


Effekter av dammbindning av belagda vägar


Mats Gustafsson
Göran Blomqvist
Per Jonsson
Martin Ferm

IVL Svenska
Miljöinstitutet

vti

FINDING A BETTER WAY

<p>Utgivare:</p>  <p>581 95 Linköping</p>	<p>Publikation: VTI rapport 666</p>		
<p>Författare: Mats Gustafsson, Göran Blomqvist, Per Jonsson och Martin Ferm</p>	<p>Utgivningsår: 2010</p>	<p>Projektnummer: 50610</p>	<p>Dnr: 2007/0412-24</p>
<p>Projektnamn: Effekter av dammbindning av belagda vägar</p>			
<p>Uppdragsgivare: Vägverket, Borlänge</p>			
<p>Titel: Effekter av dammbindning av belagda vägar</p>			
<p>Referat (bakgrund, syfte, metod, resultat) max 200 ord:</p> <p>Inandningsbara partiklar från vägdamm är ett hälsoproblem och en viktig orsak till att miljökvalitetsnormen för partiklar i utomhusluft inte nås i Sverige. Bildningen av vägdamm längs belagda vägar i de nordiska länderna är i stor utsträckning kopplad till dubbdäcksanvändning och vinterdrift av vägar, som till exempel sandning och saltning. För att minska uppvirvlingen används bland annat dammbindning, vilket innebär att en lösning sprayas på vägbanan som därigenom hålls fuktig och hindrar uppvirvlingen. Främst används kloridsalter men även andra mer miljövänliga alternativ har provats. Alla uppges fungera för dammbindning men vissa problem har uppstått med friktionssänkning, vilket bidragit till en osäkerhet kring användningen.</p> <p>Syftet med denna rapport är att utreda vilket dammbindningsmedel som har bäst effekt och samtidigt inte äventyrar trafiksäkerheten genom friktionssänkning.</p> <p>En litteraturundersökning avseende effekter av dammbindningsmedel föregick fältförsöken i denna studie. I fältförsöken testades fyra medel, kalciumklorid (CaCl₂), magnesiumklorid (MgCl₂), kalciummagnesiumacetat (CMA) och sockerlösning på riksväg 34 sydväst om Linköping.</p> <p>Resultaten visar att de provade dammbindningsmedlen har en likartad PM₁₀-sänkande effekt (ca 35–40 %) första dygnet efter utläggning. Effekten avtar under 3–4 dygn. CMA har initialt lägst friktionsvärden, medan CaCl₂, som appliceras i lägre koncentration, har högst friktion.</p> <p>Valet mellan de här provade dammbindningsmedlen påverkas främst av friktionsresultaten, men effekter på miljö, korrosion och inte minst ekonomi måste vägas in vid val av dammbindningsmedel. Med beaktande av friktionsresultaten kan kloriderna främst rekommenderas i trafikmiljöer där miljöhänsyn och korrosion inte är prioriterade hänsyn, medan CMA och socker kan rekommenderas där dessa hänsyn är viktiga.</p>			
<p>Nyckelord: vägdamm, dammbindning, CMA, kalciumklorid, magnesiumklorid, PM₁₀, friktion, socker.</p>			
<p>ISSN: 0347-6030</p>	<p>Språk: Svenska</p>	<p>Antal sidor: 65 + Appendix</p>	

Publisher:  SE-581 95 Linköping Sweden	Publication: VTI rapport 666		
	Published: 2010	Project code: 50610	Dnr: 2007/0412-24
	Project: Effects of dust binding of paved roads		
Author: Mats Gustafsson, Göran Blomqvist, Per Jonsson, Martin Ferm		Sponsor: Swedish Road Administration	
Title: Effects of dust binding of paved roads			
Abstract (background, aim, method, result) max 200 words: <p>Inhalable particles from road dust is a health problem and a major cause of the environmental quality standard for particles in outdoor air not being reached in Sweden. Formation of road dust along paved roads in the Nordic countries is largely related to the use of studded tires and winter operation of highways, such as sanding and salting. To reduce dust suspension chemical dust control is sometimes used, meaning that a chemical solution is sprayed onto the road which is thus kept moist and dust is prevented from whirling up. Mainly, chloride salts are used, but also more environmentally friendly alternatives have been tested. All are stated to operate for dust control, but some problems have arisen with friction reduction, which have contributed to the uncertainty surrounding their use.</p> <p>The purpose of this report is to investigate which dust control agents that have the best effect, while not compromising road safety by reducing friction.</p> <p>A literature survey on the effects of dust control agents was made prior to field trials in this study. This survey is annexed to this report. In the field experiments four dust binders were tested; calcium chloride (CaCl₂), magnesium chloride (MgCl₂), calcium magnesium acetate (CMA) and sugar solution on Riksväg 34 south of Linköping.</p> <p>The results show that the tested dust binders have a similar PM₁₀-lowering effect (35–40%) the first day after spreading. The effect diminishes over 3–4 days. CMA has the lowest initial friction values, whereas CaCl₂, which is applied in a lower concentration, has the highest friction.</p> <p>The choice between the tested dust binders is mainly based on results from friction tests, but the effects on the environment, corrosion, and not least economy, must be taken into consideration in the choice of dust binder. Considering the friction results, the chlorides can be recommended in traffic environments where environmental and corrosion issues have low priority, while CMA and sugar solution can be used where these issues have high priority.</p>			
Keywords: road dust, dust binding, CMA, calcium chloride, magnesium chloride, PM ₁₀ , friction, sugar			
ISSN: 0347-6030	Language: Swedish	No. of pages: 65 + Appendix	

Förord

Denna rapport har tillkommit för att få en klarare bild av, för Vägverket intressanta, dammbindningsmedels effekter avseende i första hand dammbindningsförmåga och friktion. Fältförsöken i denna rapport föregicks av en litteraturstudie där fler aspekter togs upp för att ge en klarare bild av olika dammbindningsmedels effekter på miljö, korrosion och ekonomi. Projektledare har varit Mats Gustafsson, VTI, och handläggare på Vägverket var initialt Pontus Gruhs och därefter Martin Juneholm.

Vi vill tacka berörda boende och markägare utmed riksväg 34, för positivt bemötande och för att de välvilligt lät oss ansluta våra mätstationer till deras eluttag, Lars Arwidsson och hans medarbetare på dåvarande Vägverket produktion för all hjälp med upprättande av mätplatserna. Vidare vill vi tacka Benny Ström på dåvarande Stadspartner, Tomas Halldin, Fredrik Gustavsson och Lars Engelbrektsson på VTI för all hjälp med hantering och omtankning av dammbindningsmedlen. Slutligen vill jag tacka Annika Jägerbrand, för en välbehövlig granskning av denna rapport.

Linköping december 2009

Mats Gustafsson

Kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört 2009-09-17 där Annika Jägerbrand, VTI, var lektor. Mats Gustafsson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus (2009-12-16). Projektledarens närmaste chef, Maud Göthe-Lundgren, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2010-02-11.

Quality review

Review seminar was carried out on 17 September, 2009 where Annika Jägerbrand, VTI, reviewed and commented on the report. Mats Gustafsson has made alterations to the final manuscript of the report on 16 December, 2009. The research director of the project manager, Maud Göthe-Lundgren, examined and approved the report for publication on 11 February, 2010.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Inledning	9
2 Syfte	11
3 Metod.....	12
3.1 Förberedelser inför fältmätningar.....	12
3.2 Spridning av dammbindningsmedel.....	16
3.3 Instrumentering.....	18
3.4 Analys av data	28
4 Resultat.....	31
4.1 PM ₁₀ -koncentration uppmätt med TEOM.....	31
4.2 Filterprovtagning	38
4.3 Partikelprover från vägytan.....	43
4.4 Lösliga ämnen på vägytan.....	44
4.5 Friktion	47
4.6 Korrosion	54
5 Diskussion	55
6 Slutsatser.....	61
7 Rekommendationer	63
Referenser.....	64

Appendix 1 Litteraturstudie

Effekter av dammbindning av belagda vägar

av Mats Gustafsson, Göran Blomqvist, Per Jonsson och Martin Ferm*
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

Inandningsbara partiklar från vägdamm är ett hälsoproblem och en viktig orsak till att miljökvalitetsnormen för partiklar i utomhusluft inte nås i Sverige. Bildningen av vägdamm längs belagda vägar i de nordiska länderna är i stor utsträckning kopplad till dubbdäcksanvändning och vinterdrift av vägar, som till exempel sandning och saltning. Vägdamm på vägytan virvlas upp av trafiken. För att minska uppvirvlingen används bland annat kemisk dammbindning, som innebär att en lösning sprayas på vägbanan som därigenom hålls fuktig och dammet förhindras att virvla upp. Främst används kloridsalter (magnesium- och kalciumklorid) som traditionellt används för dammbindning av grusvägar men även andra mer miljövänliga alternativ har provats. Alla uppges fungera för dammbindning men vissa problem har uppstått med friktionssänkning, vilket bidragit till en osäkerhet kring användningen, särskilt på vägar med hög hastighet.

Syftet med denna rapport är att utreda vilket dammbindningsmedel som har bäst effekt och samtidigt inte äventyrar trafiksäkerheten genom friktionssänkning.

En litteraturundersökning avseende effekter av dammbindningsmedel föregick fältförsöken i denna studie. I fältförsöken testades fyra medel, kalciumklorid (CaCl_2), magnesiumklorid (MgCl_2), kalciummagnesiumacetat (CMA) och sockerlösning på en nord-sydlig sträckning av riksväg 34 sydväst om Linköping. Varje medel lades ut sex gånger. Dosen var 20 g/m^2 och utläggningen skedde på var sin 600 m lång sträcka. Partikelhalterna (PM_{10}) mättes med TEOM i mitten av provsträckorna och jämfördes med halterna på en referenssträcka och halterna före behandlingen. Partikelprover togs nära vägen med aktiva och passiva provtagare och vid ett par tillfällen efter sista behandlingen provtogs även dammet på vägytan. Friktionen mättes vid tre utläggningstillfällen med SAAB friction tester (SFT). Friktionstest utfördes även på det ligninbaserade dammbindningsmedlet Dustex.

Resultaten visar att de provade dammbindningsmedlen har en likartad PM_{10} -sänkande effekt (ca 35–40 %) första dygnet efter utläggning. Efter andra utläggningen är effekten så stor som ca 60 %, vilket kan tyda på en ackumulerad effekt. Effekten avtar under 3–4 dygn.

CMA har initialt lägst friktionsvärden, medan CaCl_2 , som appliceras i lägre koncentration, har högst friktion. Friktionen på kloriderna ökar långsamt, medan CMA, socker och Dustex påverkas snabbare av trafikens och meteorologins upptorkande effekt. Medlen sprids till omgivningen, men depositionen avtar snabbt med avståndet från vägen. Mätningar på vägytan visar att medlen finns kvar, särskilt utanför hjulspåren (vägmitt) även 20 dagar efter utläggning.

Valet mellan de här provade dammbindningsmedlen påverkas alltså främst av friktionsresultaten, men effekter på miljö, korrosion och inte minst ekonomi måste vägas in vid val av dammbindningsmedel. Med beaktande av friktionsresultaten kan kloriderna

* IVL Svenska Miljöinstitutet AB

främst rekommenderas i trafikmiljöer där miljöhänsyn och korrosion inte är prioriterade hänsyn, medan CMA och socker kan rekommenderas där dessa hänsyn är viktiga.

