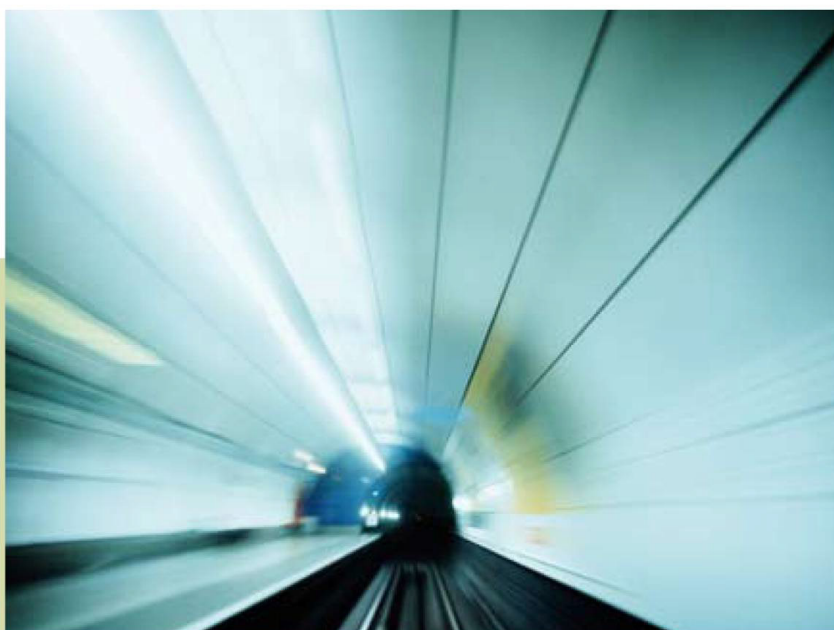
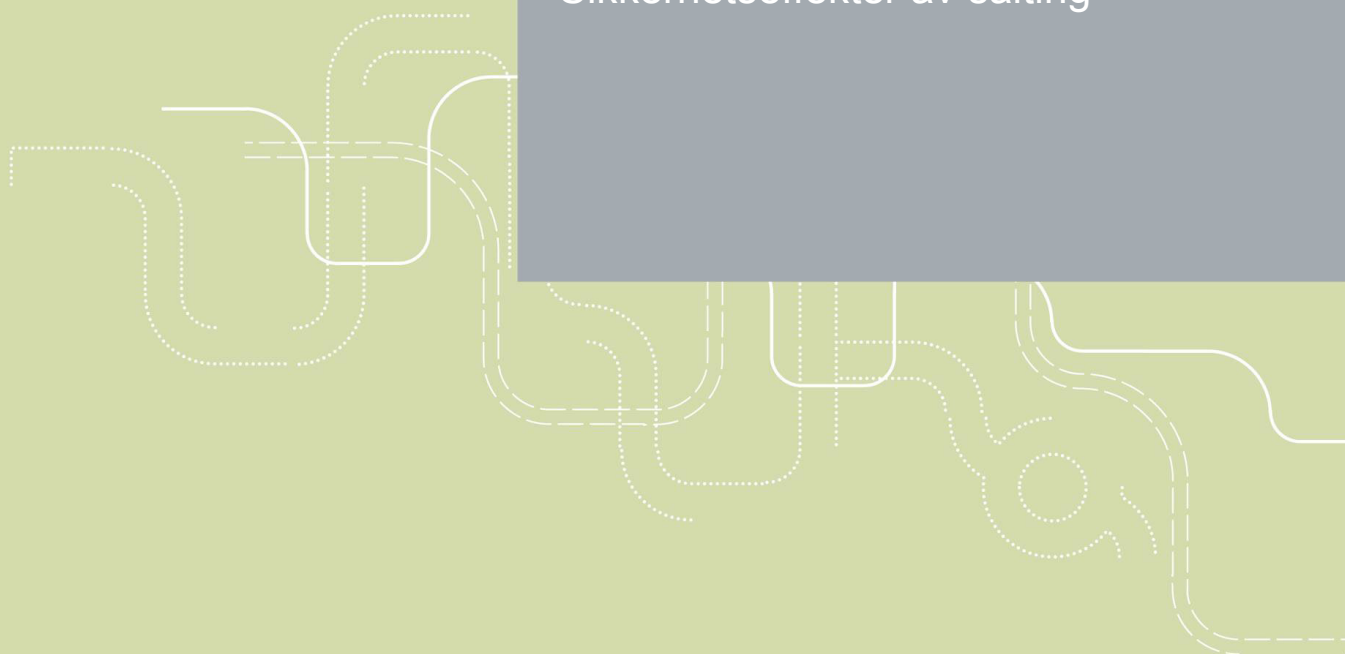




Sikkerhetseffekter av salting



Sikkerhetseffekter av salting

Torkel Bjørnskau

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

ISSN 0808-1190

ISBN 978-82-480-1304-4 Papirversjon

ISBN 978-82-480-1282-5 Elektronisk versjon

Oslo, desember 2011

Tittel: Sikkerhetseffekter av salting

Title: Safety effects of road salting in winter maintenance

Forfattere: Torkel Bjørnskau

Author(s): Torkel Bjørnskau

Dato: 12.2011

Date: 12.2011

TØI rapport: 1171/2011

TØI report: 1171/2011

Sider

Pages

ISBN Papir: 978-82-480-1304-4

ISBN Paper: 978-82-480-1304-4

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1282-5

ISBN Electronic: 978-82-480-1282-5

ISSN 0808-1190

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Statens vegvesen Vegdirektoratet

Financed by: The Norwegian Public Roads Administration

Prosjekt: 1175 - Revisjon av trafiksikkerhetshåndboka

Project: 1175 - Revisjon av trafiksikkerhetshåndboka

Prosjektleder: Alena Høye

Project manager: Alena Høye

Kvalitetsansvarlig: Rune Elvik

Quality manager: Rune Elvik

Emneord: Litteraturstudie
Trafiksikkerhet
Vintervedlikehold

Key words: Literature study
Winter road maintenance
Road safety

Sammendrag:

Salting benyttes for å fjerne is og snø i veibanen, slik at friksjonen forbedres og framkommeligheten og trafiksikkerheten øker. Salt har negative miljøkonsekvenser, og det er derfor viktig at sikkerhetseffekten er godt dokumentert. Mange undersøkelser fra Norge, Norden og Nord-Amerika tyder på at salting har ulykkesreducerende effekter. Eldre undersøkelser viser større effekter enn nyere undersøkelser. Sikkerhetseffekten av salting og bedre friksjon er større for materiellskadeulykker enn for alvorlige personskadeulykker, noe som skyldes at forbedret friksjon også gir økt fart. Flere undersøkelser finner at risikøkningen på is og snø er større når slike føreforhold opptrer sjeldent. En står derfor overfor to avveinings spørsmål når det gjelder sikkerhetseffekten av salting: a) hvor mye øker risikoen på den delen av veinettet som fremdeles har snø og is etter salting, og b) kan fartsøkningen pga. salting og bedre friksjon føre til at de mest alvorlige ulykkene med drepte og hardt skadde øker? Norske undersøkelser av effekten av salting er gamle. Det er behov for å oppdatere kunnskapen på området og å avklare avveiningsproblemene knyttet til bruken av salt.

Summary:

Road salt is used in Norway to improve safety by increasing friction on icy roads. Given the adverse environmental effects of using road salt, it is important to ascertain that the assumed safety effects are realised. Many studies both from Northern Europe and North America indicate that road salting reduces the number of accidents, but the reported effects are larger in older studies. The effects are also greater for less serious accidents (material damage) than for accidents with personal injury. The use of road salt should also be contingent upon important contextual factors. For instance, the increase in accident risk when driving on snow or ice-covered roads is greater in those areas where such driving conditions are encountered less often. Furthermore, road salting leads to better friction and thus increased speed. One is therefore faced with two optimization issues: a) what is the increase in risk on the remaining or surrounding unsalted snow or ice-covered roads when salt has been used on parts of the road network, and b) does the speed increase from road salting increase the number of more serious road accidents? Norwegian studies of the effects of road salting are old and need updating, not least to account for the above optimization issues.

Language of report: Norwegian

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Denne rapporten oppsummerer hva forskningslitteraturen sier om sikkerhetseffekter av veisalting og annet vintervedlikehold. Rapporten inngår som en del av den kontinuerlige revisjonen av Trafikksikkerhetshåndboka og er finansiert av Statens vegvesen. Arild Ragnøy har vært Statens vegvesens kontaktperson i prosjektet.

Ved TØI har Torkel Bjørnskau gått gjennom foreliggende forskningslitteratur og skrevet rapporten. Trude Rømme har tilrettelagt rapporten for trykking, og Rune Elvik har stått for kvalitetssikringen.

Oslo, desember 2011
Transportøkonomisk institutt

Lasse Fridstrøm
instituttssjef

Rune Elvik
forskningsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

1 Innledning	1
2 Problemstilling	2
3 Metode	6
4 Resultater	7
4.1 Friksjon, fart og ulykker	7
4.2 Ulykkestyper og skadegrad	12
4.3 Salting og sikkerhet	14
4.3.1 SINTEFS undersøkelser av salting	14
4.3.2 Andre studier av effekt av salting	19
4.3.3 Samlet effekt av salting	22
4.4 Avveiningsproblemer i vintervedlikeholdet	23
4.4.1 Optimist- og pessimistmodellen	23
4.4.2 God friksjon gir mer alvorlige ulykker	25
4.4.3 Fartsgrensene påvirker effekten av salting	26
5 Drøfting og konklusjon	27
5.1 Hvor sikre er resultatene fra tidligere?	28
5.2 Behov for nye undersøkelser	29
5.2.1 Utviklingen over tid	29
5.2.2 Ulike effekter i forskjellige klimasoner	29
5.2.3 Nullvisjonens fokus på alvorlige ulykker	30
5.2.4 Informasjon og atferdstilpasninger	30
5.2.5 Avanserte førerstøttesystemer (ESP) og isvarsling	31
5.2.6 Ny Håndbok 111 om drift og vedlikehold av veinettet	31
5.2.7 Forslag til nye undersøkelser	31
5.3 Konklusjon	32
6 Referanser	34
Vedlegg: Oversikt over viktige undersøkelser	41

Sammendrag:

Sikkerhetseffekter av salting

TØI rapport 1171/2011
Forfatter: Torkel Bjørnskau
Oslo 2011 52 sider

Salting av veibanen benyttes for å fjerne is og snø, slik at friksjonen forbedres og sikkerheten i trafikken øker. Samtidig har salting en rekke negative miljøeffekter, og det er derfor avgjørende at den antatte sikkerhetseffekten faktisk er til stede. De fleste undersøkelser som er gjort av sikkerhetseffektene av salting viser at ulykkestallene reduseres ved bruk av salt. Eldre undersøkelser viser større effekter enn nyere undersøkelser. Effektene varierer også mellom klimasoner; salting er mindre effektivt i områder med stabilt kaldt vintervær. Flere undersøkelser finner at risikoøkningen på is og snø er større når slike førerforhold opptrer sjeldent. Effekten av salting er svakere på de mest alvorlige ulykkene med drepte eller hardt skadde, noe som skyldes at farten øker når friksjonen forbedres. Selv om de fleste undersøkelser finner gunstige sikkerhetseffekter av salting også på alvorlige ulykker, er det enkelte undersøkelser som finner det motsatte i områder med stabilt kaldt vinterføre.

Friksjon, fart og ulykker

Sammenhengen mellom friksjon og ulykker er generelt meget godt dokumentert. Norske og utenlandske undersøkelser viser en klar og entydig sammenheng mellom veidekkets friksjon og ulykkesrisiko; tørr bar vei har best friksjon og lavest ulykkesrisiko, deretter følger våt bar vei, mens vinterføre har dårligst friksjon og høyest risiko.

Samtidig er det også en klar tendens til at vinterføre med dårlig friksjon fører til lavere fart. Norske studier tyder på at snødekt vei reduserer farten med 5-15 km/t sammenlignet med bar vei. Svenske studier finner generelt noe større fartstilpasninger, noe som kan skyldes at fartsgrensene tradisjonelt har vært høyere i Sverige. Dermed er farten på bar vei i mindre grad styrt av fartsgrensene i Sverige enn i Norge, noe som fører til at forskjellene i fart mellom bar vei og snødekt vei også blir større.

Når farten reduseres på vinterføre, innebærer det at ulykkene som skjer i gjennomsnitt vil være mindre alvorlige enn ulykker på bar vei i høyere fart. Det innebærer at snø og is fører til at de minst alvorlige ulykkene (med bare materielle skader) øker langt mer enn alvorligere ulykker med personskade. Dette er også godt dokumentert i forskningslitteraturen. Enkelte studier finner at personskadeulykker ikke øker med snøfall og vinterføre, og noen studier finner også at antall dødsulykker går ned. Andre studier finner at også alvorlige ulykker øker på vinterføre om enn ikke så mye som mindre alvorlige ulykker. Generelt viser forskningslitteraturen en nokså klar tendens til at alvorlighetsgraden ved ulykker går ned når det er snøfall og vinterføre.

Salting og sikkerhet

I og med den klare sammenhengen mellom vinterføre, friksjon og ulykker, er det åpenbart et stort sikkerhetspotensial ved å fjerne is og snø fra veidekket, for å bedre friksjonen. Salting er et effektivt virkemiddel, så fremt det ikke benyttes ved for kaldt vær eller ved kraftig snøfall. Norske, nordiske og nordamerikanske undersøkelser viser gjennomgående at salting har gunstige sikkerhetseffekter. Eldre undersøkelser gir bedre effekter enn nyere undersøkelser.

Mange av undersøkelsene har imidlertid metodesvakheter. Det skyldes ofte at en har beregnet effekten ved å sammenligne antall ulykker på strekninger som saltes med strekninger som ikke saltes uten tilstrekkelig kontroll for andre forskjeller mellom strekningene. Det er gjennomgående strekninger med god kvalitet og høy trafikk (hovedveinettet) som saltes, og dermed kan noe av effektene som tilskrives salting være utslag av andre forskjeller mellom forsøks- og kontrollstrekninger.

Mange undersøkelser differensierer ikke mellom ulykkenes alvorlighetsgrad når effektene estimeres. Det er uheldig, for i og med at salting gir bedre friksjon og dermed høyere fart, er det grunn til å anta at effekten kan være mindre gunstig på alvorlige ulykker enn på ulykker med bare materielle skader. Dette er også dokumentert i studier som skiller mellom ulykkers alvorlighetsgrad. Enkelte studier finner ikke gunstige sikkerhetseffekter av salting når effekten måles mot de mest alvorlige ulykkene med drepte eller hardt skadde.

Både svenske og enkelte norske og finske studier finner at risikoen ved å kjøre på snø og is er høyere i områder og perioder der dette forekommer sjeldent. Det innebærer at salting, som fører til at mer av trafikken foregår på bar vei, kan ha som utilsiktet konsekvens at strekninger som ikke saltes, eller der saltingen ikke fjerner snø og is, får høyere risiko. En nylig gjennomført analyse av alvorlige ulykker fra Nord-Sverige kan tyde på at dersom vintervedlikeholdet fører til en trafikkfordeling der 20-30% foregår på snø og is, vil antall alvorlige ulykker være høyere enn om større andeler av trafikken skjer på snø og is.

Enkelte nyere undersøkelser finner at sikkerhetseffekten av salting varierer og i enkelte tilfeller ikke er til stede. Mange studier tyder på at effekten varierer med hvor vanlig vinterføre er. Det er derfor vanskelig å gi noe generelt, entydig svar på hva sikkerhetseffekten av salting er; det kommer an på hvor vanlig vinterføre er, på hva slags typer ulykker man studerer og på hva slags føreforhold det er når salt anvendes.

Avveiningsproblemer i vintervedlikeholdet

Det er to svært viktige forhold som nøye må vurderes for at vintervedlikeholdet skal ha best mulig sikkerhetseffekt. Det dreier seg for det første om at bedre friksjon gir økt fart, og for det andre om at risikoen øker på snø og is når dette opptrer sjeldent. Dette skaper to viktige avveiningsproblemer når det gjelder sikkerhetseffektene av salting.

Det første avveiningsproblemet dreier seg om at når bedre friksjon fører til økt fart følger det at ulykkene som skjer, blir mer alvorlige. Statens vegvesens

målsetninger for trafikksikkerheten i Norge tar utgangspunkt i at det først og fremst er alvorlige ulykker der mennesker omkommer eller blir hardt skadet, som man skal arbeide for å unngå. Tiltak som gir bedre friksjon vil generelt gi færre ulykker, men samtidig kan antallet alvorlige ulykker øke fordi farten øker. Det innebærer at det ikke nødvendigvis er optimalt for trafikksikkerheten med mest mulig bar vei. Dersom salting fører til 5-10 km/t fartsøkning, vil økningen i alvorlige ulykker langt på vei spise opp den gunstige effekten av bedret friksjon. For at salting skal være regningssvarende må enten ulykkesreduksjonen være større, og/eller man må ha støttetiltak som reduserer fartsøkningen.

Fartsgrenser er et opplagt tiltak som begrenser fartsøkningen pga. bedre friksjon. Dette kan være en viktig grunn til at salting ikke har gitt de tilsktede effektene i nordre Nord-Sverige; her har fartsgrensene tradisjonelt vært høyere enn i andre deler av Sverige. Også enkelte tidlige nordiske undersøkelser av effektene av salting på veier uten fartsgrenser finner at salting ikke reduserer antall ulykker. Grunnen er sannsynligvis at den bedre friksjonen tas helt ut i form av økt fart. Fartsregulerende tiltak er derfor viktige for at den gunstige effekten på friksjon skal realiseres i form av bedre trafikksikkerhet.

Det andre avveiningsproblemet tar utgangspunkt i studier som viser at risikoen ved å kjøre på snø og is er høyere i perioder og områder der dette forekommer sjeldent. Gitt at dette er korrekt, følger det at et vintervedlikehold som fjerner snø og is fra deler av veinettet vil føre til at risikoen på det tidsrommet og på den delen av veinettet som fremdeles har snø og is, vil øke. Man må derfor veie risikoøkningen på snø og is mot risikoreduksjonen ved at deler av veinettet blir bart gjennom vintervedlikeholdet. Analyser basert på svenske data tyder på at det er bestemte terskelverdier (20-30% trafikk på snø/is) som er mest uheldig fra et sikkerhetssynspunkt, og det er dermed viktig å unngå at vintervedlikeholdet resulterer i slike fordelinger.

Behov for nye undersøkelser

Det er store utfordringer knyttet til å undersøke effekten av salting og andre typer vintervedlikehold. Litteraturgjennomgangen viser også store variasjoner i resultatene. Norske undersøkelser finner opp til 26 prosent ulykkesreduksjon av å salte veinettet om vinteren, mens undersøkelser fra Nord-Sverige tyder på at salting kan øke risikoen for alvorlige personskadeulykker.

Det er mange grunner til at man nå bør vurdere å gjennomføre nye norske undersøkelser av sammenhengene mellom vintervedlikehold, friksjon, fart og ulykker. Det er en rekke forhold som gjør at resultatene fra de tidligere undersøkelsene muligens ikke lenger er gyldige.

Mange undersøkelser som oppsummerer kunnskapen om sammenhengene mellom vintervedlikehold, friksjon, fart og ulykker, peker på at effektene jevnt over synes å bli redusert over tid. Det gjelder både effektene av dårlig friksjon og av tiltak for å bedre friksjonen. Dette er i seg selv en viktig grunn til at disse sammenhengene bør undersøkes på nytt i Norge. De fleste norske studiene som har studert effektene av friksjon og vintervedlikehold på ulykker stammer fra 1990-tallet.

Moderne biler har en rekke førerstøttesystemer, som stabilitetskontroll, blokkeringsfrie bremses, temperaturvarsling osv., som sannsynligvis påvirker

trafikantenes tilpasninger til ulike føreforhold. Slike tilpasninger er helt avgjørende for hvordan friksjonstiltak som salting vil virke, men vi vet lite om hvordan slike førerstøttesystemer virker på trafikantenes atferd.

Vintervedlikeholdet er endret både teknisk og organisasjonsmessig. Man har bedre vedlikeholdsmetoder til rådighet i dag, samtidig som den faktiske driften er konkurranseutsatt til underleverandører av vedlikeholdstjenester. Statens vegvesens forskningsprosjekt "SaltSmart" har identifisert en rekke forbedringsmuligheter i vintervedlikeholdet, og det er også nylig kommet en revidert Håndbok (111) for drift og vedlikehold.

Både endringer i bilparken og endringer i vintervedlikeholdet tilsier at det er behov for nye undersøkelser av sikkerhetseffekten av vintervedlikeholdet i Norge. Med Nullvisjonen som grunnlag for trafikksikkerhetsarbeidet i Norge er det i tillegg viktig å få klarlagt hvordan effekten er på de mest alvorlige ulykkene. Det er ikke tidligere gjennomført analyser av vintervedlikeholdet på alvorlige ulykker i Norge. De studiene som har vært gjort, har alle benyttet alle personskadeulykker i analysen av effekt på ulykker.

Vi foreslår at man gjennomfører aggregerte undersøkelser basert på lignende metoder som er benyttet tidligere med sammenligninger av ulykkesrisiko på saltet og usaltet veinett. I tillegg vil det være svært interessant å gjennomføre forsøk i mindre skala med ulike former for vintervedlikehold kombinert med informasjon om vær og føre og eventuelt med friksjonstilpassede fartsgrenser. Et slikt forsøk bør kombineres med veikantintervjuer av trafikantene der en rekke variabler registreres. Det kan også være aktuelt å gjennomføre forsøk i avgrensede geografiske områder der en implementerer vintervedlikehold basert på den mest oppdaterte kunnskapen en i dag har.

Summary:

Safety effects of road salting in winter road maintenance

TØI Report 1171/2011

Author: Torkel Bjørnskau

Oslo 2011, 52 pages Norwegian language

Road salt is used in Norway to improve safety by increasing friction on icy roads. Given the adverse environmental effects of using road salt, it is important to know that the assumed safety effects are realised. Many studies both from Northern Europe and North America indicate that road salting reduces the number of accidents, but the reported effects are larger in older studies. The effects are also greater for less serious accidents (material damage) than for accidents with personal injury. The use of road salt should also be informed by important contextual factors. For instance, the increase in accident risk when driving on snow or ice-covered roads is greater in those areas where such driving conditions are encountered less often. Furthermore, road salting leads to better friction and thus increased speed. One is therefore faced with two optimization issues: a) what is the increase in risk on the remaining or surrounding unsalted snow or ice-covered roads when salt has been used on parts of the road network, and b) does the speed increase from road salting increase the number of more serious road accidents? Norwegian studies of the effects of road salting are old and need updating, not least to account for the above optimization issues.

