paper presented at PIARC's XIII<sup>th</sup> International Winter Road Congress, February 2010, Québec.