Effects of dust binding of paved roads

by Mats Gustafsson, Göran Blomqvist, Per Jonsson and Martin Ferm*
VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)
Se-581 95 Linköping Sweden

Summary

Inhalable particles from road dust are a health problem and a major cause of the environmental quality standard for particles in outdoor air not being reached in Sweden. Formation of road dust along paved roads in the Nordic countries is largely related to the use of studded tires and winter operation of highways, such as sanding and salting. Road dust on the road surface is suspended to the air by traffic. To reduce dust suspension chemical dust control is sometimes used, meaning that a chemical solution is sprayed onto the road which is thus kept moist and dust is prevented from whirling up. Mainly, chloride salts (magnesium and calcium chloride) are used, which are traditionally used for dust control of unpaved roads. Nevertheless, also more environmentally friendly alternatives have been tested. All are stated to operate for dust control, but some problems have arisen with friction reduction, which have contributed to the uncertainty surrounding their use, particularly on roads with high speed.

The purpose of this report is to investigate which dust control agents that have the best effect, while not compromising road safety by reducing friction.

A literature survey on the effects of dust control agents was made prior to field trials in this study. This survey is annexed to this report. In the field experiments four dust binders were tested; calcium chloride (CaCl_2), magnesium chloride (MgCl_2), calcium magnesium acetate (CMA) and sugar solution on a north-south stretch of Riksväg 34 south of Linköping. Every dust binder was spread six times. The dose was 20 g/m^2 and the spreading occurred on a 600 m long stretch for each binder. Particulate concentrations (PM_{10}) were measured with TEOM in the middle of the test sections and compared with levels at a reference stretch and for the time period before the dust binder application. Particulate samples were collected near the road with active and passive samplers and in a couple of occasions after the last treatment samples were also taken of dust on the road surface. The friction was measured on three occasions with SAAB Friction Tester (SFT). Friction tests were carried out also on the lignine-based dust control product Dustex.

The results show that the tested dust binders have a similar PM_{10} -lowering effect (35–40%) the first day after spreading. After the second application the effect is as large as 60 % which might imply a cumulative effect. The effect diminishes over 3–4 days.

CMA has the lowest initial friction values, whereas CaCl_2 , which is applied in a lower concentration, has the highest friction. The friction on the chlorides increase slowly, while CMA, sugar and Dustex reacts faster on the drying effect of traffic and meteorology. The dust binders are dispersed to its surroundings, but the deposition decreases rapidly with distance from the road. Measurements on the road surface show that the binders are still present, particularly outside the wheel tracks (road middle) even 20 days after spreading.

* IVL Swedish Environmental Research Institute

The choice between the tested dust binders is therefore mainly based on results from friction, but the effects on the environment, corrosion, and not least economy, must be taken into consideration in the choice of dust binder. Considering the friction results, the chlorides can be recommended in traffic environments where environmental and corrosion issues have low priority, while CMA and sugar can be used where these issues have high priority.

1 Inledning

I Sverige, liksom i Norge och Finland, är vägdamm, eller icke-avgasrelaterade partiklar, en viktig orsak till överskridanden av miljökvalitetsnormen för inandningsbara partiklar i utomhusluft (Gustafsson, 2001). Men även om problemet är påtagligt i de Nordiska länderna, förekommer uppvirvling av damm från vägar i olika omfattning överallt under torra förhållanden. Uppvirvlingen, som ofta kallas resuspension, har uppmärksammats på många håll i världen, bl.a. USA (Abu-Allaban et al., 2003), Tyskland (Gehrig et al., 2004), Österrike (Hafner, 2007), Finland (Hosiokangas et al., 2004) m.fl.

Vägdamm i Sverige kommer från slitage av vägbeläggning (främst genom dubbdäcksanvändning), däck och bromsar, men även från vintersandning, saltning och partiklar som deponerats i vägmiljön från källor utanför vägsystemet. Dubbdäcksanvändningen medför att stora mängder partiklar bildas under vinterhalvåret, då emissionen oftast är låg på grund av att vägytan ofta är fuktig, snöig eller isig. På våren, då gator och vägar torkar upp, kan det ansamlade dammet virvlas upp i luften av trafiken. Dubbdäck används oftast ”in i det sista” och bidrar till direkta partikelemissioner samtidigt som upptagningen av vinterns utlagda sand dröjer tills risken för ny halka bedöms obefintlig. Sammantaget bidrar dessa faktorer till att våren är den tid då flest överskridanden av miljökvalitetsnormen sker.

Flera åtgärder provas för att minska partikelhalterna. I drabbade kommuners åtgärdsprogram ingår genomgående åtgärder mot dubbdäcksanvändning, som hittills tagit sig uttryck i informationskampanjer. Vägverket har föreslagit (2009) nya regler för dubbdäck, där kommuner ska kunna förbjuda dubbdäck på vissa gator, förkortad dubbdäcksäsong och minskat antal dubbar i däcken. Andra åtgärder berör hastighetssänkning, städning och dammbindning.

Dammbindning innebär att damm på vägytan och damm som bildas i kontakten mellan däck och vägyta förhindras att emitteras till luften genom att vägytan hålls fuktig. Enklast, billigast och miljövänligast är att begjuta ytan med vatten, men vatten har nackdelen att snabbt torka upp. Dessutom genomförs dammbindning under våren då risk för frost gör att vattenbegjutning kan medföra halkrisk. Istället används därför i de nordiska länderna Sverige, Norge och Finland antingen kloridbaserade salter, såsom magnesiumklorid, kalciumklorid och kalciummagnesiumacetat (CMA). Samtliga dessa medel har fördelen att vara hygroskopiska och har därför möjlighet att hålla vägytan fuktig under längre tid än endast vatten.

I Norge används magnesiumklorid i flera städer för dammbindning. I Trondheim städas gatorna direkt följt av dammbindning, med god effekt. Flera studier i tunnlar har visat på mycket god effekt av dammbindning med magnesiumklorid. I Finland används kalciumklorid sedan början på 1990-talet vid vårstädningen, då dammbindning direkt föregår städinsatsen (Gustafsson, 2002). I Sverige har Stockholm, Göteborg, Norrköping och Linköping provat dammbindning och fokus har här legat på CMA, som ett miljövänligare alternativ, men magnesiumklorid och sockerlösning har även provats (Johansson et al., 2005; Sjöstedt and Derneryd, 2007).

Även i andra delar av Europa provas dammbindning mot höga partikelhalter. Inom det nationella forskningsprogrammet IPL (Innovatieprogramma Luchtkwaliteit, det vill säga Innovationsprogrammet för luftkvalitet) i Nederländerna har provats begjutning med såväl vatten som kalciumkloridlösning (IPL 2009) och i de österrikiska och italienska städerna Klagenfurt, Lienz och Bruneck implementeras CMA som dammbindningsmedel inom EU-projekten KAPA-GS och CMA+ (www.life-cma.at).

Dammbindning är en förhållandevis enkel åtgärd, som visserligen inte åtgärdar partikelkällan, men hindrar att dammet virvlar upp från vägytan. De försök som gjorts visar dock på några viktiga problemställningar:

- Då de studier som gjorts är förhållandevis få och har genomförts under olika meteorologiska och trafikmässiga förutsättningar med olika doser, koncentrationer och spridningssätt är det svårt att dra generella slutsatser om vilket medel som är effektivast ur dammbindningssynpunkt.
- Samtliga provade medel har gett upphov till friktionsproblem, vilket är den enskilt viktigaste orsaken till att tveksamhet råder kring om dammbindning är en lämplig metod för att förbättra luftkvalitet.
- Samtliga medel har dessutom andra sekundära effekter avseende korrosion, miljöpåverkan och inte minst ekonomi. Dessa aspekter bör vägas in i helhetsbedömningen av användningens sammantagna effekter.

Dessa osäkerheter har medfört tveksamhet kring vilket medel som är lämpligast för dammbindning och hur medlen bör användas.

2 Syfte

Syftet med föreliggande rapport har varit att bedöma fyra olika dammbindningsmedels funktion och deras sekundära effekter. Dammbindningsfunktionen och effekten på friktion har studerats i ett fältförsök medan övriga sekundära effekter ingår i en litteraturstudie inom projektet.

3 Metod

De metoder som använts i undersökningen delas här upp i förberedelser inför fältmätningar, spridning av dammbindningsmedlen, fältmätningar samt analys av data.

3.1 Förberedelser inför fältmätningar

3.1.1 Undersökta dammbindningsmedel

Val av dammbindningsmedel gjordes i samråd med Vägverket och är baserat på de medel som provats med påvisbar eller påstådd positiv effekt på damning från belagda vägar i Sverige, Norge och Finland. CMA är aktuellt i flera svenska städer på grund av god dammbindande förmåga och förhållandevis små negativa bieffekter på miljö och korrosion. CaCl_2 används för dammbindning i Helsingfors. MgCl_2 används för dammbindning i Oslo och Trondheim och har även provats i Stockholm. Sockerlösning provas av Vägverket för halkbekämpning, men har även testats för dammbindning i Göteborg. De medel och koncentrationer som ingick i denna undersökning var lösningar av:

- kalciummagnesiumacetat (CMA, 25 %)
- kalciumklorid (CaCl_2 , 10 %)
- magnesiumklorid (MgCl_2 , 25 %)
- sockerlösning (25 %).

Den lägre koncentrationen för CaCl_2 är ett resultat av att finska studier (Viinanen, 2007) påvisat problem med friktion vid högre halter. Detta är också den koncentration som används praktiskt i Helsingfors.

Vid ett av friktionstesterna användes även dammbindningsmedlet Dustex på en extra sträcka. Dustex är lignosulfonat och baserat på lignin, som är ett naturligt bindemedel.

3.1.2 Kriterier för mätlokalerna och mätsträckornas egenskaper

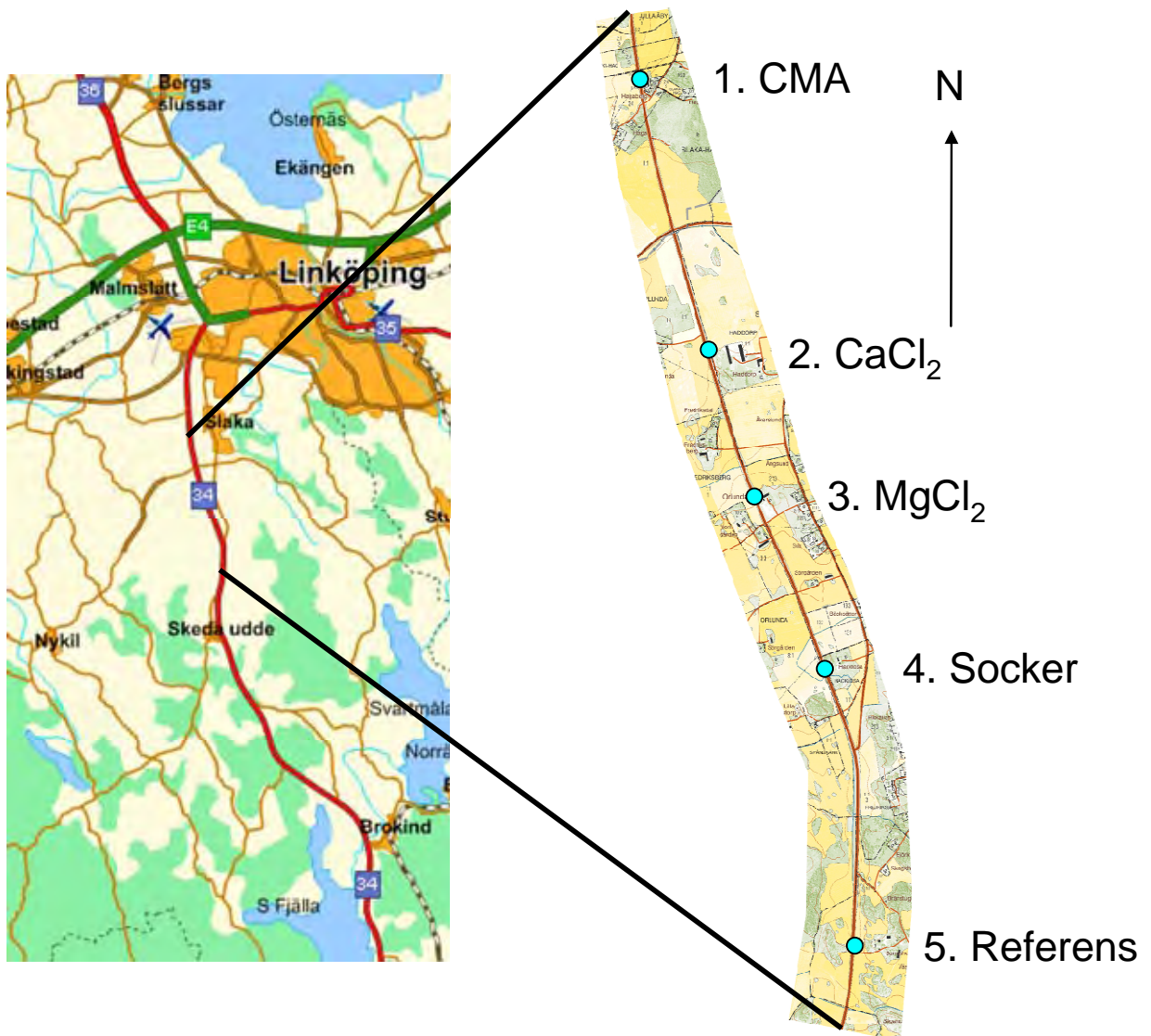
Innan själva fältförsöken inleddes fördes diskussioner om mätlokalernas utformning. För att möjliggöra jämförelse av de olika dammbindningsmedlen formulerades ett antal kriterier:

- Medlens effektivitet skall undersökas under samma väder- och trafikförhållanden. I praktiken innebar det att alla dammbindningsmedel skulle läggas ut på samma vägsträcka över ett begränsat avstånd under samma tidsperiod.
- Effekten av de olika dammbindningsmedlen skall vara isolerade från varandra. Spridning av medlen kunde således inte ske i direkt anslutning till varandra. Ett mellanrum mellan vardera medel planerades därför, både för att minimera att medel sprids med trafiken till nästa lokal där ett annat medel spridits och för att respektive medels inverkan på uppmätt partikelhalt kan isoleras från varandra.
- Mätplatserna skall vara likartade med avseende på markanvändning och topografi. I detta avseende eftersträvades öppna landskap där vind inte påverkades av högre vegetation, byggnader eller höjdskillnader.
- Vägsträckan skall vara belagd med samma asfaltbeläggning (med avseende på ålder, stenstorlek) och ha samma bredd vid alla mätsträckor.

- Vägsträckan skall i möjligaste mån vara orienterad vinkelrätt mot den förhärskande vindriktningen, dvs. sydvästlig vind i denna region. En vägsträcka med orientering så nära NV–SO som möjligt eftersöktes för att mätinstrumenten ska kunna placeras nedvinds vägområdet och därmed utsättas för emitterade partiklar.
- Då flertalet av instrumenten som kom att användas i undersökningen kräver anslutning till elnät placerades mätlokalerna där det fanns tillgång till el inom rimligt avstånd.
- Förutom sträckorna där CMA, CaCl₂, MgCl₂ samt sockerlösning skulle spridas upprättades en referensstation. Vid denna var förutsättningarna desamma som för de övriga mätlokalerna bortsett från att inget medel här spreds.
- Trafikmängden på vägsträckan måste vara tillräcklig för att utgöra en väl mätbar källa till partiklar, urskiljbar från bakgrunden.

En vägsträcka som uppfyllde samtliga av dessa kriterier var Riksväg 34 strax söder om Linköping. Vägen har en årsdygnstrafik (ÅDT) på cirka 7 000 fordon. Figur 1 visar sträckan och placering av de fem mätsträckorna (fyra för dammbindningsmedlen, en för referensstationen).

Vardera sträckan var 600 m lång där mätstationen var placerad i mitten. Avstånden mellan mätsträckorna varierade något vilket var nödvändigt för att uppfylla kriterierna ovan. Minsta avstånd mellan mätsträckorna var dock 500 m.



Figur 1 Riksväg 34 söder om Linköping och lokalerna för de fem mätsträckorna och stationerna. Ur Terrängkartan ©Lantmäteriverket Gävle 2009. Medgivande MEDGIV-2009-21596.

Figur 2 visar placering av mätlokalerna för respektive dammbindningsmedel i terrängen i större detalj. Samtliga mätlokaler placerades på östra sidan av Riksväg 34, detta eftersom den förhärskande vindriktningen är sydvästlig. Möjligheten att fånga upp emitterade partiklar från vägområdet ökar därmed vid denna placering nedvinds vägen. Likaså placerades inloppen till partikelinstrumenten nära vägen, 2 meter från yttre vita linjen för att komma så nära källan som möjligt. Mätlokalerna 1–4 har en ungefärlig orientering i riktning NNV–SSV medan referensstationen (5) har en orientering i riktning N–S. Samtliga stationer var belägna i landskap med öppna fält väster om vägen. Öster om vägen fanns viss bebyggelse, i synnerhet vid station 1.

I Figur 3 visas fotografier av mätlokalerna med viss utrustning installerad.

1. CMA 25%



2. CaCl₂ 10%



3. MgCl₂ 25%



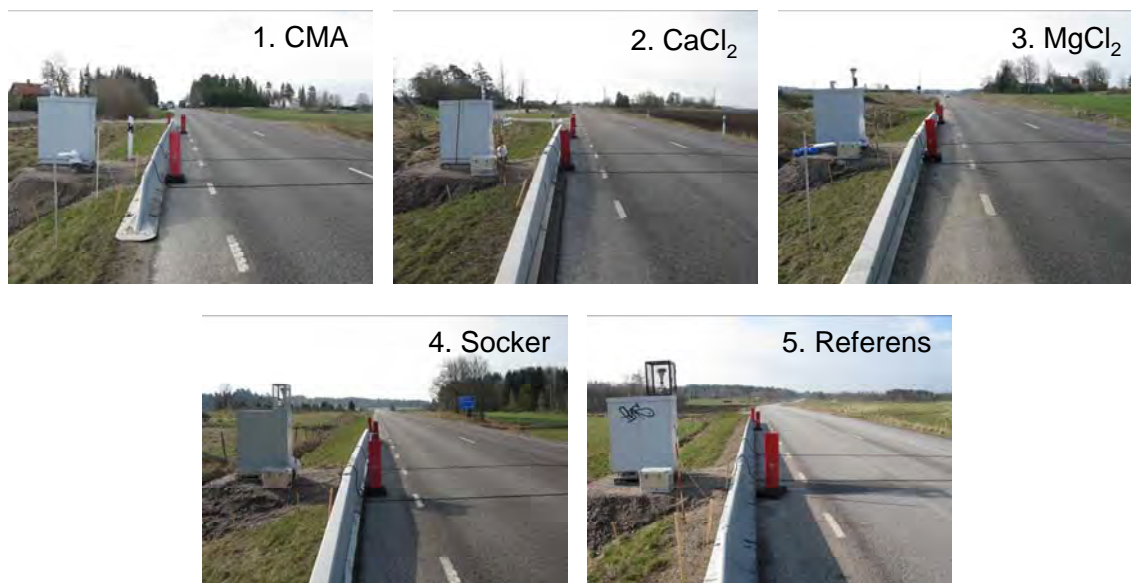
4. Socker 25%



5. Referens



Figur 2 Mätstationernas placering längs Riksväg 34. Ur Terrängkartan ©Lantmäteriverket Gävle 2009. Medgivande MEDGIV-2009-21596.



Figur 3 Fotografier av respektive mätstation.

3.1.3 Iordningsställande av mätlokalerna

Fältundersökningen krävde att platåer bestående av stenkross konstruerades i dikeskanten på vilka tung utrustning kunde placeras. För att få placera instrument så nära vägbanan krävdes även betongbarriärer (se Figur 3).

Som tidigare nämndes placerades stationerna i närheten (inom 100–300 m) av byggnader med syftet att få tillgång till el. Efter avtal med mark- och fastighetsägare drogs kablage från respektive mätlokal till närliggande byggnad.

3.2 Spridning av dammbindningsmedel

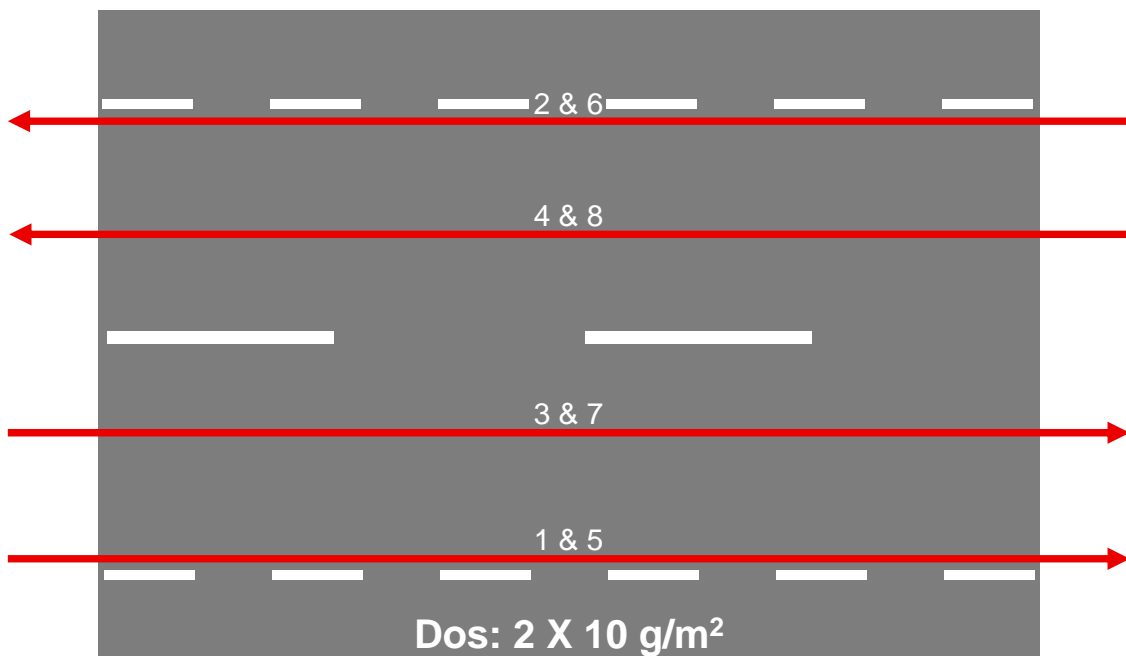
3.2.1 Utrustning och utlagd mängd dammbindningsmedel

I försöken användes en pick-up utrustad med EPOKE HCV City sprayer och spraymunstycken på en spridarramp (Figur 4), som även utnyttjas av Norrköpings och Linköpings kommuner för spridning av CMA. För att täcka hela vägbanan spreds medel på varje mätplats ut enligt ett körschema beskrivet i Figur 5. Dosen som användes var $2 \times 10 \text{ g/m}^2$. Detta för att få till en jämn spridning över hela vägytan och undvika fläckvis försämrad friktion på grund av ansamlingar av dammbindningsmedel.