Friction, speed and accidents

The association between road friction and accidents is generally well documented in the international research literature – the poorer the friction, the higher the rate of accidents. Dry bare roads have better friction and lower accident rates than wet bare roads, and wet bare roads have better friction and lower accident rates than snow or ice-covered roads.

There is also a well documented tendency of road users adapting their driving behaviour to suit different road conditions. On winter roads with ice or snow, car drivers generally maintain a lower speed than they do on dry bare roads. Studies indicate that speeds are less by between 5 and 15 km/h on snow or ice-covered roads in Norway, and even more in Sweden, where one reason could be the higher speed limits in general, and where speeds on dry bare roads are less restricted by speed limits. Thus the speed differences between driving on dry bare roads and driving on snow or ice-covered roads are greater in Sweden than in Norway.

Accidents on winter roads where speed levels are restricted will on average be less serious than accidents on dry bare roads where speeds are higher. Accordingly, and well documented in the research literature, with snow and ice on the roads there is a much greater increase in the number of less serious accidents (with only material damage) than serious ones (involving fatality or serious injury).

Some studies have found that accidents involving personal injury do not increase with snowfall and winter conditions; some even show that fatal accidents are reduced on winter roads. Other studies find that serious accidents do increase when there is snow or ice on the roads, but that less serious accidents increase even more. In general, the research literature documents a rather clear tendency of snow and icy conditions reducing the severity level of accidents.

Road salt and safety

Given the clear association between winter road conditions, road friction and accident rates, the potential gain in the degree of safety from removing ice and snow from road surfaces is significant. Salting is a very effective deicing measure when applied at temperatures close to 0°C but not during or after a heavy snow fall. According to the international research literature, salting reduces road accidents in winter, with older studies documenting better effects than more recent studies.

There are methodological weaknesses with many of these studies, however, the most typical being salted roads compared with non-salted roads without controlling for other variables that might have a bearing on the number of accidents. Typically, salted roads carry much more traffic than non-salted roads and high traffic volumes will contribute to dissipating ice and snow as well as reducing speed. Thus, some of the effects attributed to road salting can be a result of other differences between salted and non-salted roads.

Many studies do not take into account the degree of severity of an accident when estimating the effect of road salting. This is unfortunate given the association between friction, speed and collision impact. Road salting increases speed, and thus the favorable effect this has on accidents will be that much less when one looks at the effects on the more serious accidents involving fatality and serious injury.

Swedish studies as well as some Norwegian and Finnish studies document that the risk of an accident while driving on snow or ice-covered roads is greater the less frequent these conditions are met. An important consequence is that road salting, which removes ice and snow from large parts of the road network, may lead to an unforeseen increased risk on parts of the road network where ice and snow are not removed. A recent study from Northern Sweden indicates that if winter road maintenance results in traffic distributions of 20-30 per cent on snow or ice, the number of serious accidents may in fact be higher than it would be if larger volumes of the traffic were on snow or ice.

Recent studies document that the effects of road salting on safety vary, and are under some conditions even absent. It is difficult to estimate the safety effect of road salting, because this depends on: how familiar road users are with winter conditions, the severity of the accidents studied and on how the conditions are before salt is applied.

Optimization problems in winter road maintenance

There are two important optimization issues that need to be addressed if good safety effects of winter road maintenance are to be achieved. The first concerns road salt improving road friction and resulting in higher speeds and more severe accidents when they occur. The second concerns the risk of driving on ice or snow increasing when such conditions are rare.

In Norway the goal for road safety is based on Vision Zero, which states that the ultimate vision for road safety is to reduce to zero the number of road accidents involving fatality and very serious injury. Thus the goal is about the most serious accidents. Safety measures that include improving road friction, increase speed and may be counter-productive given such safety goals. If road salting increases speed by 5-10 km/h, the number of serious accidents can be expected to increase and more or less nullify the favorable effect of improved road friction. It is thus important that friction measures are bolstered by speed limits and controls to restrict the increase in speed.

Controlling speed by introducing limits is a very obvious measure by which to restrict speed and avoid road users' speed adaptation. One important reason why road salting has not had the same favorable effects in Northern Sweden as elsewhere might be the fact that, traditionally, speed limits have been higher in Northern Sweden than in other parts of the country. The importance of speed control in achieving the desired effect of road salting has also been documented in some older Nordic studies. In Finland, on roads with no speed limits, a study found no safety effect of road salting, the likely reason being that drivers increased their speed so much that there were no safety effects left. Speed control is vital if road friction measures are to improve safety – and not just increase speed. The second optimization problem concerns the fact that the safety risk with driving on snow or ice-covered roads is greater the less frequently drivers meet such conditions. Given that this is correct, it follows that road salting may increase risk levels on parts of the road network where ice and snow are not removed. As already mentioned, a recent study based on Swedish data indicates that having 20-30% of road traffic on snow or ice is worse than having either more on bare roads (better friction improves safety) or more of the traffic on snow or ice (road users' expectations of winter conditions improve safety). Accordingly, road maintenance practices resulting in such traffic distributions between snow and ice-covered roads and bare roads should be avoided.

The need for new studies

There are a number of challenges when studying the effects that road salting and other forms of winter road maintenance have on safety. A review of the literature reveals a large variation in estimates. Norwegian studies document up to 26% accident reduction when road salt is applied on winter roads, whereas some results from Northern Sweden indicate that, under certain conditions, road salting may increase the number of serious accidents.

The large variation in estimates is one of several reasons why there is a need for new studies into the association between winter road maintenance, road friction,

speed and accidents. There are several factors indicating that earlier results may no longer be valid.

Many studies summing up the associations between winter road maintenance, road friction, speed and accidents reveal that the effects on safety of low road friction and friction control seem reduced over time. Older studies report better safety effects than more recent studies. Based on accident data from the 1990s, Norwegian studies of these associations are all fairly old.

Modern cars are equipped with advanced driver assistance systems, e.g. electronic stability control, anti-lock braking systems, ice warning systems, etc., which probably influence a car driver's adaptation to different road surfaces. Drivers' adaptations are important for how friction control measures work, but there is currently very little knowledge of how drivers adapt to these new advanced driver assistance systems.

Winter road maintenance practices have changed radically during recent years in Norway, with respect to both organization and methods. Winter road maintenance techniques have improved, and specific winter maintenance is put out to sub-contractors. The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) has carried out an extensive research programme "SaltSmart" identifying a number of potential improvements in the winter maintenance of roads and has recently published a revised handbook on road maintenance (No. 111).

Changes in the car fleet and in the winter maintenance of roads suggest that there is a need for new studies on road safety effects of winter maintenance in Norway. With Vision Zero as the basis for road safety, it is important to clarify the effects in the most serious accidents. The winter maintenance of roads and serious accidents have not been adequately analysed in Norway..

We suggest conducting aggregate studies based on methods similar to those used previously, i.e. comparing between accident rates on salted and unsalted roads. In addition, it would be interesting to conduct experiments on a smaller scale on roads with various forms of winter maintenance combined with information on weather and road conditions and possibly by varying speed limits in accordance with road conditions. This could be combined with road-side interviews of drivers and a number of variables recorded. It ought also to be possible to conduct experiments in limited geographic areas and to implement advanced winter maintenance practices based on currently available knowledge.

1 Innledning

Dette dokumentet er en del av den løpende revisjonen av TS-håndboka som gir en oversikt over sikkerhetseffektene av en rekke ulike trafikksikkerhetstiltak (Elvik mfl. 2009). Vintervedlikehold med salting er ett av tiltakene som beskrives i TS-håndboka. Kapitlet ble revidert i 2010/2011 (<http://tsh.toi.no/index.html?21972>), men i og med de mange uheldige miljøkonsekvensene av salting som er avdekket de senere år kombinert med en overraskende sterk økning i saltforbruket, ønsker Statens vegvesen en noe mer omfattende gjennomgang og drøfting av sikkerhetseffektene av bruken av veisalt.

Salting av veibanen benyttes i stor utstrekning for å forhindre is og snø i veibanen slik at friksjonen forbedres og framkommeligheten og trafikksikkerheten øker. Samtidig har salting en rekke negative miljøeffekter, og det er derfor avgjørende at de antatt gunstige effektene på framkommelighet og sikkerhet faktisk er til stede.

I dette dokumentet blir det gjort rede for hva ulike undersøkelser viser når det gjelder sikkerhetseffekter av salting. Vi har gjennomført litteratursøk i de store forskningslitteraturbasene som BIBSYS, ISI, Science Direct, Google Scholar samt i TØIs og VTIs litteraturbaser. Det finnes svært mye litteratur om kjemisk vintervedlikehold, og vi har begrenset søket til litteratur som omhandler sikkerhetseffekter og til perioden etter 1994. Tidligere litteratur er også relevant, men den er forholdsvis godt dekket i Trafikksikkerhetshåndbokas referanser når det gjelder effekter av vintervedlikehold.

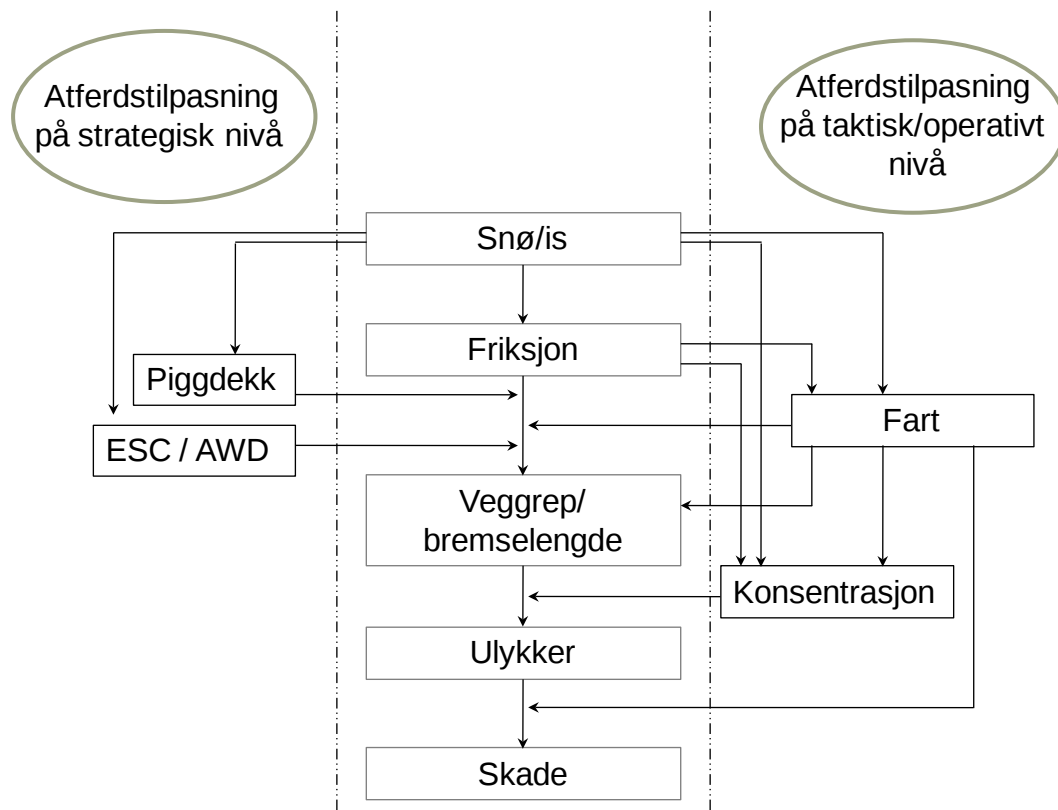
Vi har i gjennomgangen særlig lagt vekt på nordiske studier (Sverige, Finland, Norge) ut fra en antakelse om at både vær- og førerforholdene vinterstid er sammenlignbare og at trafikkmiljøene generelt er nokså like, men det finnes også mange nordamerikanske studier som er relevante og som vi har referert til.

2 Problemstilling

I utgangspunktet kan man tenke seg at salting øker sikkerheten ved at veidekkets friksjon forbedres og reduserer stopplengden ved bremsing. Teoretisk er dette en opplagt sammenheng, men i praksis er effekten på sikkerhet langt mer usikker fordi trafikantene tilpasser atferden til veidekkets friksjon.

Det er generelt godt dokumentert at tiltak som isolert sett skulle redusere risikoen for ulykke, kan være gjenstand for atferdstilpasninger som i større eller mindre grad spiser opp denne effekten – for eksempel ved at folk kjører fortere, og/eller mindre konsentrert som følge av tiltaket (OECD 1990). Det er særlig ulykkesreduserende tiltak (friksjon, bremses, lys mv.) som er gjenstand for slike tilpasninger; skadereduserende tiltak (bilbelter, kollisjonsputer) er i langt mindre grad gjenstand for atferdstilpasning.

Salting av veibanen for å hindre/fjerne snø og is og dermed bedre friksjonen vil derfor typisk være et tiltak som fører til atferdstilpasning ved at folk kjører fortere eller mindre konsentrert. I tillegg er det grunn til å forvente atferdstilpasning også på et overordnet ”strategisk” nivå, ved at trafikantene velger bestemte typer bil og dekk ut fra forventninger om hvordan føreforholdene vil være der de skal kjøre. Dersom man forventer å kjøre mye på vinterføre, vil man for eksempel i større grad velge å utstyre bilen med piggdekk enn om man forventer å kjøre på bare veier. Figur 1 viser en modell for hvordan atferdstilpasninger til ulike føreforhold kan forekomme.



Figur 2.1. Modell for sammenheng mellom snø/is, friksjon, veggrep, ulykke og skade samt atferdstilpasning på strategisk og taktisk/operativt nivå.

Figur 2.1 viser en skjematisk modell for hvordan atferdstilpasning påvirker sammenhengene mellom snø/is, friksjon, veggrep, ulykker og skader. Vi har skilt mellom atferdstilpasning på såkalt "strategisk nivå" dvs. tilpasninger som skjer før man er ute og kjører og atferdstilpasning på "operativt/taktisk nivå" dvs. underveis når man kjører. Det vil trolig være slik at i områder der det er mye snø og is vil folk i større grad kjøpe vinterdekk/piggdekk, og trolig også biler med firehjulstrekk og elektroniske stabilitets- og varslingsystemer. Slike tilpasninger på strategisk nivå fører til at den dårligere friksjonen på is og snø ikke svekker veggrepet eller øker bremselengden så mye som den ellers hadde gjort.

I tillegg er det godt dokumentert at folk også tilpasser seg til vanskelige kjøreforhold ved å utsette eller avlyse reiser (Bjørnskau og Fosser, 1996, Gabestad, Amundsen og Skarra 1988, Khattak og Knapp, 2001, Andrey mfl. 2001, Kilpeläinen og Summala 2007). Slike tilpasninger kan føre til at førerpopulasjonen på vinterføre er systematisk forskjellig fra førerpopulasjonen på tørr, bar vei. Bjørnskau og Fosser (1996) fant for eksempel at eldre bilførere systematisk unngikk å kjøre når det var mørkt, men turte å kjøre om kvelden når veien fikk veibelysning.

I tillegg skjer det atferdstilpasning på såkalt taktisk/operativt nivå, dvs. underveis når man kjører. Det er som nevnt to hovedformer for atferdstilpasninger som skjer underveis – endringer i fart og endringer i konsentrasjon (Bjørnskau og Fosser 1996, OECD 1990). Snø og is fører trolig til en nokså umiddelbar reaksjon i form av redusert fart og/eller økt oppmerksomhet. I tillegg kan det tenkes at når bilføreren merker at det er glatt, vil det føre til ytterligere tilpasninger i form av

reduisert fart og økt konsentrasjon. Slike fartstilpasninger fører til at bremselengdene ikke øker så mye som de ellers hadde gjort. Konsentrasjonen øker også, og effekten er trolig at man reagerer raskere på potensielle farer. Dermed manifesteres ikke den lengre bremselengden på grunn av dårligere friksjon nødvendigvis i form av økt ulykkesrisiko.

I tillegg til de to hovedformene for atferdstilpasning som er vist i modellen, er det også mer kompliserende faktorer som vil kunne spille inn som for eksempel at bilførere er ulike og tilpasser seg ulikt (jf. Morgan og Mannering, 2011). I følge The US National Transportation Safety Board er ulike tilpasninger den viktigste utløsende ulykkesårsak bak ulykker under dårlige siktforhold (Center for Urban Transportation Research, 1997).

På grunn av de store mulighetene trafikantene har for å tilpasse seg ulike føreforhold, er det i prinsippet et nokså åpent spørsmål om salting har den teoretisk forventede sikkerhetseffekten eller om den "spises opp" helt eller delvis av trafikantenes tilpasninger. Dersom trafikantene tilpasser seg perfekt, ved at de reduserer farten så mye på glatt føre at bremselengden ikke øker, vil ikke tiltak som bedrer friksjonen ha noen effekt. Det normale er imidlertid at trafikantene ikke tilpasser seg perfekt og at de fleste tiltak som bedrer friksjon, sikt osv. har ulykkesreducerende effekter, selv om atferdstilpasning skjer. Veibelysning har for eksempel en meget gunstig sikkerhetseffekt (Elvik mfl. 2009) samtidig som det er godt dokumentert at dette fører til både økt fart og redusert konsentrasjon (Assum mfl. 1999, Bjørnskau og Fosser 1996; Elvik mfl. 2009). Spørsmålet om atferdstilpasning (type og omfang) er dermed helt sentralt for å vurdere saltingens effekt på ulykkesrisikoen.

Et neste spørsmål er om atferdstilpasning fører til at de ulykkene som skjer blir mer alvorlige på grunn av tiltaket. Det skulle en forvente dersom atferdstilpasning til salting skjer i form av høyere fart. Elvik (2009) og Elvik, Christensen og Amundsen (2004) har beregnet effekter av endringer i fart på ulike typer ulykker og skader, basert på den såkalte "potens-modellen". I følge modellen er sammenhengen mellom fart og ulykker sterkere jo mer alvorlige ulykker man studerer, noe som også er logisk; kollisjonskreftene blir mye større i høy fart. Det kan imidlertid innebære at selv om salting forbedrer friksjonen og reduserer antall ulykker totalt, kan det tenkes at tiltaket fører til fartsøkninger som gjør at de mest alvorlige ulykkene ikke reduseres (like mye).

I teorien kan man tenke seg at dersom atferdstilpasningen ikke skjer i form av endret fart, men som endringer i konsentrasjonsnivå, kan man forvente at omfanget av ulykker endres avhengig av hvor stor atferdstilpasningen er, men at alvorlighetsgraden ikke endres.

I tillegg til at atferdstilpasning kan føre til at vintervedlikehold som salting ikke reduserer antall ulykker i den grad som endringene i friksjon skulle tilsi, kan også veisalting påvirke ulykkestallene på andre utilsiktede måter. Det har vært argumentert for at salting fører til at veien blir bar og dermed mørkere enn en usaltet vei og at dette kan være en risikofaktor. Det er mulig, men samtidig tyder undersøkelser på at lyse veidekker ikke er sikrere enn mørke (Amundsen 1983). Forklaringen kan være at førerne tilpasser seg til lyse veidekker i form av økt fart.

Det har vært argumentert med at salting kan ha negative effekter på tilstøtende strekninger som ikke saltes. Dette kan tenkes fordi noe av saltet fraktes med

kjøretøyene inn på usaltet strekning, men med mindre saltkonsentrasjon slik at det er en risiko for at saltet smelter snø som så fryser til is. Dette har vært undersøkt av Öberg (1994), men hun finner ikke empirisk støtte for at dette skjer.

I de senere år har man i Norge hatt store problemer med telehiv, også på nye veier. En mulig forklaring er at økt salting på vinterstid har ført til mer is-smelting og at vannet siver inn i veikroppen og skaper telehiv. Det kan bety at salting også kan ha en negativ sikkerhetseffekt gitt at ujevne veidekker øker risikoen for ulykker. En del undersøkelser tyder på at ujevne veidekker øker risikoen, mens andre undersøkelser tyder på det motsatte (Elvik mfl. 2009, Christensen og Ragnøy 2006).

Uansett hvilken betydning ujevne veidekker har for ulykkesrisiko, er dette aspektet viktig blant annet ut fra metodehensyn. En meget vanlig metode for å undersøke den ulykkesreduserende effekten av salting er å studere forholdet mellom antall ulykker på sommer- og vinterstid på veier som saltes og som ikke saltes. Dersom også ulykker på sommertid påvirkes av saltingen, blir en slik metode ikke valid.

Effektene av mørkere veidekke og telehiv vil ikke bli undersøkt i det følgende, og heller ikke miljøeffektene av tiltaket. Slike faktorer er imidlertid viktige for beslutninger om bruk av salt for vintervedlikeholdet, og de er blitt svært aktualisert på grunn sterk økning i bruken av salt de senere år med omfattende miljøskader som konsekvens. Statens vegvesens eget SaltSmart-prosjekt som ble avsluttet i 2011, konkluderer med at saltbruken de senere år har vært høyere enn optimalt, blant annet fordi salt har vært brukt ved for lave temperaturer mv. På forskningskonferansen under "Teknologidagene 2011" i Trondheim ble SaltSmart-prosjektet presentert. Her ble det dokumentert en kraftig økning i bruken av salt i vintervedlikeholdet fra 2002 til 2010/11. Sist vinter ble det benyttet 238 000 tonn salt på norske veier. Statens vegvesen arbeider for å redusere saltbruken de kommende vintersesongene, gjennom opplæring av entreprenører, revisjon av kontraktsforhold mv.

Betydningen av det økte saltforbruket de senere år vil ikke bli drøftet i det følgende i og med at det per i dag ikke foreligger vitenskapelige undersøkelser som viser hva slags betydning dette har hatt for ulykker.

3 Metode

Vi har i dette arbeidet gått kritisk igjennom en del av forskningslitteraturen om sikkerhetseffekter av salting. Vi har studert en rekke undersøkelser som er dokumentert både fra inn- og utland. Ikke minst fra de andre nordiske land foreligger det mye litteratur om dette.

Den mest omfattende norske undersøkelsen av effektene av salting er undersøkelsen som SINTEF gjennomførte på midten av 1990-tallet. Denne har på mange måter vært utgangspunktet for norsk vintervedlikeholdspraksis i dag, og er derfor nøye gjennomgått. En annen svært sentral kilde er det store svenske prosjektet "Tema Vintermodell" som inneholder omfattende analyser av effekter av vær- og føreforhold på friksjon og ulykkesrisiko. Det er i tillegg også en del sentrale finske studier, samt en del nordamerikanske studier som vi har vurdert som relevante.

Vi har som nevnt gjennomført litteratursøk i de store forskningslitteraturbasene som BIBSYS, ISI, Science Direct, Google Scholar samt i TØIs og VTIs litteraturbaser for finne relevant forskningslitteratur om sikkerhetseffekter av salting. Det finnes svært mye forskning om kjemisk vintervedlikehold og vi har derfor begrenset søket av litteratur som omhandler sikkerhetseffekter og til perioden etter 1994. Tidligere litteratur er også relevant, men den er forholdsvis godt dekket i Trafisikkerhetshåndbokas referanser når det gjelder effekter av vintervedlikehold.

Utvalget av undersøkelser er basert på faglig skjønn, og vi har lagt størst vekt på nordiske studier med omfattende data. De mest sentrale undersøkelsene som vi har gått gjennom er oppsummert skjematisk i vedlegg 1.

Det er en del metodologiske utfordringer knyttet til å måle effekter av vintervedlikeholdet, som f. eks. salting. Som nevnt i TS-håndboka (Elvik mfl. 2009) vil effekten avhenge av hvilke tidsrom den måles over. Salting kan forventes å ha størst effekt innenfor visse temperaturgrenser når det er is og snø i veibanen. Det betyr at man trolig vil finne sterkere effekter om man måler dette på dager med is/snø enn om man for eksempel bruker sammenligninger av veinett med ulikt vintervedlikehold over en hel sesong el.l. Hva slags mål som er brukt varierer mellom forskjellige studier. Det innebærer at det kan være utfordringer knyttet til å sammenligne ulike studier av effekter av vintervedlikehold.

4 Resultater

Det finnes mange studier om vær- og føreforholdenes betydning for friksjon, ulykker og skader, men det er færre som spesifikt har sett på effekten av salting for å bedre friksjonen og redusere antall ulykker og skader. Vi presenterer derfor først en del generelle funn om sammenhengene mellom friksjon, fart og ulykker, med særlig fokus på hvordan dette forholder seg på vinterføre. Vi vil deretter presentere studier som spesifikt har forsøkt å undersøke betydningen av salting for ulykkesrisiko og skadetall.

4.1 Friksjon, fart og ulykker

I forbindelse med Nullvisjonsprosjektet på Lillehammer ble det gjennomført et delprosjekt "Vinterdrift" der ulike metoder for vintervedlikehold ble testet (Giæver, Lindland og Vaa, 2006). I prosjektet ble det gjennomført undersøkelser av friksjonsforhold ved ulike driftsmetoder, fartstilpasninger mv. Ulykker ble også kartlagt, men omfanget av prosjektet (strekning/periode) var ikke stort nok til at man kunne evaluere effekter av ulike driftsmetoder på ulykker. Man fant imidlertid en temmelig klar tendens til at glatt vei var en vesentlig risikofaktor ved møteulykker om vinteren, mens sovning/illebefinnende/rus var dominerende risikofaktorer om sommeren (Giæver mfl. 2006, s. 19). Et annet meget interessant funn var at ulike måleinstrumenter ga ulike friksjonsverdier (Giæver mfl. 2006, s. 124).

Giæver mfl. (2006, s. 125) finner klare tendenser til fartstilpasning til glatt føre, og særlig til løs og hard snø med 10-13 km/t lavere fart enn på tørr, bar vei. Fartstilpasningene er langt mindre til rim/tynn is (ca 5 km/t).

I et forsøk med vinterfartsgrenser finner Ragnøy og Fridstrøm (1999) at snødekt vei i seg selv reduserer gjennomsnittsfarten med ca 6 km/t både på 90 km/t-strekninger og på 70 km/t-strekninger. De finner også at vinterfartsgrenser reduserer farten ytterligere, men at disse har størst effekt når det ikke er vinterføre fordi trafikantene i stor grad tilpasser farten frivillig ved vanskelige føreforhold.

En norsk undersøkelse av trafikantenes tilpasninger på ulike føreforhold vinteren 2006/2007 i Nordland og Troms viste imidlertid at bilførere i liten grad reduserte farten på vinterføre (Ragnøy 2008). I den grad fartstilpasninger ble registrert, var dette på "synlig" vinterføre (slaps og snø) med 5-8 % lavere fart enn på tørr bar vei. På tynn is og sporet veibane var fartstilpasningen dårligere med ca. 1 % lavere fart enn på tørr bar vei, og på våt vei var det ingen fartstilpasning i det hele tatt. Ragnøy (2008) konkluderer med at trafikantene i gjennomsnitt kjører med 20-25 % høyere fart på vinterføre enn de burde ha gjort for å opprettholde samme bremselengde som på tørr, bar vei.

Vaa (1995, s. 74-81) gjengir resultater av fartsmålinger på ulike føreforhold på riksveg 7 i Buskerud vinteren 1993/94. Farten reduseres på vinterføre med 2-6

km/t ved oppholdsvær og 4-12 km/t ved snøvær gitt fartsnivå på 72-84 km/t på tørr bar vei.

I en nylig avsluttet studie av effekten av redusert piggdekkbruk i Norske byer har Elvik og Kaminska (2011) også studert sammenhengen mellom fart, vær og føreforhold. Snøfall, regnvær og snødybde reduserer farten; snø reduserer farten mer enn regn. Resultatene overensstemmer godt med en tilsvarende norsk undersøkelse med data fra 1990-tallet (Fridstrøm 2000). Fridstrøm (2000, s.15) finner at gjennomsnittshastigheten over døgnet synker med inntil én kilometer i timen for hver millimeter nedbør som snø samme døgn. Fartstilpasningen varierer med piggdekkandel: ”Ved høy piggdekkandel har værforholdene vesentlig mindre betydning for hastigheten enn når folk stort sett kjører piggfritt” (Fridstrøm 2000, s. 17).

Fartstilpasninger på ulike føreforhold har også vært kartlagt i det store svenske vintermodellprosjektet (Wallman mfl. 2006, s. 35). Her er det registrert gjennomgående større fartstilpasninger enn det Vaa (1995) registrerte på riksvei 7 og det Ragnøy (2008) fant i Nord-Norge. Ragnøy (2008) viser også til andre studier som tyder på at fartstilpasningene han finner i Nord-Norge er mindre enn hva som er vanlig. Wallman mfl. (2006) finner at fartstilpasningene varierer mellom kjøretøytyper, og at personbiler har mye større fartstilpasning enn lastebiler. Fartstilpasningen for personbiler varierer stort sett mellom 5 % og 15 % fartsreduksjon sammenlignet med tørr, bar vei. På løs snø finner de mellom 15 og 20 % reduksjon i fart sammenlignet med tørr bar vei.

Funnene til Wallman mfl. (2006) stemmer godt overens med tidligere svenske funn fra rundt 1980 (Öberg 1981). Der ble det konkludert med at hastigheten på is/snø var om lag 75-95% av hva den var på tørr, bar vei. Sammenhengen mellom dårlig føreforhold og redusert fart er også dokumentert i en rekke andre utenlandske studier (McBride mfl. 1977, Ibrahim og Hall 1994, Shankar mfl. 1995, Öberg 1996, Liang mfl. 1998, Enberg og Mannan 1998, Knapp mfl. 2000, Kyte mfl., 2001, Johansson 2002, Masuya mfl. 2002, Hranac mfl. 2006, Strong mfl. 2010).

Når det gjelder sammenhengene mellom vinterføre, friksjon og ulykker, konkluderte OECD (1976) med at ulykkesrisikoen på snø er om lag dobbelt så høy som på bar vei. Sammenhengen mellom friksjon og ulykker er generelt meget godt dokumentert, også i nyere undersøkelser (Høye, Elvik og Sørensen 2011).

I en nokså tidlig norsk undersøkelse av vinterforholdenes betydning for ulykker og risiko, fant Ragnøy (1985) at risikoen var høyere ved snø og is, og at særlig møteulykker var typiske på slike føreforhold. I en nyere undersøkelse med et meget stort datasett finner Ragnøy (2005) også en klar og entydig sammenheng mellom veidekkets friksjon og ulykkesrisiko; tørr bar vei har best friksjon og lavest ulykkesrisiko, deretter følger våt bar vei, mens vinterføre har dårligst friksjon og høyest risiko.

SINTEF gjennomførte en undersøkelse av sammenhengene mellom føreforhold, friksjon og ulykkesfrekvenser i 2006 (Sakshaug, Moltumyr, Rennemo og Vaa, 2006). Denne har interessante funn, som langt på vei bekrefter andre undersøkelser av sammenhengene mellom friksjon og ulykkesrisiko. Men det er enkeltresultater her som ikke stemmer helt med ”fasit”: ulykkesfrekvens (ulykker per kjørt km) er høyere på hard snø enn is (s. 20), motsatt av hva Statens vegvesen

konkluderte med i en rapport fra 2002 (gjengitt i Sakshaug mfl. 2006, s. 21, fotnote 7). Det er også en tendens til at risikoen øker med økende friksjon i intervallet 0,25-0,45 (Sakshaug mfl. 2006, s. 33). Trolig er det et utslag av tilfeldigheter. Ulykkestallet i denne undersøkelsen er forholdsvis begrenset (209 ulykker).

I en studie av ulykkesrisiko om vinteren i Midt-Sverige (7 län, ca 90 000 km²), som ble gjennomført midt på 1990-tallet, rapporterer Johansson (2002) om bortimot dobbelt så høy ulykkesrisiko på veier med snøfall/nedbør ved temperaturer rundt 0 (+2 - -6). Han dokumenterer også svært mye høyere ulykkestall på dager med snøfall enn fire dager før og etter snøfall. Dette stemmer tilsynelatende dårlig med en nordisk undersøkelse av Fridstrøm mfl. (1995), som finner at antall personskadeulykker reduseres med antall dager med snøfall per måned, men stemmer godt med en nyere undersøkelse fra Canada (Usman mfl. 2010). Grunnen til at Fridstrøm mfl. (1995) kommer til et annet resultat enn Johansson (2002) og Usman mfl. (2010) kan være at de to sistnevnte trolig inkluderer mange ulykker med kun materielle skader mens Fridstrøm mfl. (1995) kun analyserer personskadeulykker.

En annen grunn kan være at eksponeringen går ned på vinterføre, noe Fridstrøm mfl. (1995) ikke fullt ut har kontrollert for, siden de måler eksponering via drivstoffsaltet. Drivstofforbruket går betydelig opp på snø/is. Når en kontrollerer for dette, viser det seg at personskadeulykkene går opp ved snøfall, mens dødsulykkene er omtrent uendret (Fridstrøm 1999, s. 180-182).

Andersson (2010) har i en doktoravhandling studert sammenhenger mellom klima og ulykker. Hun har blant annet sammenlignet to vintre med svært ulikt klima (2004/2005 mild – 2005/2006 kald), men finner ingen klare forskjeller i ulykkestallene. Faktisk finner hun en tendens til at ulykkestallene er lavere i de kalde vintermånedene i 2006 (jan-feb), mens bildet er motsatt i andre måneder (med høyere tall i 2006). Hun har dessverre ikke kontroll for trafikkmengde og trafikksammensetning slik at det er vanskelig å tolke resultatene.

Fu mfl. (2006) benyttet en Poisson regresjonsmodell for å studere hvordan ulykker varierte som følge av værforhold og vintervedlikehold. Basert på data fra to veistrekninger i Ontario, Canada fant de at ulykkene økte med 8-13 % per cm (vannekvivalent) nedbør per time om vinteren.

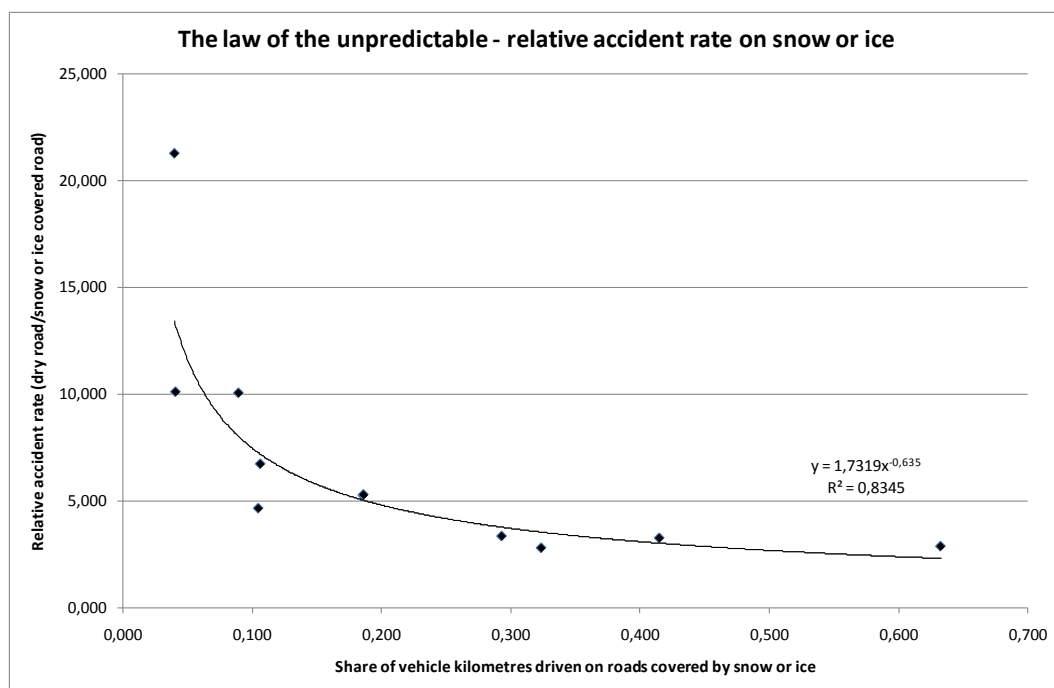
De fleste undersøkelser av sammenhengen mellom vinterføre og ulykker finner at ulykkesrisikoen øker på vinterføre. Dette er dokumentert i en rekke nordiske og nordamerikanske studier (for eksempel Roosmark mfl. 1976, Schandersson 1988, Sävenhed 1995, Adreescu og Frost, 1998, Kulmala og Rämä 1995, Norrman, Eriksson og Lindqvist 2000, Knapp mfl. 2000, Andrey mfl. 2001, Khatkhat & Knapp 2001, Johansson 2002, Sugget 2003, Andrey mfl 2003, Eisenberg og Warner 2005, Zhang mfl. 2005, Niska 2006, Stern 2010).

Qiu og Nixon (2008) har gått gjennom et stort antall undersøkelser om betydningen av værforhold på ulykker, og gjennomført en metaanalyse av datasettet. De finner at snøfall øker risikoen for "crash" med 84 % og risikoen for personskade med 75 %. Regn øker risikoen for ulykke med 71 % og risiko for personskade med 49 %. Risikoen for dødsulykker øker imidlertid langt mindre med hhv 9 % ved snøfall og 8 % ved regn.

Wallman mfl. (2006) finner generelt at ulykkesrisikoen på vinterføre avhenger av hvor ofte vinterføre forekommer; jo sjeldnere vinterføre forekommer desto høyere er risikoen. Konsekvensen er at risikoen på vinterføre dermed er høyere i Sør-Sverige enn i Nord-Sverige, og høyere i overgangsperiodene høst/vinter og vinter/vår enn midt på vinteren. SINTEF finner den samme tendensen til høyere risiko i overgangsperiodene høst/vinter og vinter/vår enn midtvinters i Norge (Sakshaug og Vaa, 1995), men Sakshaug mfl. (2006) finner ikke den samme tendensen til høyere risiko på vinterføre der dette forekommer sjelden. Ragnøy (2005) har imidlertid funnet samme tendens i Norge som i Sverige; i områder der vinterføre opptrer sjelden er risikoen på vinterføre høyere enn i områder der vinterføre er vanlig. Ragnøy (2005) har hatt et større ulykkesmateriale til rådighet enn hva Sakshaug mfl. (2006) hadde.

En finsk studie fra 1987 (Polvinen 1987) viser at ulykkesrisikoen er 2-3 ganger så høy på våt vei som på tørr, bar vei, og 10-20 ganger høyere på slaps/sørpeføre (ref. gjengitt i Vaa 1995, s. 2). Polvinen (1987) rapporterte at ulykkesrisikoen på isete vei avhang av hvor stor andel av trafikkarbeidet som foregikk på isete vei; risikoen var minst der mye av trafikkarbeidet foregikk på isete vei. Dette er funnet gjentatte ganger, senest dokumentert av Norem (2009).

Rune Elvik har betegnet dette som et tilfelle av "loven om uforutsigbarhet" dvs. at jo mer overraskende risikofaktorer opptrer, desto farligere er de (Elvik 2006). På grunnlag av svenske data hentet fra Niska (2006) har Elvik utarbeidet følgende diagram som illustrerer sammenhengen:



Figur 4.1 Relativ risiko mellom snø/is og bar vei fordelt etter trafikkandel på snø/is. Svenske data fra Niska (2006), utarbeidet av Rune Elvik.

Resultatene viser at jo mer av trafikkmengden som foregår på is og snø, desto mindre er risikoforskjellen mellom å kjøre på is/snø og bar vei. Tilsvarende kurve

er også presentert av Wallman (2001). Lignende tendenser til større risikoøkning på vinterføre når førerne ikke er vant til dette, rapporteres i en amerikansk litteraturstudie om sikkerhetseffekter av vinterføre (Strong mfl. 2010, s. 680).

Et slående eksempel på at overraskende snø/is øker antall ulykker og skader er effekten av det voldsomme snøfallet i Helsinki i Finland 17. mars 2005 (Juga, Hipp, Moiseev og Saltikoff, 2010). Overraskende og intenst snøfall førte til en mengde ulykker. Nesten 300 biler krasjet, mer enn 60 personer ble skadet og tre omkom.

Öberg (1994, s. 41-42) rapporterer om ekstremt mange ulykker som følge av spesielle forhold 18-19. desember 1987 i Linköping. Man fikk underkjølt regn den 18. desember som man ikke fikk bort til tross for intensivt salting. Den 19. desember begynte det å snø slik at isen var skjult av snø. Forholdene førte til en rekke fotgjengerulykker og bilskader. Bilverkstedene i Linköping hadde en måneds ventetid på reparasjoner etter disse to døgnene.

En viktig faktor knyttet til betydningen av "overraskende vinterføre" er om dekkutrustningen er tilpasset føreforholdene, jf. modellen for atferdstilpasning i figur 2.1. Det er sannsynlig at en langt større andel av bilistene kjører med dekk som ikke egner seg på vinterføre dersom vinterføre inntreffer sjelden. Mye av effekten av overraskende vinterføre kan skyldes ulik dekkutrustning i tillegg til eller i stedet for den antatte effekten av at snø og is er et overraskelsesmoment som førerne ikke er vant til å takle. At risikoøkningen på vinterføre er mindre i Nord-Sverige enn i Sør-Sverige kan for en stor del skyldes at piggdekkbruken er mye større i nord. I følge Öberg og Möller (2009, s. 19) var piggdekkbruken på hele 97 % i februar 1998 i Nord-Sverige. Den er senere redusert noe, men trolig bortimot 100 prosent i de årene som inngår i beregningene av ulykkesrisiko på ulike føreforhold og regioner i Sverige (1994-1997) av Wallman (2001) og Niska (2006). I Skåne var piggdekkandelen til sammenligning 32 % i februar 1998 (Öberg og Möller 2009). At Ragnøy (2008) finner relativt liten fartstilpasning til vinterføre i Nord-Norge kan også skyldes at svært mange her kjører med piggdekk.

Elvik og Kaminska (2011) har studert effekten av redusert bruk av piggdekk på antall trafikkulykker i norske byer i perioden 2002-2009. Resultatene tyder på en klar, men ikke spesielt sterk tendens til at redusert bruk av piggdekk har økt antall personskadeulykker. I gjennomsnitt er ulykkesøkningen estimert til 2 %, og er nok en dokumentasjon på sammenhengen mellom friksjon og ulykker.

Et svært interessant resultat i metaanalysen til Qiu og Nixon (2008) er at effekten av snø på ulykkesrisiko er redusert over tid. Studier fra perioden 1950-1979 viste 113 % økt risiko ved snøfall, mens nyere studier fra 1990 til 2005 viste 47 % økt ulykkesrisiko ved snøfall. Et annet interessant funn er at risikoøkningen ved snøfall er sterkere i Storbritannia enn i Canada og USA. Dette stemmer godt med de svenske resultatene som viser at risikoen på vinterføre er høyere når dette ikke er vanlig (både når det gjelder region og når det gjelder tiden på året). Dette stemmer også med resultatene til Fridstrøm mfl. (1995) og konklusjonene til Andrey mfl. (2001, s. 1): "Risk appears to be greatest for freezing rain/sleet and the first snowfalls of the season ..."

I en undersøkelse basert på data fra 10 canadiske byer for perioden 1984-2002 finner Andrey (2010) tilsvarende risikoøkninger ved regn og snøfall som Qui og

Nixon (2008), og at tendensen til at økt risiko ved vanskelige føreforhold avtar over tid. Andrey (2010) finner imidlertid at dette kun gjelder for ulykker i regnvær/på våt vei og ikke når det gjelder ulykker ved snøfall.

En annen canadisk undersøkelse (Mills, Andrey og Hambly, 2011) basert på data fra Winnipeg, finner tilsvarende risikoøkninger ved regn/snø som Qiu og Nixon (2008) og Andrey (2010), men også at risikoøkningen ved snø ikke er signifikant forskjellig fra risikoøkningen ved regn. De medgir imidlertid at metoden (case/control med "induced exposure") kan være sårbar for at værforholdene påvirker trafikkmengden.