Vid varje insats lades medlen ut i samma ordning (CMA, CaCl_2 , MgCl_2 och socker). Då endast ett fordon fanns tillgängligt måste tanken sköljas ur och fyllas med nästa dammbindningsmedel mellan utläggningarna. Då vägsträckan ligger nära VTI, där medlen förvarades, kunde hela utläggningsförfarandet klaras på drygt 2 timmar, väl innan morgontrafiken startade.



Figur 4 Spridarbil från BEFAB utrustad med en ramp med spraydysor och Epoke styrsystem för dosering av giva. Påfyllning av tanken (övre bilderna). Spridarramp (nedre vänstra bilden). Spridning på väg (nedre högra bilden).



Figur 5 Körschema för täckning av mätsträckorna med dammbindningsmedel.

3.2.2 Tider för utläggning

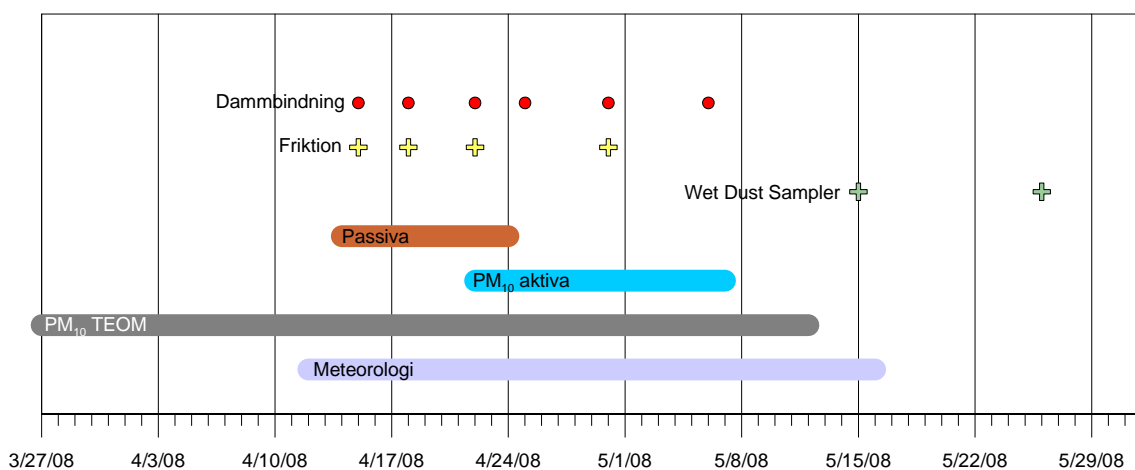
Totalt spreds dammbindningsmedlen vid sex tillfällen under perioden 2008-04-15–2008-05-06 (Tabell 1). En rutin inarbetades vilket medförde att de senare utläggningarna gick snabbare. Vid alla spridningstillfällen spreds CMA först, följt av CaCl_2 , MgCl_2 och sockerlösning.

Tabell 1 Utläggningstider för de fyra dammbindningsmedlen.

Utläggning # (datum)	CMA start-stopp	CaCl_2 start-stopp	MgCl_2 start-stopp	Sockerlösning start-stopp
1 (15/4)	01:54–02:03	02:35–02:45	03:10–03:17	03:45–03:52
2 (18/4)	01:40–01:50	02:25–02:37	03:07–03:15	03:50–03:57
3 (22/4)	01:16–01:28	01:49–01:58	02:26–02:34	03:01–03:11
4 (25/4)	01:06–01:15	01:38–01:46	02:09–02:18	02:42–02:52
5 (30/4)	01:04–01:12	01:33–01:40	02:02–02:10	02:34–02:42
6 (6/5)	01:05–01:13	01:35–01:48	02:11–02:18	02:44–02:51

3.3 Instrumentering

Detta avsnitt beskriver den instrumentering som använts i fältundersökningen med avseende på funktion, uppmätta parametrar samt drift. Installationen inleddes 2008-03-27 och mätningarna avslutades 2008-05-15. Figur 6 visar när de olika mätningarna utfördes under mätperioden.



Figur 6 Insatser under mätperioden.

3.3.1 Partikelhalter

Partikelmätningarna utgör stommen av de undersökta parametrarna. Tre olika mätmetoder användes under mätperioden: TEOM, aktiva partikelprovtagare samt passiva partikelprovtagare.

TEOM (PM₁₀)

Mätningar med TEOM-instrument är en godkänd metod inom EU för att övervaka halter av PM₁₀. Instrumentet bygger på gravimetrisk mätning av partikelmassan ($d < 10 \mu\text{m}$) per volymenhet luft som passerar instrumentet under en viss tidsperiod.

Ett TEOM-instrument mätte kontinuerligt vid vardera mätstationen under fältperioden. Instrumenten var placerade 2 m från vägens kantlinje och höjden på luftintaget till instrumentet var drygt 2 m. Tidsupplösningen var under hela perioden 1 minut för samtliga TEOM-instrument vilket resulterade i knappt 70 000 mätvärden per mätstation. Nedladdning av data skedde kontinuerligt med hjälp av uppringning över modem.

Aktiva partikelprovtagare (PM₁₀ och PM_{2,5})

Förutom TEOM-instrumenten användes även aktiva partikelprovtagare för PM₁₀ och PM_{2,5}, som utvecklats av IVL (Figur 7). Även dessa bygger på gravimetrisk mätning av partikelmassa per volymenhet luft. Genom förvägda teflonfilter passerar 17,8 l luft per minut vilket ungefärligen motsvarar en vuxen persons andning (kompensation för tryckfall?). Efter valfri tidsperiod avbryts provtagningen på filtret som åter vägs och ger ett integrerat värde av partikelhalten under den period provtagningen pågick. Tidsupplösningen är normalt mycket lägre än den för TEOM-instrumenten.

Till metodens fördel hör att insamlade partiklar även kan användas till vidare analys efter att partikelmassa per volymenhet luft ($\mu\text{g m}^{-3}$) fastställts. Till dessa hör visuell mikroskopering och kemisk analys.



Figur 7 Aktiva partikelprovtagare (PM₁₀ och PM_{2,5}) och box med pumpar som driver vardera provtagare.

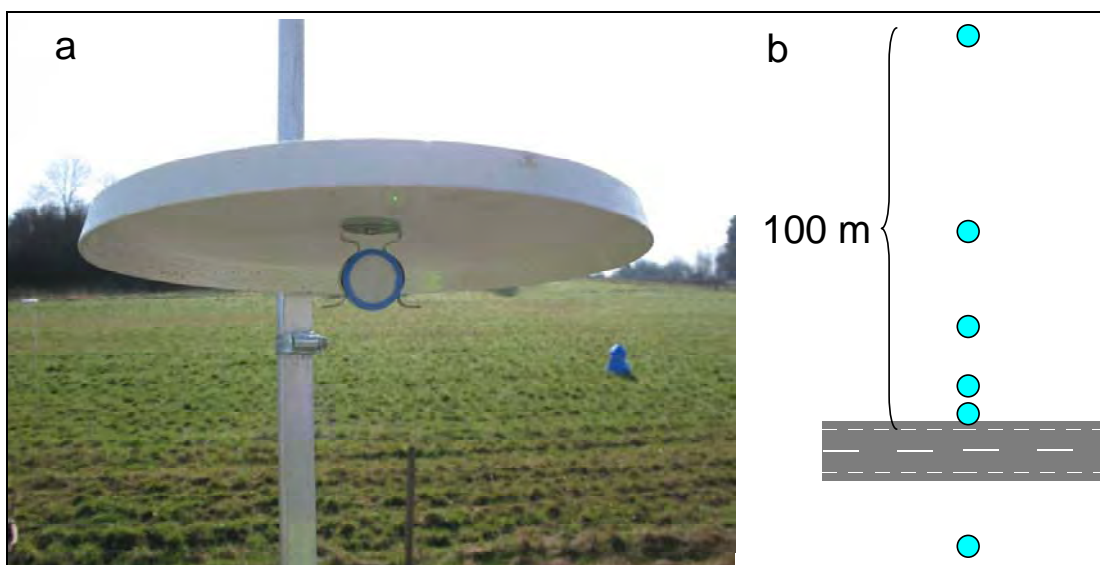
Provtagningen med denna utrustning skedde inte kontinuerligt. Istället sattes pumparna igång strax efter det att dammbindningsmedlen spridits och fick sedan exponeras 1–3 dagar. Detta gjordes vid fyra av de sex tillfällena då dammbindningsmedel spreds.

Mätningarna gjordes 1,5 m från vägens kantlinje på 1,6 m

Passiva partikelprovtagare (samtliga suspenderade partiklar)

Förutom aktiva partikelprovtagare, som drivs av pumpar, användes även passiva partikelprovtagare av platt typ (Ferm, 2004) (Figur 8). Dessa drivs inte av pumpar utan låter partiklar deponera fritt på en vertikalt monterad filteryta. Ingen särskiljning görs med avseende på partikelstorlek. Stora partiklar deponeras effektivare än små. Provtagnings effektiviteten blir därför omvänd jämfört med PM_{10} . Trots detta är korrelationen mellan deponerad partikelmängd och PM_{10} -halt i luft mycket god om man befinner sig långt från källan (Ferm, M et al., 2006). Partiklarna deponeras huvudsakligen via impaktion (Ferm, 2004).

Figur 8a visar den relativt enkla och billiga metoden att provta partiklar. Ett passivt filter är monterat under regnskydd som i sin tur är monterat på en aluminiumstav. Vid varje mätstation placerades passiva provtagare i en profil tvärs vägen: en provtagare på västra sidan (uppvindsvägen) och fem provtagare på östra sida (nedvindsvägen). På östra sidan spreds de fem provtagarna över 100 m (Figur 8b). Avståndet mellan dem var inte ekvidistant utan provtagarna placerades med avstånden logaritmerade längs de 100 m öster om vägen (på 2, 5, 14, 38 och 100 m avstånd). Orsaken till detta är att partikelhalter i vägmiljöer har visats avta logaritmiskt med avstånd från vägen (Amereih, et al. 2005). Störst variation i partikelhalt- och sammansättning kan därför förväntas att fångas in i närheten av vägen med detta upplägg.



Figur 8 Bild av monterad provtagare (a) och deras placering vid respektive mätstation (b).

Idealiskt skulle provtagarna ha placerats på samma höjd över vägytan på alla avstånd, vilket dock topografin omöjliggjorde. Istället placerades de passiva partikelprovtagarna på ca 1,8 m höjd över marken.

Filtren närmast på östra sidan av vägen vägdes före och efter utplacering. Detta medgav att ett mått på partikelhalt kunde beräknas i enheten $\mu\text{g cm}^{-2} \text{dag}^{-1}$. Denna deponering på filtren är inte jämförbar med de övriga haltmätningarna men möjliggör relativ jämförelse mellan mätstationerna.

Förutom ett mått på partikelhalt kan de passiva provtagarna också användas till mikroskopering av deponerade partiklar och kemisk analys av dem. En omgång filter som provtogs under ca en vecka i samband med spridning av dammbindningsmedlen

användes till mikroskopering då provtagarna utrustades med nucleporefilter som är särskilt lämpade för detta ändamål. Den andra omgången utrustades med teflonfilter som användes till kemisk analys av katjoner, anjoner och acetat. Mikroskopering gjordes med SEM (svepelektronmikroskop) med avsikt att studera om partiklar från dammbindningsmedlet kunde identifieras morfologiskt och genom elementsammansättning med hjälp av EDX (emissionsdispersiv röntgenanalys). Den kemiska analysen genomfördes på ämnen associerade med respektive dammbindningsmedel för att studera om och i så fall hur långt medlet sprids till omgivningen.

3.3.2 Friktion

Tidigare studier har påvisat att spridning av dammbindningsmedel verkar nedsättande på friktionen (Gustafsson m.fl., 2008). Till viss del kan effekten tillskrivas att vägytan blir fuktig men viss skillnad mellan de olika dammbindningsmedlen har fastställts. För att åter undersöka dessa skillnader gjordes fler friktionsmätningar under de förutsättningar som övriga fältmätningar utfördes.

Vid de tidigare försöken användes Traction Watcher One (TWO). I den följande undersökningen som här avses användes istället SAAB Friction Tester (Figur 9) som är en referensmetod. I jämförelse mellan de två metoderna ger TWO lägre värden av friktion, 88 % av dem som SAAB Friction Tester ger. Detta bör komma ihåg vid jämförelse med resultat som presenteras av Gustafsson m.fl. (2008). Metoden bygger på att ett separat hjul i mitten av bilen bromsas med viss kraft varvid testhjulet släpper från underlaget, s.k. ”slip”. Slip definieras som förhållandet mellan hjulets rotationshastighet och fordonets färdhastighet multiplicerat med 10 ($\text{slip} = 100 \times (\text{rotationshastighet} / \text{färdhastighet})$); ett värde på 100 innebär att hjulet är helt låst medan hjulet rullar allt friare när talet går mot noll. För varje värde av slip som däcket utsattes för registrerades ett värde för friktionskoefficienten (μ), där 1 är högsta friktion.

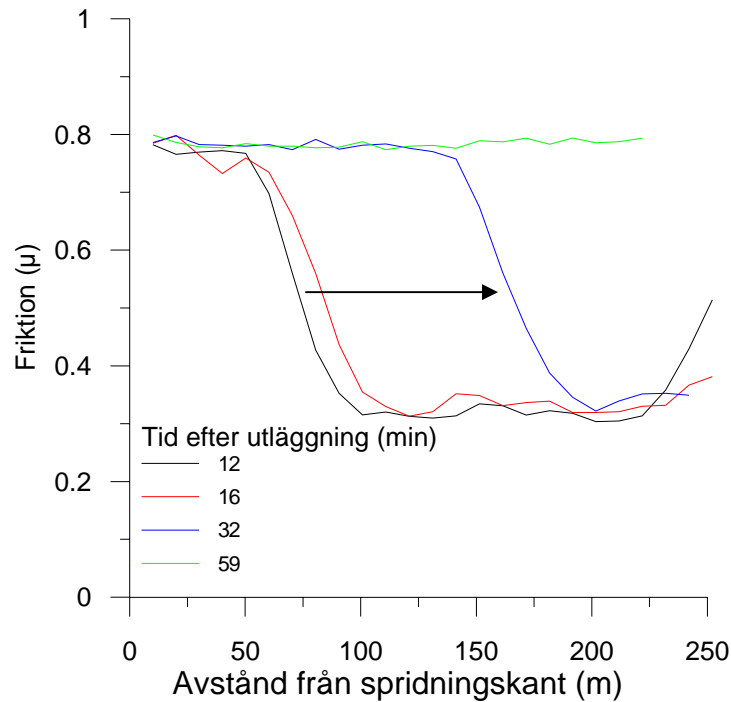
Sammanlagt genomfördes fyra friktionsmätningar i samband med spridning av dammbindningsmedlen. Tre av dessa gjordes nattetid direkt efter att medlen spridits. På vardera sträcka gjordes mellan 5–7 mätningar efter det att medlen lagts ut. För att undersöka hur friktionen förändrades gjordes mätningar under hela natten, upp till 6,5 h efter utläggningarna.

Den fjärde mätningen genomfördes under dagtid efter spridning av dammbindningsmedlen. Skillnaden mellan denna mätning och de tre övriga var att en vattenfilm (0,5 mm) lades ut av friktionsmätbilen framför mät hjulet. Detta gjordes för att simulera vad som händer med friktionen vid lätt regn efter att vardera dammbindningsmedel torkat, dvs. när kvarvarande medel åter går i lösning.



Figur 9 SAAB Friction Tester under ett mätförlopp på Riksväg 34.

Ett problem som uppmärksammas i bl.a. Gustafsson m.fl. (2008) är att dammbindningsmedlen smetas ut av trafiken (Figur 10). Om då ett medelvärde för friktion beräknas för hela den utlagda sträckan, kommer ett dammbindningsmedel som smetas ut i stor utsträckning att med tiden ge ett ökande friktionsvärde eftersom början på sträckan kommer att torka upp snabbt. Samtidigt kan friktionen nedströms längs sträckan vara lika låg som initialt. Dammbindningsmedel tenderar att smetas ut olika beroende på medlens klubbighet. Därför har medelvärden för friktion i denna rapport beräknats endast för försökssträckornas sista tredjedel i båda färdriktningarna (200 m).



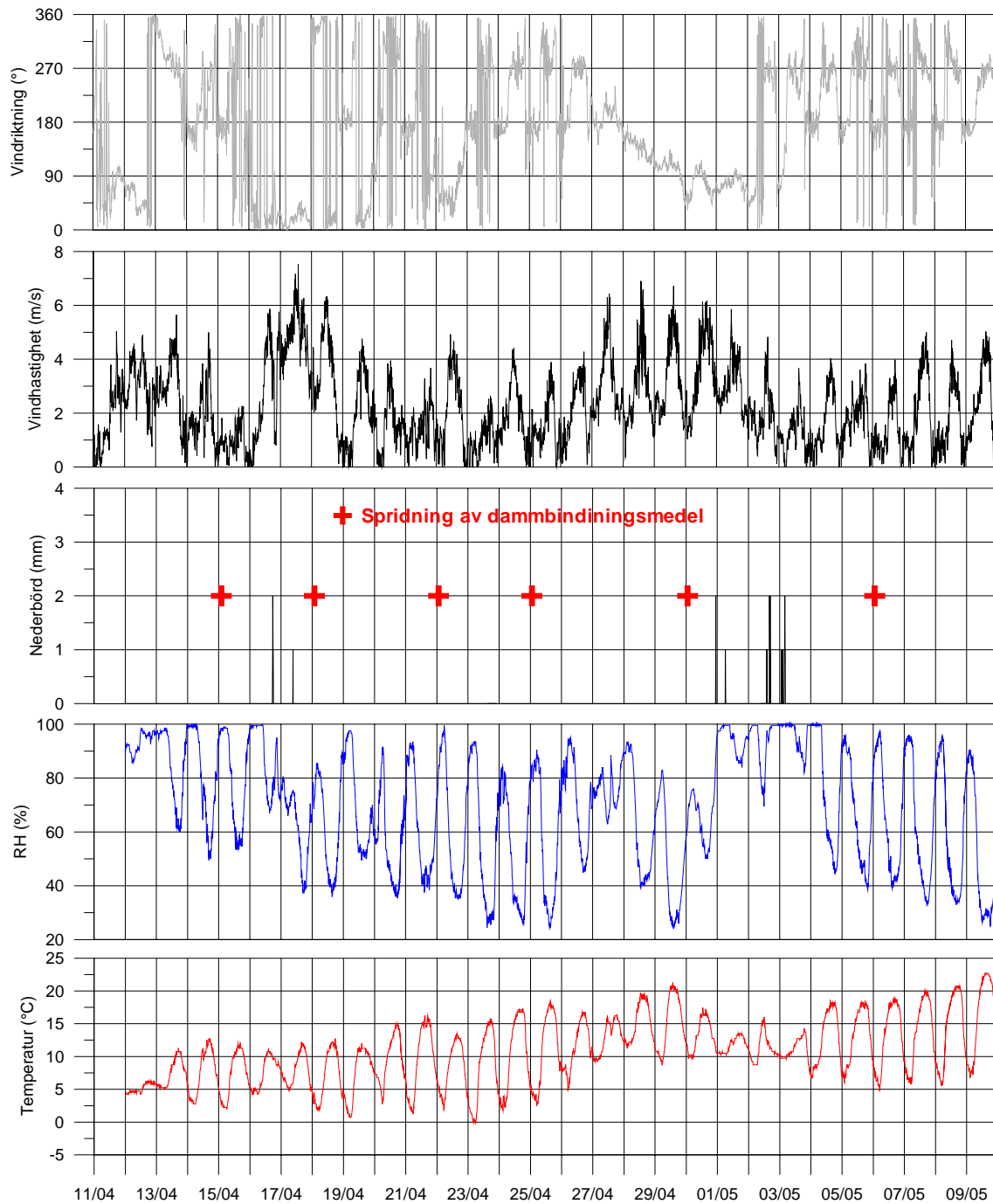
Figur 10 Utsmetning av dammbindningsmedel gör att medlet följer med trafiken nedströms, vilket ger en höjning av friktionsmedelvärde för en bestämd sträcka trots att friktionen fortfarande är lika låg, men längre nedströms (från Gustafsson m.fl., 2008).

3.3.3 Meteorologi

Väder har stor inverkan på uppmätta partikelhalter i alla sammanhang. I synnerhet vindriktning, vindhastighet och nederbörd påverkar både emission av partiklar från vägbana samt senare spridningen av dem (Jonsson m.fl., 2007). I fallet med denna undersökning är det således av intresse att veta om mätinstrumenten befinner sig uppvind eller nedvind vägen, som i stor utsträckning kan antas vara källan till partiklarna.

Vid station 2 (CaCl_2) (se Figur 1) upprättades därför en väderstation som registrerade lufttemperatur, daggpunktstemperatur, relativ luftfuktighet, vindhastighet och -riktning samt nederbörd. Ett medelvärde för dessa parametrar bildades var tionde minut. Samtliga instrument installerades på en mast på 10 m höjd bortsett från nederbörds-mätaren som mätte strax ovan marknivå.