Usman mfl. (2010) har indirekte undersøkt effekter av vintervedlikehold med bruk av fire forsøksstrekninger med ulike vedlikeholdsregimer i Ontario, Canada. De estimerer ikke effektene av vintervedlikehold direkte, men etablerer en indeks for føreforhold ("Road Surface Condition Index" (RSI)) som de varierer fra 0,1-0,15 (is) til 0,9-1,0 (bar, tørr vei). Det finner en sterk og klart signifikant sammenheng mellom RSI og ulykker; jo lavere verdi på indeksen jo større sannsynlighet for ulykker. Det er ikke spesifisert hva slags ulykkesdata som er benyttet; det er "alle" ulykker som er registrert på de fire veistrekningene av Ontario Ministry of Transportation. Trolig er det både ulykker med kun materielle skader og med personskader.

Studien til Usman mfl. (2010) er en interessant studie som har disaggregerte data for ulykker, vær og førerforhold, trafikk osv. og som benytter negativ binomial regresjon for å estimere effekten av veistandarden på ulykker. De forsøker tre ulike modeller som alle gir tilnærmet samme resultat når det gjelder veistandardens betydning for ulykker. Resultatene repliserer i stor grad funnene i Johanssons enklere bivariate analyser fra Sverige på 1990-tallet.

En svakhet ved studien til Usman mfl. (2010) er imidlertid at det ikke differensieres mellom typer ulykker/alvorlighetsgrad, og de har ikke data for fart. Om ulykker på snø/is blir mindre alvorlige pga lavere fart er dermed ikke mulig å undersøke i dette materialet.

Strong mfl. (2010) oppsummerer resultatene av en rekke undersøkelser om forholdet mellom fart friksjon og ulykker på vinterføre. De fleste av disse undersøkelsene er nordamerikanske, men også finske og svenske studier er med. Resultatene viser helt entydig at vinterføre reduserer farten, men øker antall ulykker. Hvor store fartsreduksjoner og ulykkesøkninger det er snakk om, varierer imidlertid mye, og i følge Strong mfl. (2010) skyldes det store variasjoner mellom studiene når det gjelder hvordan de ulike variablene er målt. I tillegg vil også trafikantenes valg av kjøretøy og dekk påvirke disse sammenhengene, men dette er ikke tatt hensyn til i studiene som gjengis i Strong mfl. (2010).

4.2 Ulykkestyper og skadegrad

I undersøkelsen til Ragnøy (1985) med ulykkesdata fra perioden 1978-1983 ble det dokumentert at ulykkene var noe mer alvorlige på bar vei enn på vinterføre (Ragnøy 1985, s. 18-19). En sannsynlig forklaring i følge Ragnøy (1985) er at vinterføre fører til lavere fart og dermed mindre alvorlige skader.

En nyere undersøkelse av effektene av snø og snøfall på forholdet mellom bilskader og personskader i Oslo og Akershus bekrefter dette bildet (Ragnøy 2005, 2006); bilskadene øker ved snøfall, men ikke personskadene.

Et interessant resultat hos Niska (2006) er at eneulykker på snø/is i gjennomsnitt er mindre alvorlige enn eneulykker på tørr bar vei, mens det motsatte er tilfellet for møteulykker. Forklaringen er at når det er snø/is i veibanen er ofte også sideterrenget dekket av snø, veien kan være omkranset av brøytekanter osv., noe som virker som en barriere og reduserer konsekvensene. For møteulykker er det imidlertid en tendens til at flere kjøretøy treffes i siden (de har fått sladd) noe som gjør passasjer mer utsatte for alvorlige skader i og med at kjøretøyene har dårligere kollisjonsvern ved treff i siden enn treff forfra. Her henviser Niska (2006) også til Johansson (2002). Brorsson mfl. (1988) finner tilsvarende skadereduserende effekter av snø på eneulykker. Forsøket med redusert salting på Gotland førte til reduksjon i antall personskadeulykker, men økning i antall materielle skader (Wallman mfl. 1997, s. 87)

Et annet interessant funn hos Niska (2006) er at eneulykkene utgjør en stadig større andel av ulykkene på snø/is jo lenger sør i Sverige man kommer. Generelt er eneulykker overrepresentert på is/snø-føre, men denne effekten er altså sterkere jo lenger sør man kommer. Andrey mfl. (2001) refererer også til undersøkelser som viser flere eneulykker ved snøfall.

Fridstrøm (2000), og Elvik og Kaminska (2011) har også studert effekten av snøfall og snødybde på hhv. materiellskade- og personskadeulykker i norske byer. I begge studier øker begge typer ulykker med nedbør som snø. Antall personskadeulykker reduseres imidlertid med økende snødybde, mens antall materiellskadeulykker øker.

Koetse & Rietveld (2009) oppsummerer resultater av mange undersøkelser om sammenhenger mellom vær, føreforhold og ulykker. I følge deres oversikt er det et gjennomgående funn at nedbør, og særlig nedbør i form av snø reduserer alvorlighetsgraden ved ulykker. En svært interessant referanse er til en amerikansk undersøkelse som fant flere ulykker, blant annet flere materiellskadeulykker, men færre dødsulykker på dager med snøfall enn dager uten (Eisenberg og Warner 2005). Tilsvarende fant Andrey mfl. (2003) og Andrey (2010) at økningen i antall personskader er mindre enn økningen i antall ulykker på dager med snø og regn. Lignende resultater er funnet av Fridstrøm mfl. (1995) og Fridstrøm (1999). At skadegraden reduseres ved snøfall og dårlig vær er også funnet av Khattak mfl. (1998) og Maze mfl. (2006, s. 172). Maze mfl. (2006) refererer imidlertid også til svenske studier som ikke viser en slik sammenheng. Strong mfl. (2010, s. 696) konkluderer imidlertid også med at vinterføre reduserer antall dødsulykker, selv om totalt antall ulykker øker.

I forbindelse med SINTEFS undersøkelse av effekter av salting (omtalt under) ble det gjort en egen ulykkesanalyse på RV7 der en sammenlignet ulykkesmønsteret på strekninger som var saltet og ikke saltet. Der fant man dobbelt så høy risiko for ulykke med materielle skader på det usaltede veinettet som på det saltede, men ingen forskjell i risikoen for personskadeulykke (Vaa 1995, s. 69).

Anderson (2010) finner at dødsulykker med kvinnelige førere er overrepresentert på glatt føre i Sverige. Bjørnskau (2009) finner at kvinnelige bilførere synes å ha høyere risiko enn mannlige bilførere om vinteren i Norge. Morgan og Mannering

(2011) finner i en nylig publisert amerikansk studie at snø/is øker risikoen for alvorlige skader for kvinner og eldre menn, mens det for yngre menn (< 45 år) er omvendt; risikoen for alvorlige skader er lavere ved kjøring på snø og is enn ved kjøring på tørr, bar vei.

Generelt er ulykkene på vinterføre noe mindre alvorlige enn på bar vei. Dette skyldes primært to forhold: a) at farten generelt er noe lavere på vinterføre, og b) at eneulykker blir mindre alvorlige fordi brøytekanter og snø i mange tilfeller fungerer som en barriere som absorberer en del av kollisjonskreftene. Samtidig er det også dokumentert at møteulykker ofte er mer alvorlige fordi de gjerne innebærer at ett (eller flere) kjøretøy har fått skrens og blir truffet i siden der kollisjonsvernet er svakere.

4.3 Salting og sikkerhet

I følge Elvik mfl. (2009) har de tidligste nordiske studiene av effekter av salting ikke funnet noen ulykkesreduserende effekt (Väg- och vattenbyggnadsstyrelsen 1973, Andersson 1978, Vejdirektoratet 1979). Senere studier har imidlertid vist klare ulykkesreduserende effekter av salting (Öberg mfl. 1985, Öberg mfl. 1991, Nilsson & Vaa 1991, Sakshaug og Vaa 1995, Kallberg 1996).

Elvik mfl. (2009) peker på to mulige forklaringer på hvorfor salting ikke synes å ha noen ulykkesreduserende effekt i de tidligste nordiske undersøkelsene. Den første er at metoder og praksis når det gjelder salting er forbedret over tid. Den andre er at flere av disse undersøkelsene ble gjennomført på veier uten fartsgrenser. Fartsgrenser vil begrense trafikantenes fartsøkning ved bedret friksjon (Elvik mfl. 2009, s. 367). Dette er et viktig poeng som vi kommer tilbake til i diskusjonen av avveiningsproblemer i vintervedlikeholdet i avsnitt 4.4.

Nokså tidlige undersøkelser har imidlertid også vist ulykkesreduserende effekt av salting. En undersøkelse av Statens vegvesen (1981) viste klar effekt av salting. Her undersøkte man sammenhengen mellom salting og ulykker basert på ulykkesdata fra årene 1974-1980. Dette ble gjort ved parvis sammenligning av strekninger som saltes/ikke saltes med "matching" dvs. at man dannet par av strekninger som var så like hverandre som mulig bortsett fra når det gjaldt bruken av salt. Året ble delt i tre perioder (vår/høst 1.4-31.5 og 1.9-31.10, vinter 1.11-31.3 og sommer 1.6-31.8). Sommerperioden er holdt utenfor beregningene av ulykkestall på grunn av stor sommer/ferietrafikk. For hver strekning er det beregnet hvor stor andel av det samlede ulykkestallet utenom sommeren (vår+høst+vinter) som er skjedd i vinterperioden. Dersom dette relative ulykkestallet (andelen om vinteren) er lavere på saltstrekninger enn ikke-saltstrekninger, er det en indikasjon på at salting reduserer ulykkestallet. Resultatene viser at ulykkesandelen var høyere om vinteren på strekninger som ikke saltes i 30 av i alt 37 observasjonspaar. Forskjellen er statistisk pålitelig.

4.3.1 SINTEFS undersøkelser av salting

Den klassiske norske studien av sikkerhetseffekten av salting er SINTEFs to undersøkelser fra midten av 1990-tallet (Sakshaug 1995, Vaa 1995, Sakshaug og Vaa 1995). Vi har valgt å vie nokså stor plass til disse to undersøkelsene i og med

at disse har vært helt sentrale for vintervedlikeholdet på norske veier de siste 15 årene.

SINTEFs undersøkelse er basert på to forskjellige metoder. Del 1 er en før/etter undersøkelse av ulykker på veistrekninger som man har begynt å salte i perioden 1981-1991 (Sakshaug 1995). Del 2 er en sammenligning av ulykkesfrekvensen på saltet og usaltet vei (Vaa 1995). Hovedresultatene er oppsummert i en egen samlerapport (Sakshaug og Vaa, 1995).

4.3.1.1 Før/etterundersøkelsen

I del 1 (før/etterundersøkelsen) benyttet man før- og etterperioder på tre år, dvs. at for hver strekning ble det etablert en førperiode på tre år (sesonger) før man startet salting og en etterperiode som også var på tre år, fra og med året etter man startet salting. Som kontrollgruppe ble "alle" riksveistrekninger fra Nord-Trøndelag og sørover som ikke var saltet per 1992, benyttet. Effekter ble kalkulert som endringer i ulykkestall på saltstrekninger fra før til etter sammenlignet med endringer på kontrollstrekningene i samme periode.

Det betyr for eksempel at en strekning som startet salting i 1988 har hatt 1985-1987 som førperiode og 1989-1991 som etterperiode. Kontrollgruppen blir ulykker på alle riksveier som ikke har innført salting per 1992, i førperioden 1985-1987 og etterperioden 1989-1991. Man har også som et alternativ benyttet en mer begrenset gruppe kontrollstrekninger fra samme landsdel. Resultatene viser at når hele riksvegnettet benyttes som kontroll reduserer salting ulykkestallet med 11 %. Benyttes bare kontrollstrekninger i samme landsdel er effekten 9 % ulykkesreduksjon.

Dette er en kvasieksperimentell undersøkelse, et mye brukt design når mulighetene for rene eksperimenter er begrenset. Til forskjell fra rene eksperimenter – der det er tilfeldig hvilke enheter (strekninger) som velges ut som eksperiment- og kontrollenhet, innebærer en kvasieksperimentell undersøkelse at man forsøker å etablere så sammenlignbare kontrollenheter som mulig gitt hvilke enheter som er valgt ut for iverksetting av et tiltak.

Selv om kvasieksperimenter dermed ikke er like metodologisk "vanntette" som rene eksperimenter, kan det være et meget godt alternativ og gi robuste resultater. Et godt eksempel er en norsk undersøkelse av effektene av veibelysning (Assum mfl. 1999). En viktig forutsetning for at et kvasieksperiment skal gi valide resultater er at forsøks- og kontrollgruppe er mest mulig like. Dette er dessverre en svakhet i SINTEFs undersøkelse av to grunner. For det første er strekningene som blir saltet typiske hovedveier med mye trafikk mens kontrollstrekningene er gjennomgående strekninger med dårligere standard, og lite trafikk.

For det andre fører valget av kontrollstrekninger til at det vil være overlappende og til dels samme kontrollgruppe for svært mange av forsøksstrekningene. Argumentet for å benytte en stor kontrollgruppe, som man har gjort her, er at man dermed unngår at tilfeldige svingninger i ulykkestall skal påvirke resultatene. Ulempen er at kontrollstrekningene blir svært generelle og fjerne fra den aktuelle forsøksstrekningen.

Begge momenter peker i retning av at det kan være viktige faktorer som ikke påvirker forsøks- og kontrollstrekninger på samme måte, som for eksempel klimaforholdene. I og med at både forsøks- og kontrollstrekninger fordeler seg over riksveinettet i hele Sør-Norge, antas det at vær- og føreforhold i gjennomsnitt vil være det samme på forsøks- og kontrollstrekninger. Det er mulig det er en rimelig forutsetning. Et problem er imidlertid at vær- og føreforhold samspiller med trafikkmengde. Nedbør som snø vil i mindre grad legge seg på veier med mye trafikk (uavhengig av salting) enn på veier med lite trafikk. Mye trafikk kan også bidra til at is på veien i større grad smelter evt. slipes vekk av piggdekk osv. Det betyr at vær- og føreforhold sannsynligvis ikke bidrar likt på forsøks- og kontrollstrekning.

Værforholdene var svært ulike i de årene som omfattes av SINTEFs undersøkelse. De fleste av de saltede veistrekningene som er med, startet opp med salting i 1988. Det innebærer at årene 1989 og 1990 inngår i "saltperioden" for mange strekninger. Dette var svært snøfattige vintre, noe som kan ha stor betydning for virkningen av salting. Til gjengjeld var førperioden 1985-1987 preget av kalde og snørike vintre (Drange og Hanssen-Bauer, 2011).

Et annet viktig moment er at når etterperioden for mange av saltstrekningene er i årene 1989-1991, betyr det at etterperioden er preget av lavkonjunktur, mens førperioden midt på 1980-tallet var preget av høykonjunkturer med rekordhøyt bilsalg og mange ulykker. I 1986 var det for eksempel om lag tusen flere personskadeulykker enn i 1988, i følge Statistisk sentralbyrås offisielle ulykkesregister. Igjen er det sannsynlig at utenforliggende forhold kan ha påvirket forsøks- og kontrollstrekningene i ulik grad. Lavkonjunktur med redusert trafikk kan gi sterkere trafikkreduksjoner på hovedveier enn på lokale veier fordi den type aktivitet som reduseres både vil være godstransport, arbeidsreiser og ferie- og weekendreiser. Denne typen transport foregår i størst grad på hovedveiene. Det betyr at en lavkonjunktur trolig vil føre til redusert trafikk på hovedveiene, sammenlignet med sideveier, evt. til svakere trafikkvekst.

I tillegg var førperioden preget av svært mange ungdomsulykker, blant annet som følge av store ungdomskull og lett tilgang på kreditt midt på åttitallet ("jappetid"). Det førte til at ungdom i stor grad kunne kjøpe bil og motorsykkel, og ulykkestallene økte. 1986 ble hele 452 mennesker drept i trafikkulykker, og ungdomsulykkene var særlig i fokus. Ungdom er særlig utsatte for utforkjøringsulykker, og glatt føre er trolig en viktigere risikofaktor for ungdom enn for mer erfarne bilførere. Det kan følgelig tenkes at førperioden både var preget av generelt mer trafikk på hovedveinettet, og at ungdom med særlig høy risiko utgjorde en større andel av denne trafikken i førperioden enn i etterperioden.

Det er to påfallende resultater i denne undersøkelsen. For det første finner SINTEF kun effekt av salting etter 1988. For det andre finner de at reduksjonen i ulykkestallene på disse strekningene er nesten like stor om sommeren (jf. Sakshaug, 1995, tabell 13 og tabell 14, s. 27-28). Det er også slik at effekten man finner på sommertid på riksveiene som saltes, også bare framkommer etter 1988. Disse resultatene sår litt tvil om de generelle konklusjonene, noe SINTEF også påpeker (Sakshaug, 1995, s. 27).

Som nevnt er det store forandringer i trafikkbildet fra midten av 1980-tallet til slutten av 1980-tallet/begynnelsen av 1990-tallet. Dette kan ha påvirket

trafikkutviklingen annerledes på hovedveinettet enn på sideveier – både sommer og vinter. Hvis lavkonjunkturen reduserer trafikken på hovedveiene (og ungdommens andel), skulle en forvente reduserte ulykkestall på dette veinettet, både sommer og vinter, noe som nettopp er det SINTEF finner i perioden etter 1988. Ulykkesnedgangen på dette veinettet kan derfor skyldes andre forhold enn salting.

4.3.1.2 Med/uten-undersøkelsen

SINTEFs delrapport II (Vaa, 1995) sammenligner ulykkestallene på saltede vegstrekninger med usaltede strekninger. Dette er også et kvasieksperiment der 32 saltstrekninger (881 km) sammenlignes med 18 kontrollstrekninger som ikke saltes (540 km). Trafikk, friksjon, ulykker mv. er registrert i vintersesongene 1991/92, 1992/93 og 1993/94. Ulykker om sommeren på de samme strekningene er benyttet som kontroll.

Effekt er beregnet som antall ulykker per kjøretøykilometer. Kjøretøykilometer = $\text{ÅDT} \times 365 \text{ (dager)} \times \text{strekningsslengde} \times \text{antall kjøretøy}$. Hovedresultatene er gjengitt i tabell 4.1.

Vaa (1995, s. 48) finner at salting reduserer ulykkesfrekvensen med 26 %. Beregningene er gjort ved å kalkulere en forventet ulykkesfrekvens på det saltede veinettet om vinteren dersom dette veinettet ikke var blitt saltet. Denne forventede ulykkesfrekvensen er basert på forskjellen i ulykkesfrekvens mellom vinter og sommer på veinettet som ikke saltes.

Tabell 4.1 Effekter av salting beregnet ved hjelp av sammenligning av ulykkesfrekvenser på saltede og usaltede veistrekninger, med ulykkesfrekvens om sommer på samme strekninger som kontroll. Hentet fra Vaa (1995, s. 48).

Type vegnett	Sommerhalvår 1.5-30.9	Vinterhalvår 15.10-15.4
Usaltet, observert	0,147	0,204
Saltet, observert	0,158	0,163
Forholdstall	0,147/0,158 = 0,93	
Saltet, forventet	0,204/0,93 = 0,219	
Effekt	(0,163-0,219)/0,219 $\times$ 100 = -26 %	

Metodens gyldighet avhenger av at det ikke er andre faktorer som påvirker ulykkesfrekvensene på saltet og usaltet veinett om vinter og sommer enn salting. Dette er en problematisk forutsetning fordi veinettet som saltes er hovedveier med mye trafikk, mens usaltet veinett typisk er sekunderveinettet med mye mindre trafikk. Elvik (2003) hevder for eksempel at det er grunn til å tro at salting tilskrives for stor effekt i denne undersøkelsen fordi trafikkmengden alene ville ført til mer bar vei om vinteren på hovedveinettet enn sideveinettet uavhengig av saltingen. I tillegg mener Elvik (2003) at de moderate forskjellene i friksjon som Vaa (1995, s. 32) finner ikke samsvarer med en så stor ulykkesreduksjon.

Det er både beregnet relativ risiko med ulykker om sommeren som kontroll og ulykkesfrekvenser basert på ÅDT for strekninger som er regnet om til kjøretøykm

(ÅDT x 365 x strekningslengde x antall kjøretøy). Det er viktig å korrigere for mulige forskjeller i trafikkmengden mellom sommer og vinter på hhv. saltet og usaltet vei. Dette er gjort ved hjelp av standardvekter for årstidsvariasjon (Vaa, 1995; s. 46). Ideelt sett burde man ha benyttet faktiske trafikktall vinter og sommer på de aktuelle strekningene, men slike data har trolig ikke vært tilgjengelige. Dette kan imidlertid være en mulig feilkilde som kan ha store konsekvenser. Dersom hovedveinettet (som saltes) har relativt mer trafikk om sommeren, for eksempel på grunn av ferietrafikken, vil en del av forskjellen i ulykkestallene mellom sommer og vinter framstå som en effekt av salting.

Effekten av salting er i følge Vaa (1995; 48) 26 % lavere ulykkesfrekvens på saltet vei. Men dette tallet omfatter store variasjoner mellom de ulike år. I vintersesongen 1992/93 er det ingen forskjell i ulykkesfrekvens mellom saltede og usaltede veistreknninger; i 1991/92 og 93/94 er det store forskjeller (Vaa, 1995 s. 50, tabell 6.5). Dersom mekanismen – salting og forbedret friksjon – er til stede, skulle en ikke forventet slike forskjeller mellom år/sesonger.

Generelt er det noen uoverensstemmelser mellom SINTEFs to undersøkelser av sikkerhetseffektene av salting. Vaa (1995; 45) argumenterer for at ulykker om sommeren kan benyttes som en form for kontroll, mens Sakshaug (1995) argumenterer mot dette.

I delrapport II (Vaa, 1995 s. vi) heter det at tørr, bar vei opptrer oftere ved salting; 40 prosent av tiden på saltet veinett og 26 prosent av tiden på usaltet veinett. Våt, bar vei forekommer i 41 % av tiden på saltet vei, mot 14 % på usaltet vei. På strekningene som saltes burde det ha ført til en (mye) større andel ulykker på våt vei og mye mindre andel på snø og is men det finner ikke SINTEF.