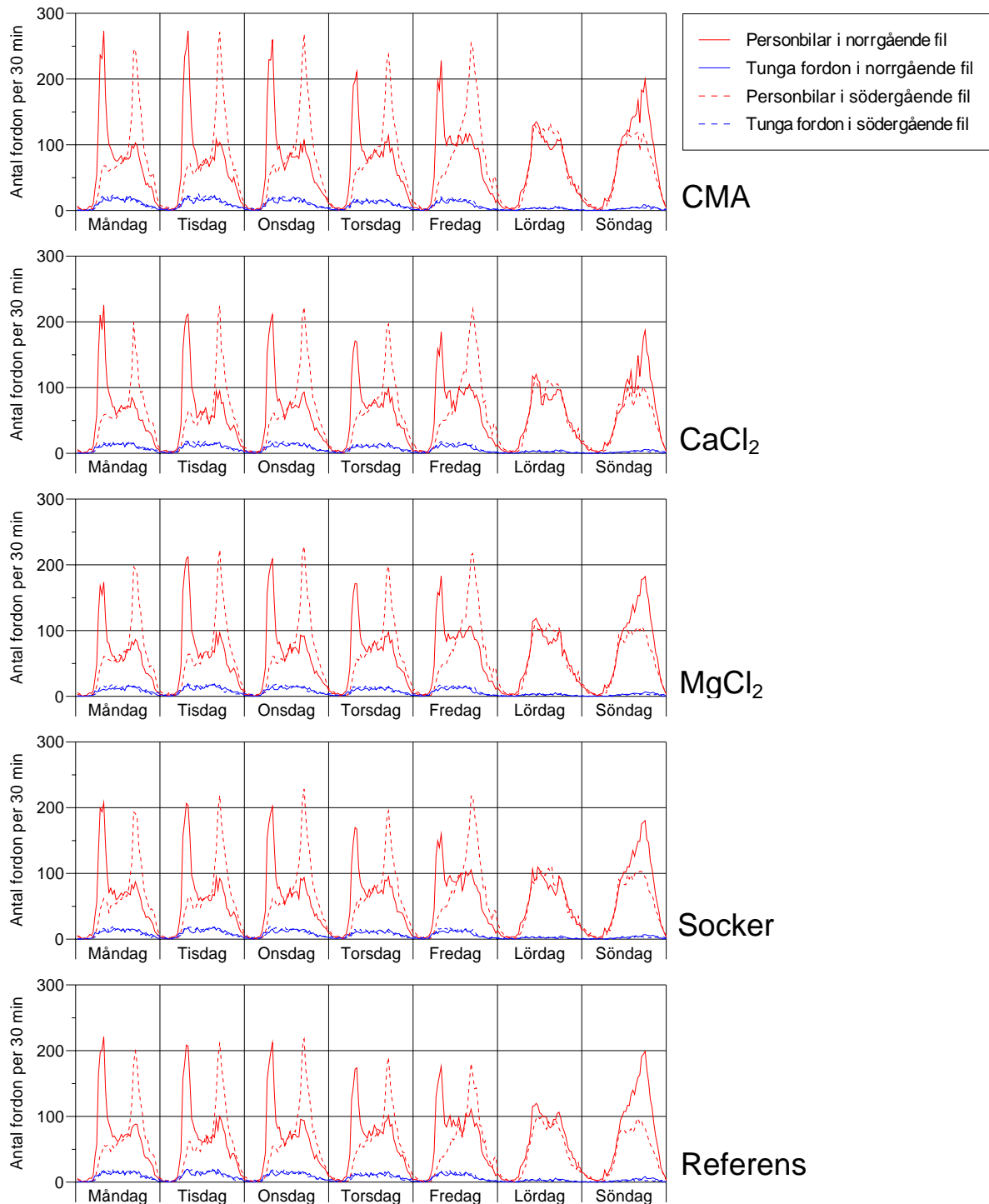
För insamling av vinddata användes Young anemometer model 05103. Detta instrument har en mätnoggrannhet på $\pm 0,3$ m/s respektive $\pm 3^\circ$. Temperatur och relativ fuktighet mättes med Young model 41003 med mätnoggrannhet på $\pm 0,3^\circ\text{C}$ respektive $\pm 2\%$.



Figur 11 Meteorologi under försöksperioden.

3.3.4 Trafikräkning

Till samma loggrar som registrerade ytfuktighet kopplades också trafikräkningsslangar vid respektive mätstation. Till ändamålet användes trafikanalyser (TA 89) där fordonspassager över två parallellt utlagda luftslangar över vägbanan registrerar trafikegenskaper. Dessa inkluderar enskilda fordon's hastighet, riktning och fordonstyp.



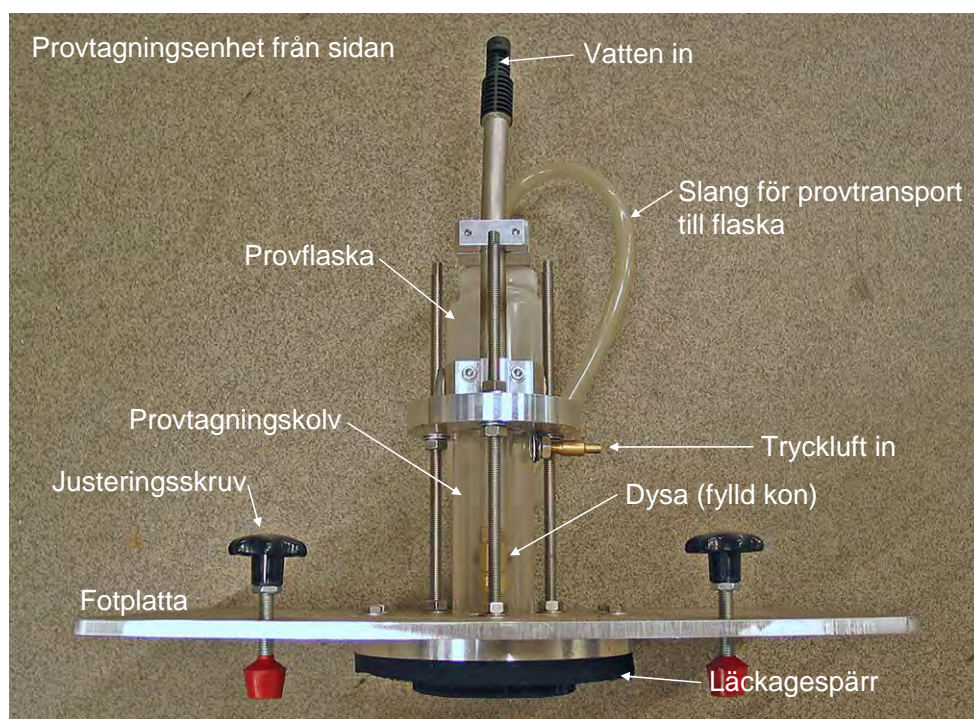
Figur 12 Genomsnittlig trafik på mätplatserna under fyra veckor av mätperioden (ej påskveckan).

Trafiken präglas av en tydlig morgonrusning av personbilar i norrgående fil och en motsvarande eftermiddagsrusning i södergående (Figur 12). Helgerna skiljer sig från arbetsveckodagarna genom att dessa rusningar saknas och ersätts av en bredare topp mitt på dagen. På söndagar ses en ökande trafik i norrgående fil på eftermiddag och kväll. Den tunga trafiken följer personbilarnas dygnsrytm, men utan de tydliga rusningstopparna. Trafikmängderna i morgon- och kvällstopparna är generellt något högre i på CMA-sträckan och lägre på MgC₁₂-sträckan, medan de tre övriga mätplatserna är lika.

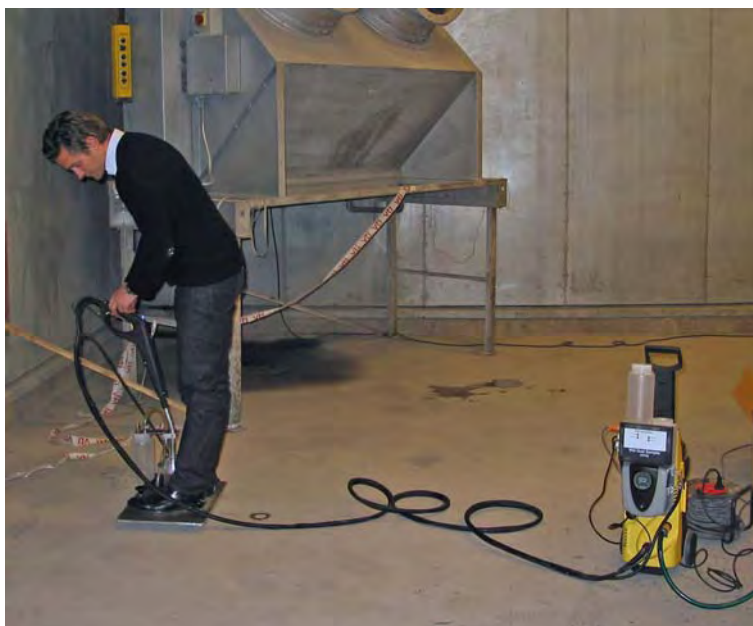
3.3.5 Utvärdering av vägytans föroreningar efter utläggningarna av dammbindningsmedel med Wet Dust Sampler (WDS)

Damm samlades in från vägbanan med Wet Dust Sampler (WDS) 7 och 20 dagar efter sista utläggningen av dammbindningsmedel.

Principen för WDS är att vatten under högtryck spolar rent en begränsad cirkulär yta. I kontaktytan med vägunderlaget sluter WDS tätt med hjälp av gummipackningar. Efter tvätten av vald yta startas en kompressor som för tvättvattnet (destillerat vatten) och dess innehåll av både partiklar och salter till en provflaska. Provvattnet kan sedan användas till en rad analyser. Figur 13 illustrerar provtagningsenhetens funktion, och Figur 14 visar hela konstruktionen vid en provtagning.

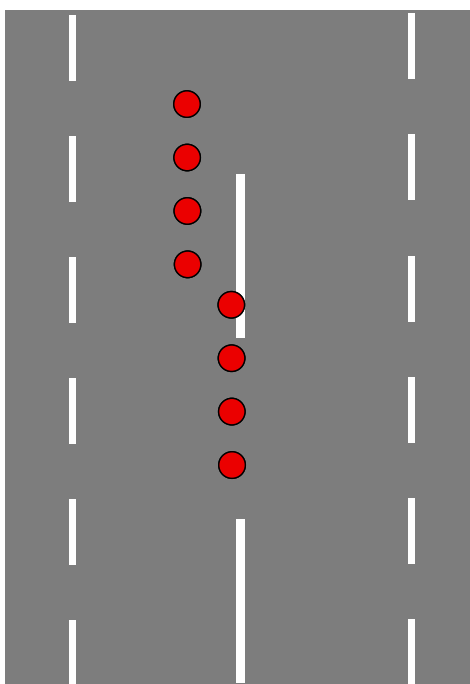


Figur 13 Provtagningsenheten till Wet Dust Sampler (WDS) från sidan. Till enheten kopplas högtryckstvätt och kompressor samt en styrenhet som reglerar deras tid och intensitet i bruk.



Figur 14 Provtagningsenheten kopplad till högtryckstvätt och kompressor under en provtagning.

Med WDS provtogs vägbanan vid respektive mätstation under två nätter; 13–14/5 samt 26–27/5 (se Figur 6) sju respektive 20 dagar efter sista utläggningen av dammbindningsmedel. Fyra prover i togs i vägmitt och fyra prover i hjulspår närmast mittlinjen (se Figur 15). Detta för att få en uppfattning om skillnaden i damnmängd tvärs vägbanan beroende däckens uppvirvling.



Figur 15 Provtagningspunkter med Wet Dust Sampler (WDS) vid respektive mätstation.

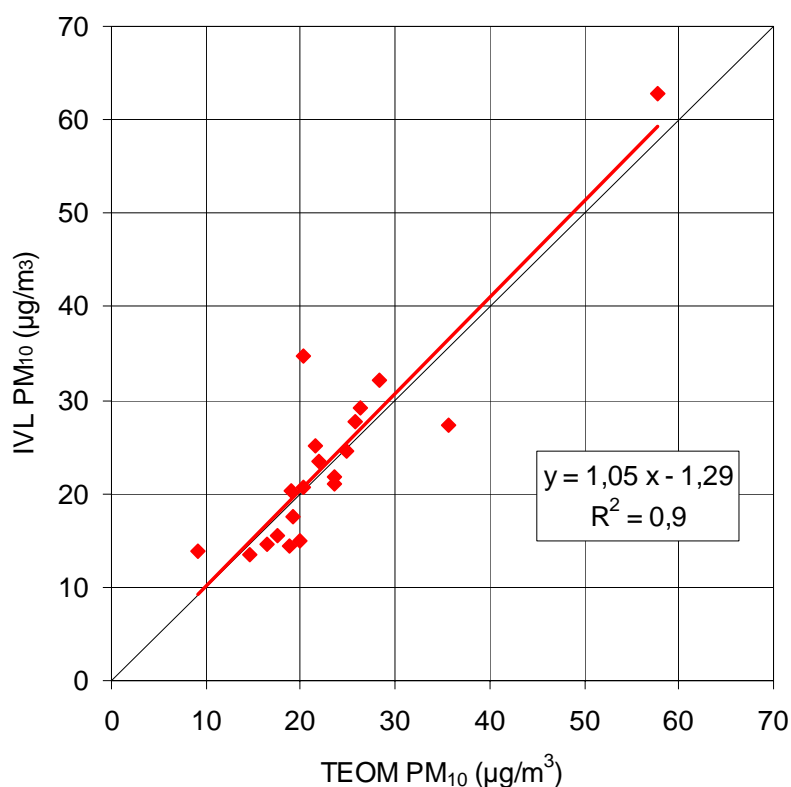
3.4 Analys av data

3.4.1 Partikeldata, statistisk bearbetning

För att studera effekten av dammbindningsmedlen har kvoten mellan dygnsmedelvärden på de dammbundna mätsträckorna och referenssträckan beräknats. Skillnaden i kvoterna före första dammbindningstillfället och efter respektive dammbindning användes som mått på procentuell reduktion av halten PM_{10} . Eftersom dammbindningarna påverkades av den föregående kvardröjande effekten är det svårt att bedöma effekten av respektive utläggning. Den initiala effekten vid första utläggningen bör vara den som är mest rättvisande.