Sakshaug (1995 s. 35) finner at andelen på våt vei er den samme før og etter salting (22 %) og en meget svak reduksjon fra 36% til 32% på snø og is. Sakshaug (1995, s. 35) påpeker at det er overraskende at det er så stor andel på snø/is. Sakshaug (1995, s. 35) antyder at det kan skyldes at ulykkene har skjedd ved så lave temperaturer at salting ikke har vært benyttet, men han har ikke hatt tilgang til data som kan belyse det. En mulig forklaring kunne være at ulykkesrisikoen øker når snø/is forekommer sjeldnere (Andersson 1978, Wallman 2001, Niska 2006, Norem 2009).

Vaa (1995; 51) beregner også ulykkesfrekvenser for saltet og usaltet vei fordelt på fartsgrenser. Resultatene viser at saltet vei i 50-, 60- og 70-sone har 37 % lavere ulykkesfrekvens enn usaltet vei. I 80- og 90-soner har saltet vei 18 % lavere ulykkesfrekvens. Før/etterundersøkelsen (Sakshaug 1995) gir motsatt resultat med størst effekt av salting i 80- og 90-sone. Vaa (1995; 51) mener resultatene fra før/etterundersøkelsen er de mest pålitelige når det gjelder dette.

En styrke er at begge undersøkelsene har resultater som peker i samme retning. Samtidig er det svakheter og utfordringer ved begge to. Det er viktige feilkilder ved begge undersøkelser som dreier seg om trafikkfordelingen over tid/ fordeling på vinter/sommer. I begge undersøkelser er det systematiske forskjeller i veistandard og trafikkmengde mellom forsøks- og kontrollstrekninger. I begge undersøkelser er det enkeltresultater som ikke stemmer med konklusjonene. I før/etterundersøkelsen er det bare effekter etter 1988, og det er i nesten like stor ulykkesreduksjon om sommeren som om vinteren. I med/utenundersøkelsen er det bare effekt i to av tre vintersesonger.

4.3.2 Andre studier av effekt av salting

Det svenske MINSALT-prosjektet på slutten av 1980-tallet innebar at tre områder i Sverige ble valgt ut som testområder for redusert bruk av salt i vintervedlikeholdet. De tre stedene var Gotland, Kopparberg og Västerbotten (Öberg mfl. 1991). På Gotland førte ikke redusert salting til flere ulykker, i motsetning til i Kopparberg og Västerbotten. Man vet ikke helt hvorfor effekten av redusert salting var en annen på Gotland, men en mulig forklaring, som veimyndighetene har anført, er at i og med at Gotland er en øy uten gjennomgangstrafikk vil alle trafikantene være godt informerte om at det ikke saltes og kan være svært glatt, noe som fører til at trafikantene tilpasser seg ved å kjøre saktere. Wallman mfl. (1997, s. 88) peker imidlertid på at resultatene fra MINSALT-prosjektet er meget usikre.

I Finland ble det gjennomført forsøk med redusert salting på enkelte deler av veinettet på begynnelsen av 1990-tallet (Kallberg 1996). Dette var i utgangspunktet et godt eksperimentelt design der man valgte ut forsøksstrekninger med redusert salting i en periode og kontrollstrekninger som ikke fikk endret vintervedlikeholdet. Omfanget av salting på forsøksstrekningene gikk ned fra 6-7 tonn til ca. 1 tonn per km vei (veier med ÅDT < 6000) og til ca. 1,8 tonn per km vei på veier med større trafikk (ÅDT > 6000). På kontrollstrekningene var omfanget av salting 8-13 tonn per km vei. På eksperimentstrekningene ble salt i stor utstrekning erstattet med sand; 55 til 70 tonn per km vei. På kontrollstrekningene var forbruket 7-17 tonn sand per km vei.

Resultatene viste at friksjonen ble dårligere på forsøksstrekningene, med en friksjon under 0,3 i 30-40 prosent av tiden, mot bare i 10-15 prosent av tiden på kontrollstrekningene. Farten gikk også ned på forsøksstrekningene, men denne nedgangen var mindre i den siste perioden (1993/94) enn i den første (1992/93).

Ulykkestallene gikk ned på forsøksstrekningene med høy trafikk; fra et gjennomsnitt på 9 ulykker per strekning i førperioden (1987-1992) til 6 ulykker i gjennomsnitt i etterperioden (1992-1994). Ulykkesreduksjonen var imidlertid enda sterkere på kontrollstrekningene, slik at Kallberg (1996) konkluderer med at tiltaket trolig har ført til litt flere ulykker. Økningen sammenlignet med kontrollstrekningene var imidlertid ikke statistisk pålitelig.

En mulig innvending mot denne studien er at en i analysen av ulykker sammenligner forsøksstrekningene med *alle* hovedveier i Finland i motsetning til analyser av friksjon og fart der de definerte kontrollstrekningene ble benyttet. Når alle hovedveier benyttes, kan man ikke være sikker på om det er andre forhold som påvirker ulykkestallene enn de som påvirker ulykkestallene på forsøksstrekningene. Begynnelsen av 1990-tallet var for eksempel preget av økonomisk lavkonjunktur, og ikke minst i Finland hadde man store økonomiske problemer knyttet til oppløsningen av Sovjetunionen rundt 1990. Trolig har lavkonjunkturrene ført til lavere ulykkestall. Det er ikke kontrollert for trafikk – det er godt mulig at trafikkutviklingen på forsøksstrekningene har vært en annen enn på hovedveiene generelt. Det kan også godt tenkes at enkelte grupper har avstått fra å kjøre i større grad enn andre og hvordan det fordeler seg på forsøksstrekningene og resten av veinettet blir dermed viktig. Den sannsynlige grunnen til at man har benyttet alle hovedveier som kontroll i ulykkesanalysen er trolig at de definerte kontrollstrekningene har for få ulykker.

Harald Norem (2009) har benyttet det omfattende ulykkesmaterialet fra det svenske vintermodellprosjektet og gjennomført ytterligere analyser av dette. Ulykkesmaterialet består av politiregistrerte trafikkulykker for vintersesongene 1993/94-1996/97 og ulykkene er fordelt på klimasoner, vinterdriftsklasser og føreforhold og er tidligere analysert av Niska (2006) i vintermodellprosjektet (Wallman mfl. 2006). Niskas (2006) analyser omfatter alle politirapporterte ulykker på 1990-tallet vinterstid, i alt 75 385 ulykker. Dette innbefatter også mange ulykker med kun materielle skader (62%).

Norem begrenser analysene til kun å omfatte ulykker med dødsfall og alvorlige personskader, og til fire vintre: 1993/94, 1994/95, 1995/96 og 1996/97. Det er likevel et forholdsvis omfattende ulykkesmateriale med 3271 ulykker i alt.

Norem (2009) har beregnet risiko for alvorlige ulykker separat for hver av 4 klimasoner. Vintervedlikehold er gruppert i 3 standarder: A1+A2: Salting med liten toleranse for glatt vei/ A3+A4: Salting med større toleranse for glatt vei og B1+B2: Sanding. Risiko er beregnet for hver vedlikeholdsstandard innenfor hver klimasone fordelt på fem føreforhold (tørr, bar vei//våt bar vei// hard snø/is// løs snø/slush// tynn is/rim).

Resultatene bekrefter de tidligere svenske analysene som finner at vinterføre øker ulykkesrisikoen (Niska 2006), og han finner også at strekninger som har det beste vintervedlikeholdet har lavest ulykkesrisiko, men med unntak av veistrekninger i nordre Nord-Sverige. Beregninger av akkumulerte ulykker fordelt på driftsklasser og klimasoner viser at i nordre Nord-Sverige har A-veiene (som har beste vedlikeholdsstandard med bruk av salt) flere ulykker på snø og is (gitt samme eksponering) enn veistrekninger med dårligere vedlikeholdsstandard (B-veier) med bruk av sanding som friksjonsmiddel. Ellers i Sverige har B-veiene flere ulykker gitt samme trafikkmengde.

Norem (2009) finner på samme måte som Niska (2006) at snø og is på veier som saltes har høyere risiko enn snø og is på veier som ikke saltes. Tolkningen til Niska (og til Norem) er at dette skyldes at jo sjeldnere man opplever snø og is, desto dårligere forberedt på å håndtere slike føreforhold er man, og dermed er snø og is farligere på veier som saltes enn på veier som ikke saltes.

I Sør-Sverige er det så lite av trafikken som foregår på snø og is at den høye risikoen når man kjører på snø/is i sør ikke gir seg utslag i høyere ulykkestall på saltede veier. I nord er det såpass stor andel av kjøringen som skjer på snø og is til tross for at veiene saltes, slik at den høyere risikoen på snø og is på saltede veier gir seg utslag i høye ulykkestall.

I følge Norem (2009) er det en generell tendens til at antall ulykker på vinterføre er høyest når ca. 30 prosent av trafikkarbeidet skjer på snø og is. Det er viktig å skille mellom risiko og ulykker. Selv om risikoen er høyere på snø/is med mindre andel av trafikken slik Niska (2006) dokumenter, kan en fordeling med 30 % av trafikkarbeidet på snø likevel innebære flere ulykker selv om risikoen på snødekt vei er høyere når en mindre andel av trafikken foregår på snø/is.

“.. to perform salting on roads in very cold climates and then end up with proportions with snow and ice close to 30% would rather increase the number of winter accidents. In such cases the effect of unexpected and inexperienced driving in adverse driving conditions is still there, and the amount of traffic on

snow and ice is so high that it really affects the total number of accidents.” (Norem 2009, s. 30).

Norem (2009, tabell 3, s. 24) finner at risikoen (”accident rates”) er høyere på saltede veier (både A1+A2 og A3+A4) både på snø og is og når disse veiene er bare, i nordre Nord-Sverige enn ellers i Sverige. På veinettet som ikke saltes (B-veier) finner han derimot klart lavere risiko enn på tilsvarende veier i resten av Sverige.

Niska (2006) har som nevnt benyttet alle politirapporterte ulykker i sine analyser, noe som inkluderer over 60 % med kun materielle skader. Hun finner at risikoen på snø og is i nordre Nord-Sverige er lavere enn ellers i Sverige på veier som saltes (og som ikke saltes). Det er dermed en interessant forskjell i resultatene til Niska (2006) og Norem (2009) når det gjelder veistrekningene som saltes i nordre Nord-Sverige.

En viktig grunn til disse forskjellene kan være at fartsgrensene er høyere på store deler av dette A-veinettet i Nord-Sverige enn på tilsvarende veier ellers i Sverige, noe som fører til høyere risiko for mer alvorlige ulykker, uansett om det er på bare veier eller på snø/is. Mange av A-strekningene i Nord-Sverige er tofelts veier med fartsgrense 110 km/t.

Det har vært hevdet at salting kan virke mot sin hensikt og fører til flere ulykker dersom det brukes når det er for kaldt eller for mye snøfall. I følge Norem (2009) er ikke det forklaringen, men snarere at vintervedlikeholdet dels kan føre til en suboptimal andel trafikk på snø og is, og dels at salting ikke er effektivt når det er kaldt. Han mener også at det kan skyldes trafikantenes forventninger og tilpasninger: ”On the salted roads the drivers probably expect that road conditions are sufficient for keeping almost the same speed as in the summers.” (Norem 2009, s. 33).

Hvis forklaringen på den høye risikoen i Norems (2009) analyse fra nordre Nord-Sverige skulle være at salting ikke fungerer godt i stabilt kaldt vintervær, skulle en også forvente at dette ville gi seg utslag i høyere risiko for mindre alvorlige ulykker som inngår i Niskas (2006) data. Men Niska finner altså at risikopåslaget er mindre på vinterføre i nordre Nord-Sverige. Den sannsynlige forklaringen på forskjellene i funnene til Norem (2009) og Niska (2006) er etter vår oppfatning at de høyere fartsgrensene i nordre Nord-Sverige på A-veiene øker risikoen for de mest alvorlige ulykkene.

Norem (2009) konkluderer som nevnt med at salting av en del strekninger i nordre Nord-Sverige fører til en suboptimal trafikkfordeling med om lag 30 % av trafikkarbeidet på snø og is. Dette kan skyldes at i stabilt kaldt vinterklima har ikke salting like god effekt som ved mildere klima. På bakgrunn av resultatene fra nordre Nord-Sverige konkluderer Norem (2009, s. 53) med at det er grunn til å anbefale varmbefuktet sand (fastsand) når temperaturen på veidekket er under - 8°C i mer en 20 % av tiden.

Andrey mfl. (2001) oppsummerer resultatene fra en rekke undersøkelser og konkluderer med at salting synes å ha en ulykkesreducerende effekt, men at preventiv salting (anti-icing) er mer effektivt enn konvensjonell salting (de-icing). I følge Riehm 2010, har Thornes mfl. (2006) gjennomført en internasjonal nyttekostnadsanalyse av vintervedlikehold som konkluderer med at dette er svært lønnsomt på grunn av gunstig effekt både på sikkerhet og framkommelighet.

Thornes (2000) konkluderer tilsvarende med at salting har en nyttekostnadsbrøk på 8 i Storbritannia, dvs. at nytten er åtte ganger så høy som kostnadene.

Fu mfl. (2006) gjennomførte en multivariat regresjonsanalyse av effekten av vintervær og vintervedlikehold på to veistrekninger i Ontario, Canada, basert på variasjoner over dager fra november 2002 til desember 2003. De fant statistisk gunstige effekter av preventiv salting og sanding, men ikke av konvensjonell brøyting og salting med tørt salt. De har imidlertid ikke kontrollert for trafikkmengde, og de påpeker også at resultatene kan ha spuriøse forklaringer; dårlig vær fører både til ulykker og til brøyting/salting (Fu mfl. 2006, s. 16).

4.3.3 Samlet effekt av salting

Den norske utgaven av TS-håndboka revideres fortløpende, og i siste elektroniske versjon av denne utgaven er kapitlet om vintervedlikehold revidert i 2010/2011 <http://tsh.toi.no/index.html?21972> . Her oppgis en oversikt over de samlede effektene av vintervedlikehold på ulykker og skader.

I følge TS-håndboka er det en gunstig virkning av salting. Ved innføring av salting hele vintersesongen anslås en nedgang på 15 prosent i personskadeulykker. Ved opphør av salting anslås økningen i antall personskadeulykker på 12 prosent. Usikkerhetene i anslagene er nokså store, og TS-håndboka gjengir også enkeltresultater som viser at salting ikke har ulykkesreduserende effekt. Vi har også sett at flere av undersøkelsene som viser effekt også har metodesvakheter. Samlet sett er det imidlertid mer og bedre dokumentasjon på at salting har ulykkesreduserende effekt enn at det ikke har det. Men samtidig har de ulike undersøkelsene avdekket at det er vanskelig eller umulig å angi presist hva effekten av å fjerne is og snø er. Det kommer an på flere faktorer.

Enkelte nyere undersøkelser som Fu mfl. (2006) og Norem (2009) finner at sikkerhetseffekten av salting varierer og i enkelte tilfeller ikke er til stede. Mange studier tyder på at effekten varierer med hvor vanlig vinterføre er. I tillegg fører også salting generelt til økt fart, og spørsmålet om effekt blir dermed også et spørsmål om hva slags ulykker man skal måle effekten på. Ut fra et nullvisjonsperspektiv er det de mest alvorlige ulykkene med dødsfall eller alvorlige skader som man primært skal forsøke å unngå. Når risikoen for ulykker på vinterføre øker jo sjeldnere det forekommer, og når salting gir økt fart, innebærer det at man står overfor avveiningsproblemer i dimensjoneringen av vintervedlikeholdet.

Effektanslagene i TS-håndboka er i hovedsak basert på mange nokså gamle studier, og nyere studier tyder som nevnt på svakere effekt av salting. Noen få studier finner at salting ikke nødvendigvis har gunstige sikkerhetseffekter, men disse er i mindretall. Imidlertid finner også disse studiene at salting har gunstige sikkerhetseffekter under visse betingelser (Norem 2009, Fu mfl. 2006).

Det er derfor vanskelig å gi noe entydig svar på hva sikkerhetseffekten av salting er; det kommer an på hvor vanlig vinterføre er, hva slags typer ulykker man studerer og på hva slags føreforhold salt anvendes. TS-håndbokas anslag på 15 % reduksjon i antall personskadeulykker ved å innføre salting gjennom hele vintersesongen er trolig for høyt i dag. Basert på gjennomgangen av litteraturen vil vi anslå gjennomsnittseffekten av salting til ca. 5-10 % reduksjon i antall personskadeulykker. Effekten er større på materiellskadeulykker og mindre på de

mest alvorlige ulykkene som involverer drepte eller hardt skadde. Effektanslagene er imidlertid meget usikre, med store variasjoner knyttet til når, under hvilke forhold, og hva slags form for salting som anvendes.

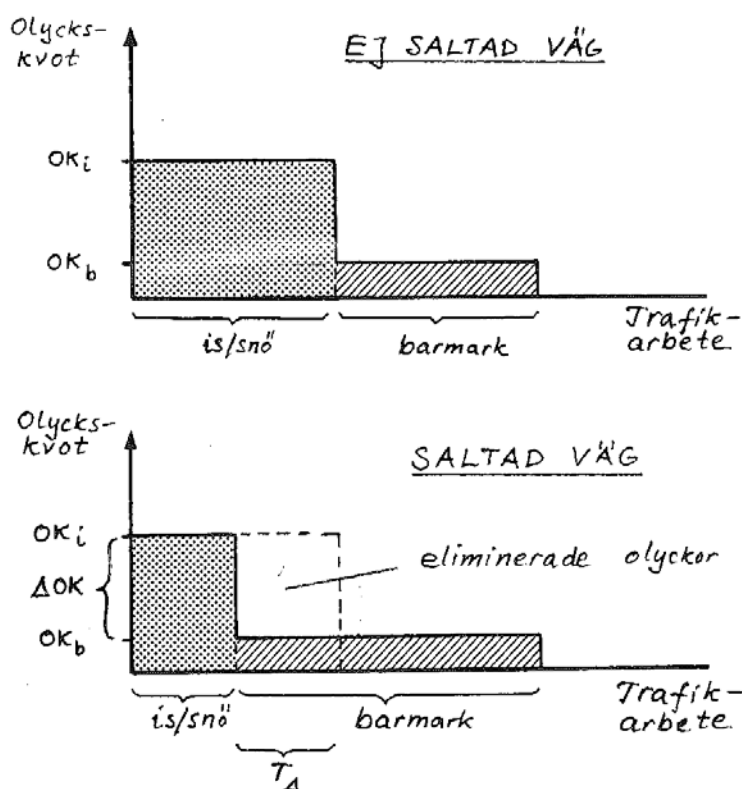
4.4 Avveiningsproblemer i vintervedlikeholdet

Det er ganske mange indikasjoner både fra Sverige, Finland, Norge og Nord-Amerika på at vinterføre er farligere jo sjeldnere det opptrer. Det betyr imidlertid at så lenge man ikke makter å fjerne is og snø fullstendig gjennom vintervedlikeholdet, sitter man med et optimaliseringsproblem fordi risikoen på den resterende delen av veinettet som har is og snø øker jo mer man fjerner is og snø gjennom vintervedlikeholdet.

På bakgrunn av de svenske resultatene som viser at risikoøkningen på vinterføre er større jo sjeldnere trafikantene opplever vinterføre, refererer Wallman (2001) til den såkalte optimist-/pessimistmodellen lansert av Andersson (1978) for å forstå effekten av vintervedlikeholdet på ulykker.

4.4.1 Optimist- og pessimistmodellen

Andersson (1978) lanserer to modeller for hvordan salting kan virke på ulykkestallet; optimistmodellen og pessimistmodellen. Optimistmodellen er gjengitt i figur 4.2 og illustrerer hvordan salting reduserer risikoen og dermed ulykkene på is og snø.

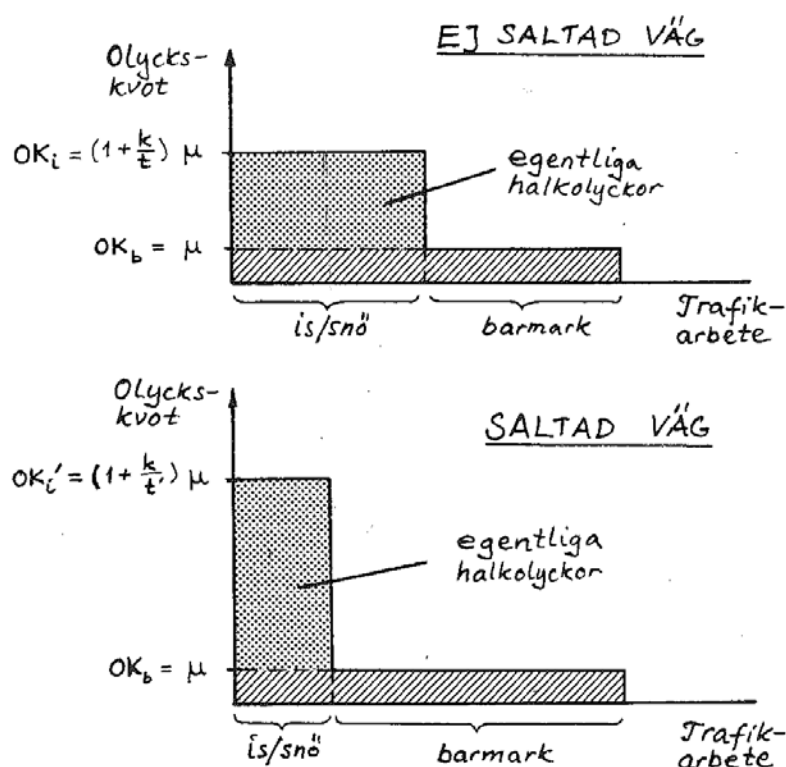


Figur 4.2 Effekt på ulykker av salting i henhold til "Optimistmodellen", hentet fra Andersson (1978, s. 15)

Mekanismen i optimistmodellen er enkel. I og med at ulykkesrisikoen er lavere på bar vei, vil ulykkestallene bli redusert jo mer man fjerner is og snø. Dersom ulykkesrisikoen er 0,15 personskadeulykker per million kjøretøykilometer på bar vei og 0,30 ulykker på snø/is, vil en unngå ca. 3 personskadeulykker dersom 20 millioner kjøretøykilometer overføres fra snø/is til bar vei ($0,15 \times 20 = 3$).