3.4.2 Aktiva provtagare

Filtren i de aktiva provtagarna vägdes före och efter exponering enligt IVL:s rutiner. Det totala flödet genom filtren beräknades utifrån uppmätta flödes hastigheter och exponeringstid. Då metoden är gravimetrisk användes den även för att verifiera att TEOM-data är rimlig. Under de fyra sista mätperioderna då de aktiva filtren användes stämmer mätvärdena väl överens med medelvärden för TEOM-instrumenten (Figur 16). I figuren har medelvärden för TEOM-instrumenten under de aktiva provtagarnas mätperioder avsatts mot provtagarnas beräknade masskoncentrationer av PM_{10} .



Figur 16 PM_{10} uppmätt med aktiva provtagare (IVL) avsatt emot PM_{10} uppmätt med TEOM under försöken. Den ej ifyllda romben är en outlier, som inte är medtagen i beräkningen av regressionslinjen. För denna har flödet uppskattats på grund av oklar starttid.

3.4.3 Passiva provtagare

De närmast vägen exponerade filtren i den första omgången passiva filter analyserades med avseende på vikt, liksom filtret längst bort från vägen på referensplatsen för att bedöma om partikelmängderna skiljer sig åt på de olika platserna.

Filtren 2, 14 och 100 meter från vägen på samtliga mätplatser, utom för socker, analyserades med avseende på joninnehåll med jonkromatograf av märket Dionex försedd med elektrisk ledningsförmågedetektor. Filtret lakades först i 4 ml avjoniserat vatten. Lösning analyserades på katjoner med en separationskolonn CS12A försedd med förkolonn CG12A. Membransuppressorn CSRS-ULTRA II användes. Som eluent användes en sulfonsyra. Anjoner separerades med kolonnen AS4A med förkolonn AG22 och membransuppressor ASRS-ULTRAII och eluering skedde med natriumkarbonat och natriumbikarbonat.

Acetat analyserades med en speciell kolonn (AS15 + förkolonn AG15) och gradienteluering med kaliumhydroxid.

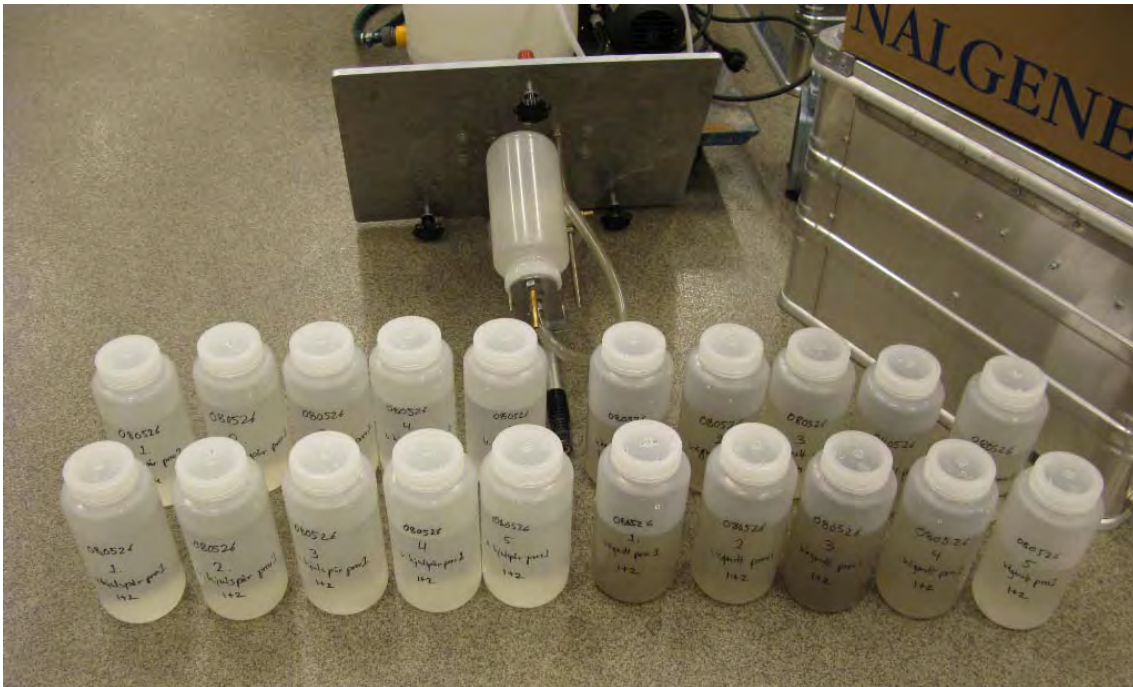
Analys av filtren på mätplatsen där socker användes analyserades ej på grund av oklarheter kring analysmetod och kostnaderna för denna.

3.4.4 Wet dust sampler

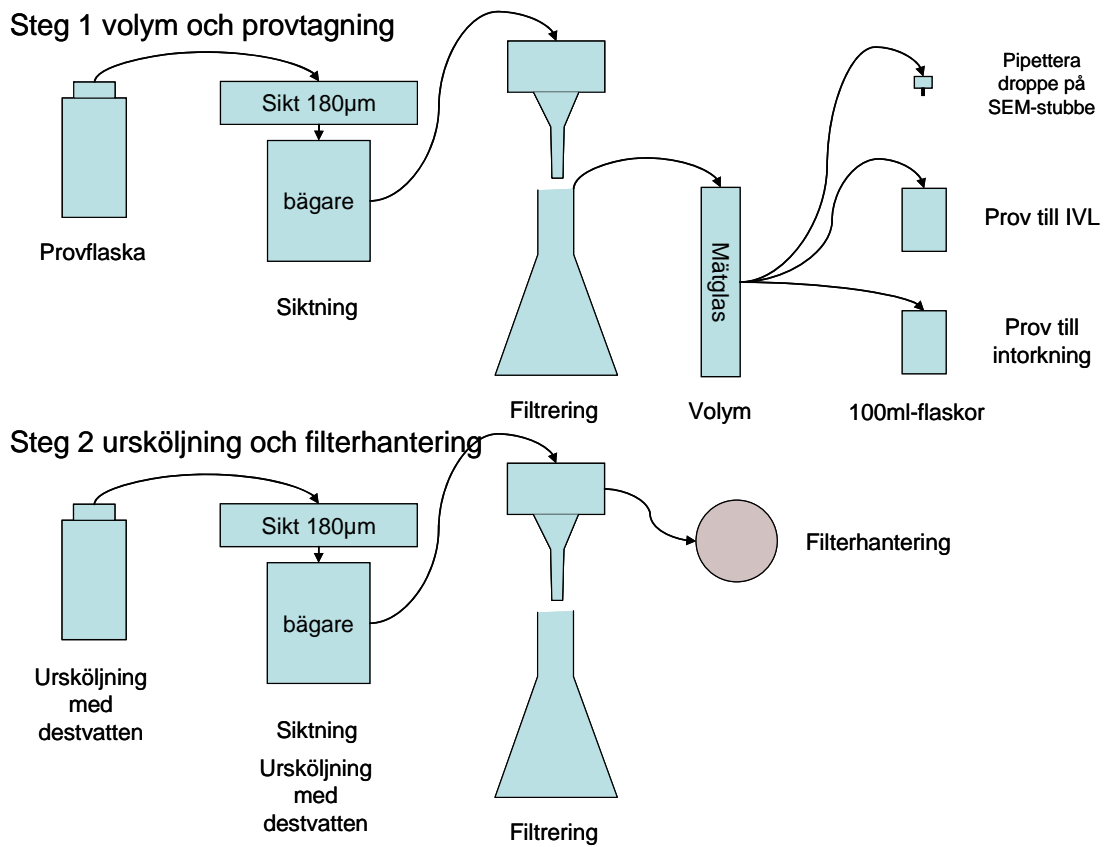
Insamlat provvatten (ca 600–800 ml) (Figur 17) analyserades i flera steg (Figur 18). Varje prov av känd volym filtrerades en gång genom filterpapper. De enskilda filterpapperna brändes sedan i 550°C under minst 6 timmar i förvägda deglar. Efter bränningen vägdes de igen vilket gav ett mått på vattenprovets innehåll av minerogent material (mg l^{-1}).

Även det filtrerade vattnet analyserades genom att 50 ml pipetterades till en förvägd bägare och lämnades sedan att indunsta i 105°C under 12 timmar. Vid vägning av bägaren efter indunstningen erhöles ett mått på lösta salter i provvattnet (mg l^{-1}).

En del av samtliga vattenprover (ca 100 ml) skickades till IVL för analys av kemiskt innehåll.



Figur 17 Provflaskor efter provtagning. Prover från hjulspår till vänster och från vägmitt till höger.



Figur 18 Hantering av WDS-prover.

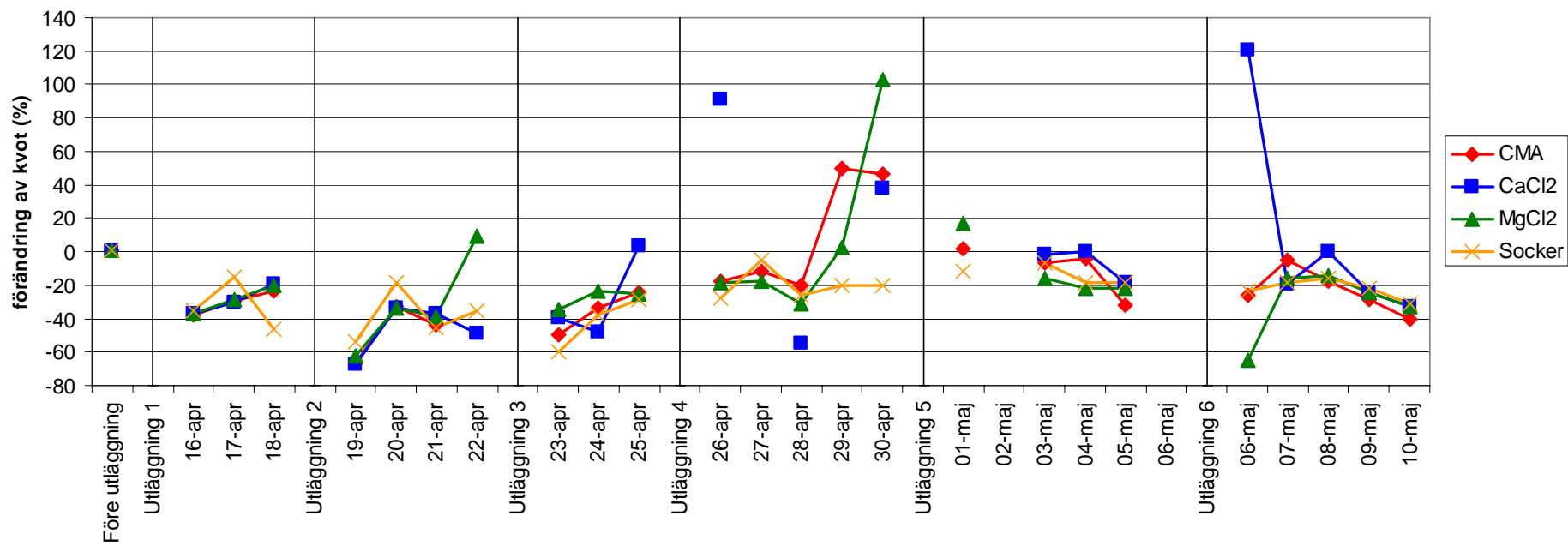
4 Resultat

4.1 PM₁₀-koncentration uppmätt med TEOM

Genom att beräkna kvoten mellan PM₁₀-halterna på mätsträckorna med PM₁₀-halterna på referenssträckan kan dammbindningsmedlens effekt på partikelhalten studeras. I Figur 20 visas dessa kvoter för dygnsmedelvärden (00–24) för samtliga sex utläggningar. Kvoten före utläggningarna är nära 1, vilket innebär att halterna på mätsträckorna och referenssträckan är lika. Efter de tre första utläggningarna sjunker kvoten tydligt, medan kvoten reagerar mer slumpmässigt efter de tre sista utläggningarna. Orsakerna till detta är sannolikt att dubbdäcken successivt försvinner under denna period, vilket gör att källan till vägdammsinar, samtidigt som vårbruket i jordbrukslandskapet runt mätområdet startar. De olika mätsträckorna kan därför lokalt påverkas av damm från t.ex. harvning (Figur 19).