I følge Vågane og Rideng (2011) var det totale trafikkarbeidet i Norge i 2010 ca. 43 milliarder kjøretøykilometer. Hvis andelen av dette som foregår på snø/is reduseres fra for eksempel 8 % til 3 % gjennom veisalting, vil det i følge optimistmodellen redusere antall personskadeulykker med ca 320 per år.¹

Pessimistmodellen innebærer at den gunstige effekten av å fjerne is og snø spises opp av at risikoen på den gjenværende delen av veinettet/tiden med is og snø blir så mye høyere. Pessimistmodellen slik den er illustrert av Andersson 1978, er presentert i figur 4.3.



Figur 4.3 Effekt på ulykker av salting i henhold til "Pessimistmodellen" hentet fra Anderson (1978, s. 19)

Poenget i pessimistmodellen er at risikoen på den delen av saltet veinett som fremdeles har is/snø får så mye høyere risiko at vinninga kan gå opp i spinninga. Hvis vi tar utgangspunkt i eksemplet foran, innebærer pessimistmodellen at når andelen av trafikken på snø og is reduseres fra 8 % til 3 %, så er ikke lenger risikoen på snø/is 0,3 ulykker per millioner kjøretøykm, men økt til for eksempel 0,5. Dermed øker antall ulykker i trafikken på delen av veinettet som ikke saltes

¹ Basert på en antakelse om at ulykkesrisikoen reduseres fra 0,30 til 0,15 personskadeulykker per million kjørte kilometer: 43 mrd kjøretøykm x 0,05 (redusert andel på snø/is) = 2150 mill kjøretøykm. Risikoreduksjonen fra 0,30 til 0,15 = 0,15 gir 2150 x 0,15 = 323 ulykker.

(3%) fra 387 ulykker til 645 ulykker.² Ulykkesnedgangen på den delen av veinettet hvor snø/is fjernes (5%), i alt 323 ulykker, må motregnes mot økningen på den delen som fremdeles har is og snø, dvs. 258 ulykker (645-387). Dermed er ikke effekten av veisaltingen 323 sparte ulykker, men bare 65 sparte ulykker.

Dersom risikoen øker mer på det resterende veinettet som ikke saltes, for eksempel til 0,55 ulykker per million kjøretøykm, blir innsparingen i ulykker på det saltede veinettet den samme som økningen på den delen av veinettet som fremdeles har snø/is.

4.4.2 God friksjon gir mer alvorlige ulykker

Harald Norems (2009) studie viser at det veinettet i Nord-Sverige som saltes har høyere risiko om vinteren enn veinettet som ikke saltes, vel å merke når man kun studerer de mest alvorlige ulykkene, dvs. de som innebærer dødsfall eller alvorlige skader.

Vi har dessverre ingen norske undersøkelser som har isolert effekten av vintervedlikehold og salting til kun å gjelde de mest alvorlige ulykkene. Som nevnt konkluderer SINTEF med at man kan anta en ulykkesreduserende effekt av salting på ca. 12 prosent. De finner større effekter i undersøkelsen som sammenligner sterkninger med og uten salting, men konkluderer likevel med at før/etterundersøkelsen gir mest pålitelig estimat for sikkerhetseffekten av salting. I TS-håndboka anslås som nevnt effekten til ca. 15 prosent reduksjon i personskadeulykker på saltet vei, men heller ikke her er det gjort noen nærmere vurdering av effekten på mer alvorlige ulykker.

Samtidig finner man helt gjennomgående at farten går ned på vinterføre. Det varierer ganske mye hvor stor fartsreduksjon det er snakk om, og det varierer med type vinterføre, men sammenlignet med bar vei er det snakk om fartsreduksjoner på 5-10 km/t i norske undersøkelser og noe større reduksjoner i svenske undersøkelser.

Ulykkers alvorlighetsgrad øker med økende fart. I en studie der den såkalte potensmodellen for sammenhengen mellom fart og ulykker etterprøves, finner Elvik (2009) at om man ser på de mest alvorlige personskadeulykkene, øker forventet antall ulykker med kvadratet av farten, eller enda mer. Det innebærer at om farten reduseres fra 80 km/t til 75 km/t, reduseres antall alvorlige ulykker med 12 % [$1 - (75/80)^2$]. Effekten er enda sterkere for antall drepte eller antall hardt skadde. For mindre alvorlige ulykker er sammenhengen mellom fart og ulykkestall langt svakere (Elvik 2009, Elvik mfl. 2004).

Nullvisjonen, med fokus på de mest alvorlige ulykkene, dvs. de som involverer drepte eller hardt skadde, er utgangspunktet for myndighetenes mål og valg av tiltak for å bedre trafikksikkerheten i Norge. Det betyr imidlertid at selv om salting er gunstig om man ser på effektene på totalt antall personskadeulykker, er det ikke sikkert at dette skal benyttes dersom effekten er en annen på de mest alvorlige ulykkene.

² 3 % av 43 mrd kjøretøy km er 1290 millioner. Dersom ulykkesrisikoen er 0,3 gir det 387 ulykker; dersom risikoen er 0,5 gir dette 645 ulykker.

Hvis salting gir 5-10 km/t fartsøkning, vil økningen i alvorlige ulykker langt på vei spise opp den gunstige effekten av bedret friksjon. For at salting skal være regningssvarende må enten ulykkesreduksjonen være større, og/eller man må ha støttetiltak som reduserer fartsøkningen.

Norems (2009) resultater fra Nord-Sverige kan meget vel være et resultat av at saltingen øker farten slik at også de mest alvorlige ulykkene øker.

4.4.3 Fartsgrensene påvirker effekten av salting

Et meget viktig poeng i studien fra Norem (2009) er at det nettopp er i Nord-Sverige at salting har en overraskende dårlig effekt på sikkerheten. Det er viktig å minne om at fartsgrensene tradisjonelt har vært høyere i Nord-Sverige (110 km/t på landevei) enn ellers i Sverige, og dette har trolig vesentlig betydning for effekten av salting.

Med høye fartsgrenser vil trafikantene kjøre mye fortere på tørr bar vei enn med lavere fartsgrenser. Det betyr igjen at når vei- og føreforholdene blir dårligere, vil trafikantene tilpasse seg mer i form av lavere fart dersom fartsgrensene er høye i utgangspunktet. Det betyr igjen at tiltak som bedrer friksjonen gir mye større fartsøkninger ved høye fartsgrenser enn ved lave fartsgrenser.

Dette illustrerer et generelt poeng som i liten grad har vært diskutert i litteraturen om friksjon og vintervedlikehold, nemlig at fartsgrensene bidrar til å hindre trafikantenes fartstilpasninger (Elvik mfl. 2009). Ragnøy og Fridstrøm (1999) drøfter imidlertid dette i en undersøkelse av effekter av vinterfartsgrenser, som viser at vinterfartsgrenser har størst fartsreducerende effekt på tørr, bar vei. Undersøkelser av føreforhold, friksjon og kjørefart sammenligner som regel fart på snøføre, i regnvær, på is osv. med farten på samme vei når den er tørr og bar. Det man sjelden tar hensyn til, er at farten på tørr bar vei i meget stor grad er bestemt av fartsgrensen, og i mye større grad enn farten ved vanskelig føreforhold som snø og is (jf. Ragnøy og Fridstrøm 1999). Jo høyere fartsgrensen er, desto større fartstilpasninger til dårligere føreforhold vil man dermed få.

For å illustrere poenget kan man kan snu resonnementet; hadde vi ikke hatt fartsgrenser, ville trafikantene ha kjørt mye fortere på tørr bar vei enn i dag. Fartsgrensene forhindrer dermed en form for atferdstilpasning til tørr bar vei, noe som også svekker fartstilpasningen den andre veien – til dårligere føreforhold. Effekten av salting vil dermed forsterkes av fartsgrensene – når veien saltes og man får tilnærmet tørr bar vei, ville trafikantene ha kjørt fortere dersom det ikke hadde vært fartsgrenser, og det er mulig at det er nettopp det som skjer i Nord-Sverige og som dermed bidrar til å forklare funnene til Norem (2009). Interessant nok påpeker Elvik mfl. (2009, s. 367) at de tidlige nordiske undersøkelsene som ikke fant effekter av salting nettopp var gjennomført på veier som ikke hadde fartsgrenser, for eksempel i Finland der deler av veinettet ikke hadde fartsgrenser før i 1973.

Dette illustrerer dermed et ytterligere avveiningsspørsmål mellom vintervedlikehold og fartsgrenser; jo lavere fartsgrensene er – desto bedre effekt har vintervedlikeholdet fordi fartsgrensene begrenser tendensen til at trafikantene tar ut økt friksjon i økt fart.

5 Drøfting og konklusjon

Det er ganske mange indikasjoner både fra Sverige, Finland og Norge på at vinterføre er farligere jo sjeldnere det opptrer. Det betyr imidlertid at så lenge man ikke makter å fjerne is og snø fullstendig gjennom vintervedlikeholdet, sitter man med et optimaliseringsproblem fordi risikoen på den delen av veinettet som har is og snø øker jo mer man fjerner is og snø gjennom vintervedlikeholdet.

En del resultater som er presentert kan tyde på at tilpasningene i Sverige generelt er større enn i Norge. Det kan skyldes at føreforholdene varierer mer mellom landsdeler i Sverige enn i Norge. En faktor som kan bidra til dette er at fartsmålingene svært ofte sammenligner farten på vinterføre med farten på tørr bar vei. I Sverige er fartsgrensen generelt høyere og det er dermed grunn til å tro at tilpasningene til dårligere føreforhold kan bli større enn i Norge. Hadde fartsgrensene vært høyere i Norge (og på samme nivå som i Sverige), hadde trolig de fleste kjørt fortere på tørr, bar vei, men trolig ikke i samme grad på vinterføre. Er det generelt slik at man i Sverige i større grad vurderer farten etter forholdene fordi fartsgrensen ikke i samme grad er begrensende? I så fall er det å forvente at man i Sverige har større atferdstilpasninger til ulike føreforhold.

Med større fartstilpasning til vinterføre i Sverige enn i Norge, blir også betydningen av salting for sikkerheten mindre i Sverige enn i Norge. Når man finner bortimot 15 km/t lavere fart ved snø/is enn på bar vei, betyr det at man gjennom den reduserte farten har en kolossal sikkerhetseffekt om man ser på alvorlige ulykker (drepte eller alvorlig skadde). En reduksjon fra 90 km/t til 75 km/t vil ut fra "power-modellen" gi en forventet reduksjon i alvorlige ulykker på over 40 prosent. En "bar vei-strategi" med salting vil gi bedre friksjon, og bedret friksjon vil trolig kunne redusere antall ulykker med kanskje 10-15 %. Det betyr imidlertid at om man oppnår så store fartsreduksjoner som 15 % ved å la være å salte, vil det likevel være gunstig fra en nullvisjonstanke *ikke* å salte veien.

Dette illustrerer et generelt poeng som i liten grad har vært diskutert i litteraturen om friksjon og vintervedlikehold, nemlig at fartsgrensene bidrar til å hindre trafikantenes fartstilpasninger (Ragnøy og Fridstrøm 1999, Elvik mfl. 2009). Undersøkelser om friksjon og kjørefart sammenligner som regel fart på snøføre, i regnvær, på is osv. med farten på samme vei når den er tørr og bar. Man tar sjelden hensyn til at farten på tørr bar vei i meget stor grad er bestemt av fartsgrensen, og i mye større grad enn farten ved vanskelig føreforhold som snø og is. Jo høyere fartsgrensen er, desto større fartstilpasninger til dårligere føreforhold vil man dermed få.

Man står derfor overfor to ulike optimaliseringsutfordringer når det gjelder dimensjonering av vintervedlikeholdet: 1) Om risikoøkningen på sjeldent forekommende vinterføre fører til ulykkesøkninger som spiser opp den gunstige effekten av å fjerne snø og is-føre og 2) Om fartsøkningene på veier med godt vintervedlikehold er så store at de spiser opp den gunstige effekten av bedre friksjon på antall alvorlige ulykker.

5.1 Hvor sikre er resultatene fra tidligere?

Det er store utfordringer knyttet til å undersøke effekten av salting og andre typer vintervedlikehold. Litteraturgjennomgangen viser også store variasjoner i resultatene. Norske undersøkelser finner opp til 26 prosent ulykkesreduksjon av å salte veinettet om vinteren, mens undersøkelser fra Nord-Sverige kan tyde på at salting øker risikoen for alvorlige personskadeulykker.

De norske resultatene av sammenhengene mellom føreforhold, fart, friksjon og ulykker er gjennomgående noe mindre konsistente enn de svenske. Hovedgrunnen er trolig at de svenske resultatene er basert på mer omfattende ulykkesmateriale og at de også har analysert sammenhengene separat innenfor ulike klimasoner. De norske undersøkelsene har i mange tilfeller enkeltresultater som ikke stemmer med det generelle bildet, det skilles ofte ikke mellom ulike klimasoner (strekninger som spenner over mange ulike soner benyttes samlet), og i mange tilfeller er også ulykkestallene små og sårbare for tilfeldige svingninger. Norske undersøkelser basert på store datasett, viser imidlertid tilsvarende resultater som de svenske (jf. Ragnøy 2005).

Enkelte av de multivariate statistiske undersøkelsene som er gjengitt, for eksempel Fu mfl. (2006), har resultater som står litt i motsetning til undersøkelsene som sammenligner føreforhold og ulykker på ulike veistrekninger. Forfatterne påpeker imidlertid at det kan være spuriøse sammenhenger mellom vintervedlikehold og ulykker, dvs. at intensivert vintervedlikehold og ulykker har tendens til å opptre samtidig pga. snøfall, og at man ikke godt nok klarer å skille dette (Fu mfl. 2006).

Svært mange av de nordiske undersøkelsene som er referert, er basert på nokså gamle ulykkesdata. SINTEFs store undersøkelser på midten av 1990-tallet var for eksempel basert på ulykkesdata fra begynnelsen av 1990-tallet. De nyeste norske undersøkelsene av effekter av førerforhold og salting (Sakshaug mfl. 2006) og Ragnøy (2005) er basert på ulykkestall fra slutten av 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet.

Som nevnt finner enkelte metaanalyser at risikoøkningen som følge av dårlige føreforhold avtar over tid; den er mye større i eldre undersøkelser (Qiu og Nixon 2008). Det er grunn til å tro at det er en slik sammenheng, og at den har fortsatt etter de periodene som Qiu og Nixon (2008) har studert, i og med at bilenes kollisjonsvern er blitt dramatisk forbedret i løpet av de senere år.

Med dårlig kollisjonsvern vil dårlig friksjon gi flere ulykker og flere personskader. Med godt kollisjonsvern vil dårlig friksjon gi flere ulykker men ikke nødvendigvis flere personskader. Det er dermed grunn til å forvente at sammenhengen mellom ulykkesens alvorlighetsgrad på snø og is har endret seg over tid, etter hvert som kjøretøyene er blitt sikrere, og at ulykker på glatt føre ikke i samme grad som før medfører alvorlige personskader.

Samtidig er også mange moderne biler utstyrt med elektronisk stabilitetskontroll som ofte har integrerte systemer som varslers føreren om glatt føre. Biler med firehjulstrekk er blitt svært populære i løpet av de senere år – og disse har bedre framkommelighet på glatt føre. Bruken av piggdekk har generelt gått ned. Antall eldre bilførere har økt kraftig.

Alle disse momentene peker i retning av at resultatene fra 10-20 år tilbake i tid ikke nødvendigvis er gyldige for sammenhengene mellom friksjon, fart og ulykker i dag.

5.2 Behov for nye undersøkelser

Det er mange grunner til at man nå bør vurdere å gjennomføre nye norske undersøkelser av sammenhengene mellom vintervedlikehold, friksjon, fart og ulykker. Det er en rekke forhold som gjør at resultatene fra de tidligere undersøkelsene muligens ikke lenger er gyldige:

- Utviklingen over tid
- Endringer i klima og ulike effekter i forskjellige klimasoner
- Nullvisjonens fokus på alvorlige ulykker
- Trafikantinformasjon og atferdstilpasning
- Avanserte førerstøttesystemer som ESP og isvarsling
- Ny Håndbok 111 om drift og vedlikehold av veinettet.

Vi vil kort kommentere de forskjellige punktene under.

5.2.1 Utviklingen over tid

Mange undersøkelser som oppsummerer kunnskapen om sammenhengene mellom vintervedlikehold, føreforhold, friksjon, fart og ulykker peker på at effektene synes jevnt over å bli redusert over tid. Det gjelder både effektene av dårlig friksjon og av tiltak for å bedre friksjonen. Dette er i seg selv en viktig grunn til at disse sammenhengene bør undersøkes på nytt i Norge. De fleste norske studiene som har studert effektene av friksjon og vintervedlikehold på ulykker stammer fra 1990-tallet.

I tillegg har det også skjedd store endringer i vintervedlikeholdet av norske veier de siste 10 årene, blant annet som følge av at det konkrete vedlikeholdet nå gjennomføres av underleverandører. Det er trolig en viktig grunn til at bruken av salt har økt sterkt de senere årene. Hvilke effekter dette har hatt på trafikksikkerheten vet vi ikke. Det har vært hevdet at mye av økningen har skjedd ved at en har benyttet salt ved ugunstige føreforhold (for kaldt vær, store snøfall) og at dette kan ha økt risikoen på vinterføre. På den annen side hevdes det også at kvaliteten på vintervedlikeholdet er bedret de senere (Rafdal 2011).

5.2.2 Ulike effekter i forskjellige klimasoner

De svenske studiene i forbindelse med det store vintermodellprosjektet viser meget klart betydningen av å skille mellom ulike klimasoner når en studerer sammenhengene mellom vintervedlikehold, friksjon og ulykker. De svenske studiene viser at vinterføre med snø og is bidrar til større risikøkning når og hvor slikt vinterføre er uvanlig. I Norge har man i mindre grad maktet å skille mellom ulike klimasoner i studier av effekter av vinterføre på ulykker, og i den grad man har gjort det, er resultatene heller ikke like konsistente. I de store effektundersøkelsene av salting som SINTEF gjennomførte på midten av 1990-tallet ble det ikke skilt mellom ulike klimasoner, og dette kan ha hatt konsekvenser for resultatene.

Mye tyder på at det skjer endringer i klimaet, noe som naturligvis også kan påvirke føreforholdene og trafikkulykkene. Det vil uansett være viktig å kontrollere for ulike vær- og føreforhold i studiene av sammenhengene mellom vintervedlikehold, friksjon, fart og ulykker. Ideelt sett burde slike sammenhenger både studeres separat i ulike klimasoner, samtidig som en inkluderer variabler som faktisk måler vær- og føreforholdene.

5.2.3 Nullvisjonens fokus på alvorlige ulykker

Vi har diskutert ulike avveiningsproblemer knyttet til vintervedlikehold og salting, deriblant utfordringen at bedre friksjon normalt fører til økt fart, noe som i seg selv fører til mer alvorlige skader dersom ulykker inntreffer.

Det er følgelig svært viktig at nye undersøkelser av effekter av salting (og annet vintervedlikehold) både registrerer trafikantenes fartstilpasninger som følge av ulike føreforhold og vintervedlikehold. Og det er viktig å kartlegge alvorlighetsgraden av ulykkene.

Det innebærer også at det er viktig å konkretisere hvilke nettoeffekter vinterføre og vintervedlikehold har på alvorlige ulykker; høyere ulykkesrisiko som følge av dårligere friksjon må avveies mot lavere alvorlighetsgrad som følge av lavere fart.

5.2.4 Informasjon og atferdstilpasninger

Et helt sentralt moment for hva slags effekter dårlig friksjon har på ulykker er om trafikantene er informerte om og i stand til å tilpasse farten etter føreforholdene. Norrman mfl. (2000) har dokumentert at mange ulykker på vinterføre skjer til tross for at det på samme strekning er full vedlikeholdsinnsett. Ulykker skjer til tross for vintervedlikeholdet som gjennomføres. De konkluderer derfor med at det er meget viktig at trafikantene gis informasjon om den dårligere friksjonen på vinterføre slik at de kan tilpasse farten til forholdene. De foreslår også å teste ut egne vinterfartsgrenser for både å informere om dårligere friksjon og for å få trafikantene til å kjøre saktere.

Rämä og Kulmala (2000) har testet ut effekten av variable informasjonsskilt langs veien som varsler om glatt veibane. De finner at denne typen informasjon reduserer gjennomsnittsfarten med 1-2 km/t i tillegg til den fartsreduksjonen som glatt veibane fører til alene.

I undersøkelsen til Rämä og Kulmala (2000) med data fra 1994, oppga bare 14 % av førerne at de vurderte at veien var glatt når den faktisk var det; over halvparten mente friksjonen var normal (Rämä og Kulmala 2000). Noe av forklaringen på hvorfor underkjølt regn på svart asfalt har så høy risiko er nettopp at det i liten grad er synlig for trafikantene at det er glatt, og dermed tilpasses ikke farten.

Dette kan tyde på at et eventuelt forsøk med mindre bruk av salt (og dermed dårligere friksjon) bør kombineres med aktiv trafikantinformasjon av hvordan føreforholdene og friksjonen er. En interessant mulighet kunne være å gjennomføre forsøk i tilknytning til de 70-80 klimastasjonene som Statens vegvesen har med værdata og eventuelt også forsøke å kombinere vintervedlikeholdstiltak med variable fartsgrenser.

Trolig vil trafikantene ha relativt god aksept for lavere fartsgrenser på grunn av dårlig friksjon, men dette burde i tillegg kartlegges gjennom veikantundersøkelser.

5.2.5 Avanserte førerstøttesystemer (ESP) og isvarsling

Mange moderne biler er nå utstyrt med en rekke avanserte førerstøttesystemer som kan bistå sjåføren når det er dårlig friksjon. Antiskrenssystemer som ESP er kanskje det mest opplagte, men det finnes også andre mer ordinære systemer som temperatur- og isvarsler og blokkeringsfrie bremses som kan hjelpe sjåføren på glatt føre. Firehjulstrekk er etter hvert blitt nokså vanlig i Norge, og disse har bedre framkommelighet på glatt føre, noe som også kan ha betydning for kjøreatferden.

Sannsynligvis vil trafikantenes tilpasninger til ulike føreforhold variere avhengig av hva slags førerstøttesystemer de har. Slike tilpasninger vet vi lite om, og dette er variabler som er viktige å kartlegge i undersøkelser av forholdet mellom vintervedlikehold, friksjon, fart og ulykker. En veikantundersøkelse som nevnt over, burde derfor i tillegg kartlegge om trafikantene har andre former for varslingsystemer (isvarsling) og avanserte førerstøttesystemer som ESP, firehjulstrekk, piggedekk mv.

Med nye systemer for elektroniske varslingsstavler og automatisk måling og overvåkning av fart over strekninger er det mulig å gjennomføre forsøk der man varierer vintervedlikeholdet over strekninger og varsler trafikantene om dette, med og uten fartsovervåkning.

5.2.6 Ny Håndbok 111 om drift og vedlikehold av veinettet

Statens vegvesen har utgitt en ny revidert Håndbok 111 om drift og vedlikehold av veinettet som også inkluderer vintervedlikeholdet (Statens vegvesen 2010). De viktigste endringene når det gjelder vintervedlikeholdet er at man nå opererer med fem driftsklasser med ulike krav til innsats ved værhendelser. Den reviderte håndbok 111 er også mer konkret når det gjelder vinterdrift enn tidligere.

Det er imidlertid i liten grad konkretisert når salt eller for eksempel sand skal benyttes, og det er heller ikke spesifisert hvilke metoder for strøing som skal benyttes. Det står for eksempel ikke om man skal benytte varmbefuktet sand (fastsand) eller konvensjonell strøing. Det er dessuten i liten grad spesifisert hvilke temperaturgrenser som skal anvendes i vurderingen om salt eller sand skal nyttes som friksjonstiltak, bortsett fra i driftsklasse C der det heter: "Så lenge det er snø/isdekke på deler av vegbanen, skal salt kun benyttes når dekketemperaturen er over - 3°C, ellers skal det brukes sand som strømiddel".

Statens vegvesen arbeider med å revidere funksjonskontraktene knyttet til vintervedlikeholdet slik at bruken av salt skal reduseres. Ny vedlikeholdspraksis tilsier også at tidligere norske forskningsresultater om sammenhengene mellom vinterdrift, friksjon, fart og ulykker ikke nødvendigvis er gyldige lenger.

5.2.7 Forslag til nye undersøkelser

Det er mulig man i en framtidig vintervedlikeholdsstrategi i større grad skal satse på å informere trafikantene om førerforholdene og oppfordre dem til å tilpasse

farten, eventuelt også benytte variable fartsgrenser. Dersom man informerer om at det er glatt, vil trolig aksepten for redusert fart være meget stor. Det er også mulig at noe av problemet i dag er at mange ønsker å redusere farten (mer) til vanskelige føreforhold, men de føler seg "presset" av andre bilister til å kjøre fortere enn de egentlig ønsker og opplever forsvarlig. Med friksjonstilpassede vinterfartsgrenser vil trolig dette mulige problemet bli redusert.

Vi vil konkret foreslå tre mulige undersøkelser av sikkerhetseffekter av vintervedlikehold og salting:

- A. En ny stor (makro) undersøkelse basert på lignende kvasi-eksperimentelle undersøkelser som er gjennomført tidligere med sammenligninger av ulykkesrisiko på saltet og usaltet veinett. Eksempler på slike undersøkelser er Statens vegvesens undersøkelse fra 1981 (Statens vegvesen 1981) og undersøkelsene som SINTEF gjennomførte på 1990-tallet (Sakshaug 1995, Vaa 1995). Dersom det er mulig å gjennomføre en tilsvarende matching av saltet og ikke saltet vei som Statens vegvesen (1981) gjorde, vil det være en stor fordel. Den konkrete utformingen av en slik undersøkelse avhenger av hva slags data som er tilgjengelig. Det er uansett viktig å kontrollere for ulike klimasoner i en slik undersøkelse.
- B. I tillegg vil det være svært interessant å gjennomføre forsøk i mindre skala med ulike former for vintervedlikehold kombinert med informasjon om vær og føre og eventuelt friksjonstilpassede fartsgrenser. Et slikt forsøk bør kombineres med veikantintervjuer av trafikantene der en rekke variabler registreres. Fartsvalg, førerforhold, biltype (AWD, ESP osv.) registreres i tillegg til at trafikantene intervjues om slike forhold samt om opplevelse av trygghet/utrygghet, press fra andre om å kjøre fortere enn ønsket, konsentrasjon, kunnskap om hvordan førerstøttesystemer virker med mer. Kjønn, alder og kjøreeerfaring må også kartlegges.
- C. Norem (2009) har konkrete anbefalinger til en vintervedlikeholdsstrategi basert på en analyse av alvorlige ulykker i ulike klimasoner i Sverige. I følge Norem er det kritiske verdier mht. temperatur, stabilitet i temperatur, snøfall osv. som tilsier hvilke former for vintervedlikehold som vil fungere best. Anbefalingene er begrunnet i ulykkesanalyser basert på studier av sammenhenger mellom vintervedlikehold og alvorlige ulykker (med drepte eller alvorlige skadde). Anbefalingene kan dermed sies å være i overensstemmelse med Nullvisjonen. En interessant mulighet kunne være å benytte anbefalingene til Norem (2009) i vintervedlikeholdet i én region, eventuelt i ett fylke og benytte andre regioner/fylker som kontroll.

5.3 Konklusjon

Alle undersøkelsene av forholdene mellom friksjon, føreforhold og ulykker viser at ulykkestallene generelt øker med dårlig friksjon. Det indikerer at å fjerne is og snø vil redusere antall ulykker, noe som også de aller fleste undersøkelsene viser. Effekten varierer imidlertid mye mellom ulike undersøkelser, og om en ser på de mest alvorlige ulykkene viser mange undersøkelser at snø kan bidra til å redusere antall alvorlige ulykker.

I tillegg finner flere undersøkelser at risikoøkningen ved is og snø er høyere jo sjeldnere dette opptrer. Dersom trafikantene er vant til å kjøre på is og snø, blir de flinkere til å håndtere slike føreforhold.

Man står overfor to viktige avveiningsutfordringer når det gjelder dimensjonering av vintervedlikeholdet: 1) I hvilken grad risikoøkningen på sjeldent forekommende vinterføre fører til ulykkesøkninger som spiser opp den gunstige effekten av å fjerne snø og is-føre og 2) I hvilken grad fartsøkningene på veier med godt vintervedlikehold spiser opp den gunstige effekten av bedre friksjon på antall alvorlige ulykker.

Det er først og fremst svenske undersøkelser i forbindelse med det store svenske vintermodellsprosjektet som er grunnlaget for disse optimaliseringsutfordringene. Norske studier er mindre entydige når det gjelder effekten av om vinterføre forekommer ofte eller sjelden, og det ser også ut til at fartstilpasningene er noe mindre i Norge enn i Sverige. Det kan mao. se ut til at de to optimaliseringsutfordringene er større utfordringer i Sverige enn i Norge. De norske undersøkelsene har imidlertid for en stor del vært gjennomført med litt spinkelt datagrunnlag, slik at usikkerheten rundt disse sammenhengene i Norge er nokså stor. Studier fra USA og Canada har i liten grad berørt slike optimaliseringsutfordringer, og tar generelt utgangspunkt i "optimistmodellen" dvs. at bedre friksjon øker sikkerheten.

Det er mange ulike forhold som tilsier at det er behov for å undersøke slike sammenhenger nærmere, ikke minst fordi også svært mye av forskningen på feltet er basert på gamle data. Bilenes kollisjonsvern har blitt kraftig forbedret de senere år, og moderne biler er utstyrt med en rekke elektroniske førerstøttesystemer. Dette innebærer at sammenhengene mellom vinterføre og ulykker kan være en annen i dag enn for 10-20 år siden. Vintervedlikeholdet har også endret seg, blant annet ved at private underleverandører står for den praktiske gjennomføringen.

Det er følgelig behov for å undersøke hvordan effekten på ulykker er av dagens vintervedlikehold. Med Nullvisjonen som grunnlag for trafikksikkerhetsarbeidet i Norge er det i tillegg viktig å få klarlagt hvordan effekten er på de mest alvorlige ulykkene. Det er ikke tidligere gjennomført analyser av vintervedlikeholdet på alvorlige ulykker i Norge. De studiene som har vært gjort, har alle benyttet alle personskadeulykker i analysen av effekt på ulykker.

Trafikantenes atferdstilpasning er helt avgjørende for å forstå hvordan ulike former for vintervedlikehold fungerer. Vi vil derfor anbefale at man i tillegg til aggregerte undersøkelser av effekten av salting på ulykker også gjennomfører forsøk der trafikantene varsles om friksjon og der tilpasninger i form av fart og konsentrasjon registreres. Dette er viktig for å avklare om bedre varsling av glatt vei kan gi fartsreduksjoner som reduserer behovet for bruk av salt i fremtiden.

6 Referanser

- Amundsen, F. H. (1983). *Trafikkulykker og kjøreatferd på mørke og lyse vegdekker*. TØI Notat 654/83. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Amundsen, C. E., Håland, S. mfl. (2010). Salt SMART. Environmental damages caused by road salt -a literature review. Statens Vegvesen. Technology Department. Report number 2587.
- Andersson, K. (1978). *Kemisk halkbekämpning. Effekt på trafikolyckor*. VTI rapport 145. Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.
- Andersson, A.K. (2010). *Winter road conditions and traffic accidents in Sweden and UK – present and future climate scenarios*. University of Gothenburg, Department of Earth Sciences. Physical Geography. Doctoral thesis A131. Gothenburg, Sweden. 32pp + app.
- Andersson, A. K., Chapman, L. (2011). The impact of climate change on winter road maintenance and traffic accidents in West Midlands, UK. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 284-289.
- Andreescu, MP., and Frost, DB. (1998). Weather and traffic accidents in Montreal, Canada. *Climate Research* 9: 225-230.
- Andrey, J. (2010). Long-term trends in weather-related crash risks. *Journal of Transport Geography*, 18, 247-258.
- Andrey, J., Mills, B., Vandermolen, J. (2001). *Weather Information and Road Safety*. Paper Series – No. 15, The Institute for Catastrophic Loss Reduction, Toronto, Canada.
- Andrey J.C., Mills, B., Leahy, M., Suggett, J., (2003). Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities. *Natural Hazards* 28, 319-343.
- Assum, T., Bjørnskau, T., Fosser, S., Sagberg, F. (1999). Risk compensation – the case of road lighting. *Accident Analysis and Prevention* 31, 545-553.
- Bjørnskau, T. (2009). *Høyrisikogrupper eksponering og risiko i trafikk*. TØI rapport 1042/2009. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Bjørnskau, T., Fosser, S. (1996). *Bilisters atferstilpasning til innføring av vegelysning. Resultater fra en før- og etterundersøkelse på E18 i Aust-Agder*. TØI rapport 332/1996. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Brorson, B., Ifver, J, Rydgren, H. (1988). Injuries from single vehicle crashes and snow depth. *Accident Analysis & Prevention*, 20, 367-377.
- Center for Urban Transportation Research. (1997). *Evaluation of Motorist Warning Systems for Fog-Related Incidents in the Tampa Bay Area*. College of Engineering, University of South Florida.

- Christensen, P., Ragnøy, A. (2006). *Vegdekkets tilstand og trafiksikkerhet*. TØI rapport 840/2006, Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Drange, H., Hanssen-Bauer, I. (2010). Kulde i drivhuset - har den kalde vinteren i Norge avlyst den globale oppvarmingen? *Klima*, 1; 10-12.
- Eisenberg, D., Warner, K.A., (2005). Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries and fatalities. *American Journal of Public Health* 95, 120-124.
- Elvik, R. (2003). Assessing the validity of road safety evaluation studies by analyzing causal chains. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 741-748.
- Elvik, R. (2006). Laws of accident causation. *Accident Analysis and Prevention* 38, 742-747.
- Elvik, R. (2009). *The Power Model of the relationship between speed and road safety. Update and new analyses*. TØI report 1034/2009, Institute of Transport Economics, Oslo.
- Elvik, R. Høye, A., Vaa, T., Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures*. Second Edition, Emerald.
- Elvik, R., Christensen, P., Amundsen, A. (2004). *Speed and road accidents. An evaluation of the power model*. TØI report 740/2004, Institute of Transport Economics, Oslo.
- Elvik, R., Kaminska, J. (2011). *Effects on accidents of reduced use of studded tyres in Norwegian cities*. TØI rapport 1145/2011, Institute of Transport Economics, Oslo.
- Enberg, Å., Mannan, S. (1998). Effects of road and weather conditions on traffic flow on a three-lane rural highway in Finland. *Proceedings of the 10th PIARC International Winter Road Congress, March 16-19, 1998, Luleå*, 1019-1032.
- Fridstrøm, L. (1999). *Econometric models of road use, accidents, and road investment decisions. Volume II*. TØI report 457/1999, Institute of Transport Economics, Oslo.
- Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., Thomsen L., K., (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis and Prevention*, 27, 1-20.
- Fridstrøm, L. (2000). *Piggfrie dekk i de største byene*. TØI rapport 493/2000, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Fu, L., Perchanok, M. S., Miranda-Moreno, L. F., Shah, Q. A. (2006). *Effects of winter weather and maintenance treatments on highway safety*. Transportation Research Board Annual Meeting 2006 Paper #06-0728.
- Gabestad, K., Amundsen F.H., Skarra N. (1988). *Trafikantatferd på vinterføre. En undersøkelse av biltrafikanter tilpasning av reiseomfang og reisetidspunkt*. TØI rapport 10/1988, Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Giæver, T., Lindland, T., Vaa, T. (2006). *Vinterdrift/TS Lillehammer. Sluttrapport*. SINTEF rapport STF50 A06089. SINTEF Teknologi og samfunn, Trondheim.

- Hranac, R., Sterzin, E., Krechmer, D., Rakha, H., Farzaneh, M. (2006). *Empirical studies on traffic flows in inclement weather*. Publication No. FHWA-HOP-07-073. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Høye, A., Elvik, R., Sørensen, M.W.J. (2011). *Trafikksikkerhetsvirkninger av tiltak*. TØI rapport 1157/2011, Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- Ibrahim, A. T., Hall F. L. (1994). Effect of adverse weather conditions on speed-flow-occupancy relationships. *Transportation Research Record*, 1457, 184-191.
- Johansson, Ö. (2002). Accidents, speed and salt consumption on roads in winter, in: Proceedings of the 11th International Winter Road Congress, World Road Association (PIARC), 26-28 January, Sapporo, Japan.
- Juga, I., Hippi, M., Moisseev, D., Saltikoff, E. (2010). Analysis of weather factors responsible for the traffic "Black Day" in Helsinki, Finland, on 17 March 2005. *Meteorological Applications*, Royal Meteorological Society.
- Kallberg, V-P. (1996). Experiment with reduced Salting of Rural Main Roads in Finland. *Transportation Research Record*, 1533, 32-37.
- Khattak, A.J., Kantor, P., Council, P.M., (1998). Role of adverse weather in key crash types on limited-access roadways: implications for advanced weather systems. *Transportation Research Record* 1621, 10-19.
- Khattak, A. J., & Knapp, K. K. (2001). Interstate highway crash injuries during winter snow and nonsnow events. *Transportation Research Record*, 1746, 30-36
- Kilpeläinen, M., Summala H. (2007). Effects of weather and weather forecasts on driver behaviour. *Transportation Research Part F*, 10, 288-299.
- Knapp, K. K., Kroeger, D., Giese, K. (2000). *Mobility and safety impacts of winter storm events in a freeway environment: Final report*. Center for transportation Research and Education, Iowa State University.
- Koetse M.J., Rietveld P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D*. 14, 205-221.
- Kulmala, R., Rämä, P. (1995). The effects of weather and road condition warnings on driver behaviour. *Proceedings of the Conference on Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program (SHRP)*, Prague, p. 169-178.
- Kyte, M., Khatib, Z., Shannon, P., Kitchener, F. (2001). The effect of weather on free flow speed. *Transportation Research Record* 1776, 60-68. Transportation Research Board, Washington DC.
- Leppänen, A. (1996). Final Results of Road Traffic in Winter Project: Socioeconomic Effects of Winter Maintenance and Studded Tires. *Transportation Research Record* 1533. pp. 27-31.

- Liang, W. L., Kyte, M., Kitchener, F., Shannon, P. (1998). Effect of environmental factors on driver speed: a case study. *Transportation Research Record* 1635, 155-161, Transportation Research Board, Washington DC.
- Masuya, Y., Urata, K., Ito, N., Tamura, T., Saito, K. (2002). Analysis of winter travel speed in pass sections in Hokkaido. Proceedings of the 11th International Winter Road Congress, PIARC, 2002.
- Maze, T.H., Agarwal, M., Burchett, G. (2006). Whether Weather Matters to Traffic Demand, Traffic Safety, and Traffic Operations and Flow. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, NO. 1948, 170-176.
- McBride, J., Kennedy, W., Thuet, J., Belangie, M., Stewart, R., Sy, C., et al. (1977). *Economic impact of highway snow and ice control*. Report no. FHWA-RD-77-95, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.
- Mills, B.N., Andrey, J., Hambly, D. (2011). Analysis of precipitation-related motor vehicle collision and injury risk using insurance and police record information for Winnipeg, Canada. *Journal of Safety Research* (in press) doi:10.1016/j.jsr.2011.08.04
- Morgan, A., Mannering F.L. (2011). The effects of road-surface conditions, age and gender on driver-injury severities. *Accident Analysis and Prevention*, 43, 1852-1863.
- Nilsson, B., Vaa, T. (1991). *Salting og trafikksikkerhet. Forprosjekt*. Rapport STF63 A91013. SINTEF Samferdselsteknikk, Trondheim.
- Niska, A. (2006). *Tema Vintermodell. Olycksrisker och konsekvenser för olika olyckstyper på is- och snöväg*. VTI rapport 556 2006.
- Norem, Harald (2009). *A winter maintenance strategy for roads based on climatic factors*. VTI rapport 630A.
- Norrman, J., Eriksson, M., Lindqvist, S. (2000). Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research*, 15: 185-193.
- OECD (1976). *Road Research: Adverse Weather, Reduced Visibility & Road Safety: Driving in Reduced Visibility Conditions due to Adverse Weather*. OECD Publications, Paris.
- OECD (1990). *Behavioural adaptations to changes in the road transport system*. OECD, Publications, Paris.
- Polvinen, P. (1987). *Traffic accident risks in winter II*. TVH. Helsingfors.
- Qiu, L., Nixon, W. A. (2008). Effect of adverse weather on traffic crashes. Systematic review and meta-analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2055; 139-146.
- Rafdal, H. (2011). Myter og fakta om veidrift. *Aftenposten*, 20/12, 2011.
- Ragnøy, A. (1985). *Vintervedlikeholdsprosjektet. Vegtrafikkulykker om vinteren*. Rapport, Vegdirektoratet og Transportøkonomisk institutt, Oslo.

- Ragnøy, A. (2005). *Vegtrafikkulykker om vinteren*. Arbeidsdokument SM/1654/2005. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Ragnøy, A. (2006). *Dag for dag ulykkes- og skadetall gjennom vinteren*. Arbeidsdokument SM/1769/2006. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Ragnøy, A. (2008). *Fart, føre og friksjon – Valg av kjørefart på vinterføre*. Rapport nr. TS 2008:3, Vegdirektoratet, Veg- og trafikkavdelingen, Oslo.
- Ragnøy, A., Fridstrøm L. (1999). *Vinterfartsgrenser*. TØI rapport 462/1999, Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Rämä, P, Kulmala, R. (2000). Effects of variable message signs for slippery road conditions on driving speed and headways. *Transportation Research Part F*, 3, 85-84.
- Riehm, M. (2010). *New Methods for Improving Winter Road Maintenance*. TRITA-LWR PhD Thesis 2055, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm.
- Roosmark, P.O., Anderson, K., Ahlquist (1976). *The effects of studded tyres on road accidents*. VTI report 72, The National Swedish Road And Traffic Research Institute.
- Sakshaug, K. (1995). *Salting og trafikk sikkerhet. Del 1: Før-etterundersøkelse av saltingens effekt på personskadeulykker*. Statens vegvesen, MITRA nr. 02/95 og Rapport STF63 A95003, SINTEF Samferdselsteknikk, Trondheim.
- Sakshaug, K., Vaa, T. (1995). *Salting og trafikk sikkerhet. Saltingens effekt på ulykker og kjørefart*. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Driftsavdelingen, Oslo og SINTEF Samferdselsteknikk, Trondheim.
- Sakshaug, K., Moltumyr, T., Rennemo, O. M., Vaa, T. (2006). *Effekter av forskjellige innsatsnivåer innen drift og vedlikehold: Sammenheng mellom ulykkesfrekvens, skadekostnad og føre- og friksjonsforhold. Data fra eksisterende føre- og friksjonsmålinger*. Notat N-01/05, SINTEF, Teknologi og samfunn, transportsikkerhet og –informatikk, Trondheim.
- Sakshaug, K. & T. Vaa. (2007). *Salting av veger. En kunnskapsoversikt*. Rapport STF50 A1685. SINTEF Samferdselsteknikk, Trondheim og Teknologirapport nr. 2403 utgitt av Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologivdelingen.
- Sävenhed, H. (1995). *Samband mellan vinterväghållning och trafiksäkerhet*. VTI rapport 399, 1995. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Schanderson, R. (1988). *Samband mellan trafikolyckor, väglag och vinterväghållningsåtgärder. Olycksrisk vid snönederbörd*. VTI medellande 514. Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.
- Shankar, V., Mannering, F., Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention*, 27, 371-389.
- Statens vegvesen, Vegdirektoratet (1981). *Salting og ulykker. En undersøkelse av saltingens betydning for ulykkestallet for perioden 1974-1980*. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Oslo.

- Statens vegvesen (2010). *Håndbok 111: Standard for drift og vedlikehold av veier og gater. Høringsutgave 23. mars 2010.*
- Stern, A. (2010) Safety on Winter Roads: Adverse Winter Weather and Vehicle Crashes in Maine. Thesis REP2010-003, Department of Resource Economics and Policy, University of Maine.
- Strong, C., Ye, Z., Shi, X. (2010). Safety effects of winter weather: The state of knowledge and remaining challenges. *Transport Reviews*, 30, 677-699.
- Sugget, J. (2003). *Weather-related collisions in Regina, Saskatchewan.* Department of Geography series No. 55, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Thornes J.E. (2000). Road Salting – An international Benefit/Cost Review. *Proceedings of the 8th World Salt Symposium*, 2, 787-791.
- Thornes J.E., Chapman L, White S. (2006). Xrwis: A new paradigm for winter road maintenance. *Sirwec 2005 Conference Proceedings*. 220-227
- Usman, T., L. P. Fu, mfl. (2010). "Quantifying safety benefit of winter road maintenance: Accident frequency modeling." *Accident Analysis and Prevention* 42, 1878-1887.
- Vaa, T. (1995). *Salting og trafikksikkerhet. Del 2: Sammenligning av ulykkesfrekvens på saltet og usaltet vegnett. Saltingens effekt på kjørefart.* Statens vegvesen, MITRA nr. 03/95 og Rapport STF63 A95004. SINTEF Samferdselsteknikk, Trondheim.
- Vaa, T. (1995). Salting og trafikksikkerhet. Saltingens effekt på ulykker og kjørefart. Rapport STF63 A95005. SINTEF Samferdselsteknikk, Trondheim.
- Vaa, T. (1996). *Bedre vintervedlikehold gir færre ulykker. Resultater fra prøveprosjekt på Ytre Ringveg sesongene 1993/94, 1994/95 og 1995/96.* Rapport STF22 A96613. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim.
- Vejdirektoratet (1979). *Samfundsøkonomisk analyse af anvendelsen af vejsalt i vinterandvedlikeholdelsen.* Rapport fra projektgruppe M. Vejdirektoratet, Vejregelsekretariatet, København.
- Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen. (1972). *Försöket osaltad väg. Slutrapport.* Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen, Helsinki.
- Wallman, C-G., Wretling, P. and Öberg , G. (1997). *Effects of Winter Road Maintenance. State-of-the-Art.* VTI rapport 423A.
- Wallman, C-G. (2001). *Tema vintermodell. Olycksrisker vid olika vinterväglag.* VTI Notat 60-2001. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Wallman, C-G., Möller, S., Blomqvist, G., Gustafsson, M., Niska, A., Öberg, G., Berglund C.M., Karlsson, B.O. (2006). *Tema vintermodell Etapp 2 Huvudrapport.* VTI Rapport 531. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

- Zhang, C., Ivan, J. N., ElDessouki, W. M., Anagnostou, E. (2005). Relative risk analysis for studying the impact of adverse weather conditions and congestion on traffic accidents. Paper presented at the 84th annual meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, January 2005.
- Öberg, G (1982) Friktion och resistans på vägar med olika vinterväghållning. VTI meddelande 218, Statens väg- och trafikinstitut. Stockholm.
- Öberg, G. (1994) *Effekter av saltning och punktsaltning på gator*. TemaNord 1994:511, Nordisk Ministerråd, København.
- Öberg, G. (1996). *Osaltad vinterväghållning och sänkt hastighetsgräns vintern 1994/95 och 1995/96 på E4 i Region Norr. Effekt på väglag och hastighet*. VTI-notat nr 65-1996. Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI), Linköping.
- Öberg, G., Arnberg, R.W., Carlson, G., Helmers, G., Jutengren, K., Land, P-G. (1985). *Experiments with unsalted roads. Final report*. VTI-rapport 282A. Swedish Road and Traffic Research Institute (VTI), Linköping.
- Öberg, G, Gustafson, K., Axelson, L. (1991). *Effektivare halkbekämpning med mindre salt. MINSALT-projektets huvudrapport*. VTI-rapport 369. Statens väg- och trafikinstitut, Linköping.
- Öberg, G., Möller, S. (2009). *Hur påverkas trafiksäkerheten om restriktioner av dubbdäcksanvändning införs? Kan en förbättrad vinterväghållning medföra att trafiksäkerhetsnivån bibehålls?* VTI-rapport 648, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Vedlegg: Oversikt over viktige undersøkelser

Statens vegvesen Vegdirektoratet 1981	Salting og ulykker. En undersøkelse av saltingens betydning for ulykkestallet for perioden 1974-1980
Beskrivelse	Dette er en kvasieksperimentell undersøkelse der en har sammenlignet ulykkestall om vår/høst med vinter på matchede veistrekninger som saltes og ikke saltes. Sommertrafikk er holdt utenfor pga stor ferietrafikk på visse strekninger.
Resultater	Resultatene viser at det relative ulykkestallet (ulykker om vinter som andel av vår+høst+vinter) er lavere på saltede veistrekninger i 30 av i alt 37 par av strekninger. Statistisk pålitelig effekt.
Styrke	Meget godt metodedesign. Overbevisende resultater. Drøfter mulige metodesvakheter
Svakhet	Har ikke kontroll for en del variabler som kan være forskjellig på saltet og usaltet vei. Dersom enkelte trafikanter velger saltet vei fordi den er saltet vil det gi skjevheter i resultatene. Men i så fall blir effekten av salting underestimert. Har kun trafikk tall for fire strekninger, men tallene viser at det er en slik tendens til relativt mer kjøring om vinteren på saltet enn på usaltet.

Sakshaug 1995	Salting og trafikksikkerhet. Del 1: Før-etterundersøkelse av saltingens effekt på personskadeulykker
Beskrivelse	Dette er en før-etterundersøkelse der det er sammenlignet ulykker på strekninger som man har begynt å salte, før og etter saltingen har startet. I alt 1947 km riksveg er med som forsøksstrekninger. Disse har startet med salting i løpet av perioden 1982-1990. I tillegg har man benyttet riksveger utenfor bykommuner som ikke saltes per 1992 som kontroll – i alt 12900 km. Både før- og etterperioden er på minimum ett og maksimum tre år.
Resultater	11 % ulykkesreduksjon på saltet vei, når hele landet benyttes som kontroll. Reduksjonen er på 9 % når kontrollstrekningene begrenses til samme landsdel som forsøksstrekningene.
Styrke	Relativt omfattende mange strekninger. Har kontrollstrekninger. Har også kontrollert for/vurdert regresjonseffekt. (kontrollstrekninger og ulykker om sommeren som kontroll)
Svakhet	Kontrollstrekningene har systematisk lavere ÅDT og dårligere standard. Dermed kan salting tilskrives for mye effekt (stor trafikk -> lavere fart + stor trafikk -> smelter is/snø) Finner bare effekter etter 1988 Finner omtrent like stor ulykkesreduksjon på forsøksstrekningene om sommeren – og effekten om sommeren er også bare etter 1988. Etterperiodene sammenfaller i meget stor grad med vintre uten mye snø. Meget store forskjeller mellom før- og etterperioder når det gjelder økonomiske konjunkturer, noe som sterkt påvirker ulykkestallene. Store muligheter for at konjunkturer påvirker trafikkutviklingen forskjellig på forsøksstrekninger (hovedveier) og kontrollstrekninger (sekundære veier med lite trafikk). Ikke kontroll for trafikkutvikling på strekningene

Vaa 1995	Salting og trafikksikkerhet. Del 2: Sammenligning av ulykkesfrekvens på saltet og usaltet vegnett. Saltingens effekt på kjørefart.
Beskrivelse	Sammenligning av 32 strekninger på riksveg som saltes (881 km) med 18 trekninger på riksveg som ikke saltes (540 km). Ulykker, friksjon, trafikk osv. registrert 1991/92, 1992/93, 1993/94 Effekt beregnet som ulykkesfrekvens (antall ulykker per kjørt km) på saltet og usaltet vei. Kjøretøykm er beregnet som $\text{ÅDT} \times 365 \times \text{strekningsslengde} \times \text{antall kjøretøy}$. Ulykkesfrekvens om sommer på saltet/usaltet vei er benyttet som kontroll.
Resultater	26 % Ulykkesreduksjon på saltet vei
Styrke	Relativt omfattende med 50 strekninger. Relativt gode kontrollbetingelser (kontrollstrekninger og ulykker om sommeren som kontroll)
Svakhet	Kontrollstrekningene har systematisk lavere ÅDT og dårligere standard. Dermed kan salting tilskrives for mye effekt (stor trafikk -> lavere fart + stor trafikk -> smelter is/snø) Korreksjon for forskjeller i trafikkmengden mellom sommer og vinter på hhv. saltet og usaltet vei er gjort ved hjelp av standardvekter for årstidsvariasjon. Ikke konsistente resultater: store effekter vinteren 1991/92 og 1993/94, men ingen effekt vinteren 1992/93 (tabell 6.5, s. 50).

Vaa 1996	Bedre vintervedlikehold gir færre ulykker
Beskrivelse	En studie av effekter av økt vintervedlikehold på Ytre Ringvei i Sør-Trøndelag (Trondheim) sesongene 1993/94, 1994/95 og 1995/96. Økt vintervedlikehold i form av bedre brøyting og økt salting. Kontrollstrekningen – Ringvålvegen – har normalt vintervedlikehold.
Resultater	50 % ulykkesreduksjon som følge av bedre vintervedlikehold, og en nyttekostnadsbrøk = 46
Styrke	I utgangspunktet et godt design med forsøks- og kontrollstrekning og data før og etter. Benytter både politirapporterte personskadeulykker og forsikringsmeldte (materielle) skader. Konsistente resultater; både personskadeulykkene og materiellskadeulykkene gir resultater i samme retning.
Svakhet	Kontrollstrekningen har mye mindre trafikk enn forsøksstrekningen. Det er ingen data om trafikkutvikling på verken forsøks- eller kontrollstrekning. Ganske opplagt en regresjonseffekt til stede, men forfatteren forsøker å kontrollere for dette. For lite ulykkesmateriale

Sakshaug, Moltumyr, Rennemo, Vaa 2006	Effekt av forskjellige innsatsnivåer innen drift og vedlikehold: Sammenheng mellom ulykkesfrekvens, skadekostnad og føre- og friksjonsforhold
Beskrivelse	Data fra 28 strekninger (651 km) for tre vintersesonger 1998/1999-2000/2001. Registrering av vintervedlikehold, friksjon, trafikkarbeid og ulykker (209).
Resultater	Høyere risiko (ulykker per kjørt km) på vinterføre enn ellers (2,2 ganger så høy som på tørr, bar veg). Lavere risiko på veger som saltes enn som ikke saltes. Finner ikke støtte for at risikoen er høyere på begynnelsen av sesongen. Finner at lav friksjonskoeffisient er korrelert med høy ulykkesfrekvens (s. 33)
Styrke	Har gode data både over trafikkarbeid, føreforhold, friksjon og ulykker. Har undersøkt en rekke interessante sammenhenger mellom føreforhold, friksjon og ulykkesfrekvens.
Svakhet	Dårlig dokumentasjon Føremålingene er ikke nødvendigvis representative for hele strekningen de skal dekke Overraskende at våt is ikke har mye dårligere friksjon enn andre føreforhold (s. 19) Høyere ulykkesfrekvens (risiko) på hard snø enn på is – motsatt tendens i Statens vegvesens interne rapport (2269, april 2002). Ikke entydige resultater: ulykkesfrekvensen øker med lav friksjon <u>og</u> med høyere friksjon (s. 33). Tendens til å velge bort resultater som "ikke stemmer" (ulykkesfrekvens på våt veg, s. 22) + hvorfor lav friksjon (0,25-0,35) er mer negativt korrelert med ulykkesfrekvens enn høyere friksjon (0,35-0,45) s. 33.

Ragnøy, 2008	Fart, føre og friksjon. Valg av kjørefart på vinterføre
Beskrivelse	På 3 strekninger i Nord-Norge er det målt kjørefart, friksjon og registrert føreforhold. 27781 kjøretøyer inngår, og den samlede registreringstiden har vært 121 timer, vinteren 2006/2007.
Resultater	Trafikantene tilpasser seg i for liten grad til dårligere friksjon. På "synlig" vinterføre (snø/slaps) går farten ned med 5-8 prosent sammenlignet med bar veg (dvs. ca. 6 km/t). På bar våt veg reduseres ikke farten, og på tynn is/ bart i spor er fartsreduksjonen kun på 1 %. I gjennomsnitt velger trafikantene en fart som er 20-25 % høyere enn den burde ha vært for å opprettholde samme bremselengde som på tørr, bar veg.
Styrke	Har registreringer av fart, friksjon og føreforhold på samme strekninger/punkter. Tilstrekkelig med data til å beregne gjennomsnittsfart på de fleste førerforhold. Friksjonsmålingene stemmer relativt godt overens med andre undersøkelser i Norge.
Svakhet	Få data om noen føreforhold, f.eks. tynn is Fartsvalg på ulike føreforhold stemmer i liten grad med resultater fra andre norske undersøkelser (kan være reelle forskjeller).

Kallberg, 1996	Experiment with reduced salting of rural main roads in Finland
Beskrivelse	Ekspertiment med redusert salting (sodium clorin) på 375 km hovedveier i Kuopio vinterne 1992/1993 og 1993/1994. Mengden salt redusert fra 6-7 tonn per kilometer vei til 1-2 tonn. På kontrollveier ble det brukt fra 8 til 13 tonn salt. Forsøksveiene ble behandlet med sand i stedet. Friksjon, fart og ulykker ble registrert.
Resultater	Svak fartsreduksjon; 1-3 km/t i november 1992 og 1-1,5 km/t i mars 1994. Dårligere friksjon på usaltet vei enn på kontrollvei. Større avstand til forankjørende og mer forsiktig kjøring i følge politi. Ulykkene om vinteren omtrent uendret på forsøksstrekningen, men ulykkestallene på kontrollstrekningene gikk ned. Det estimeres en ikke signifikant økning på fem prosent i personskadulykker som følge av redusert salting.
Styrke	Har kontrollstrekninger. Beregner friksjonsendringer i tillegg til ulykker
Svakhet	Bruker hele det resterende veinettet som kontrollstrekning. Det kan inneholde ulykker som er typiske for sitt område og som er langt unna eksperimentstrekningene. Ikke data for trafikkutvikling – etterperioden kommer i periode med lavkonjunktur – kan være ulik trafikkutvikling på ulike deler av veinettet Ikke konsistens i resultatene; finner om lag like stor nedgang i ulykkestallene på høytrafikkerte veier (-28%) som oppgang på lavtrafikkerte veier (+22 %) Litt få ulykker

Niska, 2006	Tema vintermodell. Olycksrisiker och konsekvenser för olika olyckstyper på is- och snöväglag
Beskrivelse	Beregninger av risiko på ulike føreforhold i ulike deler av Sverige for vinterne 1993/94 – 1996/97.
Resultater	Studien viser økt risiko for ulykker på glatt føre, og særlig at tynn is øker risikoen sammenlignet med risiko på tørr, bar veg. Singleulykker og møteulykker øker på is/snø. Et interessant funn er at eneulykkene utgjør en stadig større andel av ulykkene på snø/is jo lenger sør i Sverige man kommer. Generelt er eneulykker overrepresentert på is/snø-føre, men denne effekten er altså sterkere jo lenger sør man kommer. Ulykkenes alvorlighetsgrad øker for møteulykker på snø/is og reduseres for singelulykker på snø/is sammenlignet på tørr bar vei.
Styrke	Meget omfattende datamateriale – mange ulykker Beregninger av risiko fordelt etter klimasoner (region), føreforhold, ulykkestyper Konsistente funn; Risikoøkning på snø/is er mindre på veier som ikke saltes og mindre jo lenger nord i Sverige man kommer Plausible mekanismer; møteulykker blir mer alvorlige på vinterføre fordi mange har fått sladd og blir truffet av møtende bil i siden. At singelulykkene blir mindre alvorlige er også plausibelt. Også logisk at det blir flere møteulykker i nord – færre møtefrie veier.
Svakhet	Få svakheter. Det kan nevnes at en stor del av rapporten viser relative fordelinger av ulykker på føreforhold/ulykkestyper osv. Slike fordelinger kan være misvisende – sum lik 100

Andrey, Mills, Vandermolen, 2001	Weather information and road safety
Beskrivelse	State-of-the-art gjennomgang av hva forskning har vist med hensyn til effektene av ulike værforhold på trafikkulykker. Gjennomgang av en rekke studier – flertallet er Canadiske/US, men også Skandinaviske studier er representert for vinterne 1993/94 – 1996/97.
Resultater	Studien viser økt risiko for ulykker ved nedbør, særlig ved snøfall. Kollisjoner ved snøfall er mindre alvorlige Singelulykker øker ved snøfall Uklart om dødsulykker øker ved snøfall Risiko er høyere på glatt føre, og særlig ved underkjølt regn/ tynn is Saltede veier har lavere risiko (henviser her til SINTEFundersøkelsen og Kallberg 1996) Atferdstilpasning skjer – særlig i form av fartstilpasninger (15-50 % fartsreduksjon). Eldre tilpasser seg mer enn yngre ITS har stort potensiale for å forbedre sikkerheten ved dårlig vær- og føreforhold. Bl.a. i form av varsling.
Styrke	Omfattende datamateriale – mange studier Atferdstilpasning er eksplisitt behandlet Systematisk og godt framstilt.
Svakhet	Litt lite kritisk i gjennomgangen. Domineres av canadiske og nordamerikanske studier

Qiu & Nixon 2008	Effects of adverse weather on traffic crashes. Systematic review and meta-analysis
Beskrivelse	Metaanalyse av 34 studier om værforholds betydning for ulykkesrisiko (1967-2005).
Resultater	Ulykkesrisiko øker ved nedbør, snø øker ulykkesrisiko med 84 % og personskaderisiko med 75 %. Regn øker ulykkesrisiko med 71 % og personskaderisiko med 49 %. Risikoøkningen av snøfall er større i gamle studier (1950-79) enn i nyere studier (1990-2005), men ikke tilsvarende endring for nedbør som regn.
Styrke	Kritisk utvalgelse av studier og systematisk gjennomgang og metaanalyse. Kontroll for trafikkmengde Finner samme tendens som i Sverige at risikoøkningen er høyere der man ikke er vant til vinterføre
Svakhet	Mange ulike former for korreksjoner – øker faren for feil Lite datagrunnlag når det gjelder dødsulykker Studier fra Nord-Amerika og Storbritannia dominerer – kanskje ikke representative for norske forhold

Fridstrøm, Ifver, Ingebrigtsen, Kulmala, Thomsen, 1995	Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts.
Beskrivelse	Statistisk analyse (Poisson regresjonsmodell) av månedlig variasjon i ulykkestall i de nordiske land
Resultater	Tilfeldig variasjon og eksponering forklarer til sammen 80-90 prosent av variasjon i ulykkestall. Snøfall reduserer antall ulykker, men overraskende snøfall øker risikoen.
Styrke	Stort datasett, spenner over mange år og fire land. Multivariat analyse som isolerer effekten av hver variabel Hevder å kunne dekomponere systematisk og tilfeldig variasjon i ulykkestallene
Svakhet	Mange variabler er på svært aggregert nivå eller grove mål. Mange variabler mangler for enkelte land. Effektene av snø/vinter er kontraintuitive og kan skyldes at eksponeringsdata er for aggregerte/usikre Store forskjeller i hvor stor andel av ulykkene som tilskrives tilfeldigheter i de fire landene. Mange utelatte variabler som skaper stor tilfeldig variasjon?

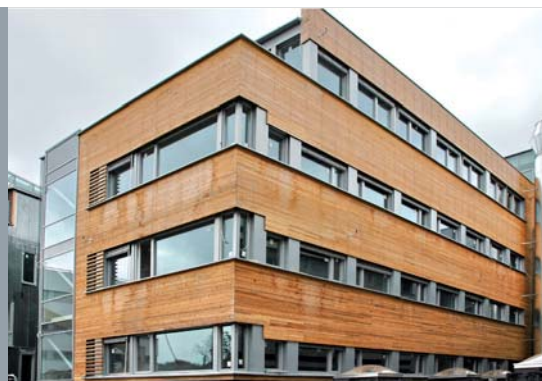
Norem 2009	A winter maintenance strategy for roads based on climatic factors.
Beskrivelse	Stort materiale – 3271 ulykker i alt. Kun dødsulykker og ulykker med alvorlig skade er med. Til dels samme dataset som Niska (2006). Litt annen problemstilling: Fokus på sammenheng mellom vedlikehold, klimasoner og ulykkesrisiko. Beregningene er gjort separat for hver av 4 klimasoner. Vintervedlikehold er gruppert i 3 standarder: A1+A2 Salting m liten toleranse for glatt vei/ A3+A4 Salting med større toleranse for glatt vei/ B1+B2 Sanding. Risiko er beregnet for hver vedlikeholdsstandard innenfor hver klimasone fordelt på fem føreforhold (tørr, bar vei, våt bar vei, hard snø/is, løs snø/slush og tynn is/rim).
Resultater	Stadfester de tidligere svenske resultatene fra Tema Vintermodell som finner at vinterføre øker ulykkesrisikoen i mye større grad når vinterføre inntreffer sjelden (Niska 2006). Finner også at saltede veistrekninger i Nord-Sverige har høyere risiko for alvorlige ulykker (drept + alvorlig skade) enn usaltede strekninger. Konkluderer med at bruk av salt kan gi totalt sett flere ulykker om vintervedlikeholdet fører til at 20-30% av trafikken foregår på snø og is. Med større andel trafikk på vinterføre er trafikantene forberedt og tilpasser seg, med mindre andeler blir trafikken på snø og is såpass lav at selv med høyere risiko resulterer det ikke i flere ulykker. I nordre Nord-Sverige, og andre områder med stabile vinterforhold vil varmbefuktet sand (fastsand) ofte være et mer hensiktsmessig friksjonsmiddel enn salt.
Styrke	Begrenser ulykkesanalysen til ulykker med drepte og alvorlig skade, som er relevante i et nullvisjonsperspektiv. Stort datasett, spenner over ulike klimasoner. Beregner ulykkesrisiko på veier med og uten salting i hver klimasone. Interessante sammenstillinger av resultater med anbefalinger.
Svakhet	Resultatene presentert i form av kurvedigrammer som kan være vanskelige å tolke. Savner tabeller (eventuelt i vedlegg) som viser faktiske ulykkes- eller skadetall og kjørte kilometer fordelt på vedlikeholdsklasse/klimasone/føreforhold. Uoverensstemmelse mellom tabell (table 3) med risikotall fordelt på vedlikeholdsklasse/ klimasone/ førerforhold og påstander i teksten. Savner også data om fartsgrenser på veier med ulike vedlikeholdsklasser.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO 0349 Oslo

Telefon: 22 57 38 00
Telefaks: 22 60 92 00
E-post: toi@toi.no

www.toi.no

**Transportøkonomisk institutt (TØI)**
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningssenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transporter og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.