Figur 19 Lokala dammemissioner stör mätningarna.



Figur 20 Kvoten mellan dygnsmedelvärde på behandlade sträckorna och referenssträckan under mätperioden

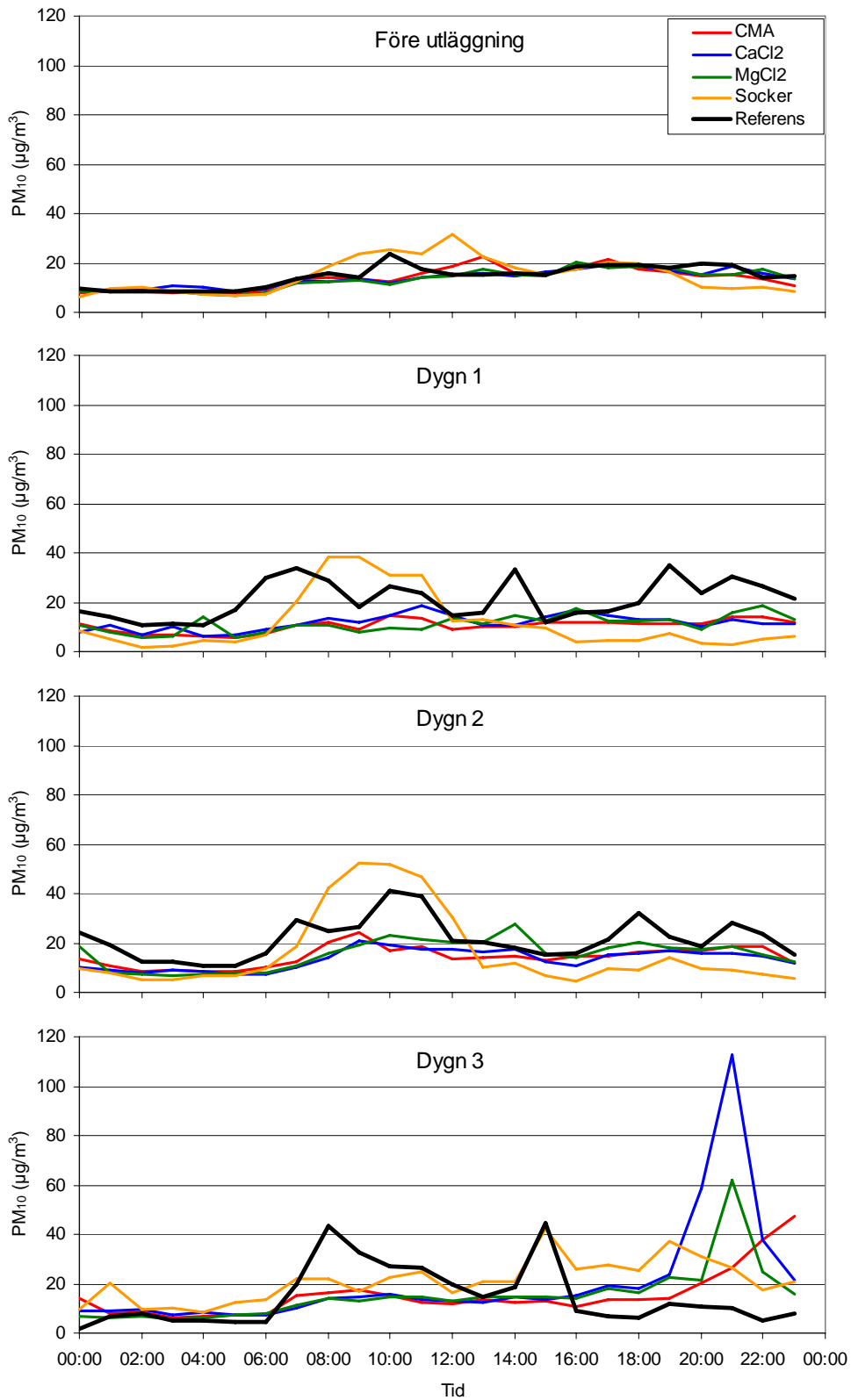
Dygnet efter den första utläggningen har kvoten minskat för samtliga mätsträckor, med ca 35–40 %. De skillnader som föreligger för denna första utläggning på en helt opåverkad vägyta kan möjligen användas för att utvärdera skillnader i effekt mellan medlen. De följande två dygnen avtar effekten till ca 25 respektive 15 % lägre halter. Under dessa två dagar faller ca 2 mm nederbörd på kvällen den 17 april och 1 mm på förmiddagen den 18 april, vilket rimligtvis påverkar medlens varaktighet. CMA, CaCl₂ och MgCl₂ följer varandra tydligt, medan effekten av socker avtar snabbt andra dygnet för att sedan öka igen. Skillnaderna är dock små och förhållandena mellan medlen för de kommande utläggningarna varierar. Sammantaget innebär detta att den initiala effekten av dammbindningsmedlen kan betraktas som likvärdig. Den andra utläggningen avbryter återgången till ursprungskvoten och i stället sjunker kvoten ytterligare till knappt 60 % av ursprungskvoterna. Dammbindningseffekten avtar andra dygnet, men ökar igen det tredje dygnet efter utläggning. Dessa två dygn är en helg, med ett annat trafikmönster än vardagsdygnen, vilket kan ha påverkat kvoterna. Då samtliga medel påverkas är detta troligen en effekt av en tillfälligt högre PM₁₀-koncentration vid referenssträckan. Efter tredje utläggningen sänks kvoterna igen till mellan 35 och knappt 60 % lägre än ursprungskvoten, för att öka igen de två efterföljande dygnen. Effektens varaktighet under rådande förhållanden uppskattas till 4–5 dygn. Varaktighet är rimligtvis beroende av såväl koncentration och dos som meteorologi och skillnader i trafik. De låga koncentrationerna och kvoterna efter femte utläggningen förklaras av den nederbörd som föll mellan 1–4 maj. Intressant att notera är att kvoterna för de två sista utläggningarna generellt sjunker med tiden.

En statistisk analys visar att dygnskvoterna för mätplatserna endast skiljer signifikant från referensen, men ej från varandra.

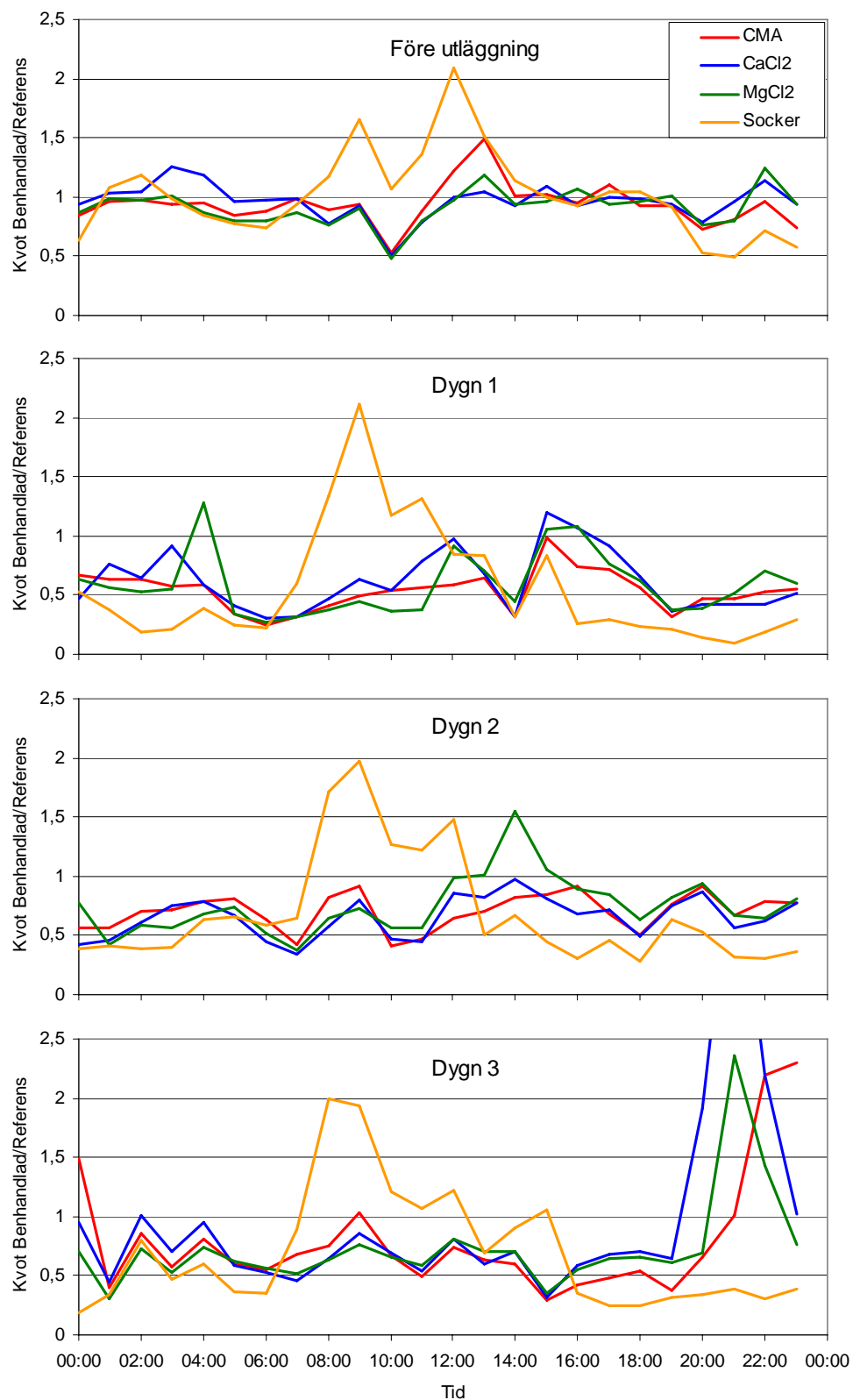
Variationen i halt och kvotberäkning över dygnets timmar (Figur 21 och Figur 22) avslöjar att PM₁₀-halterna på mätplatsen för sockerlösningen inte beter sig som övriga lokaler. Noggrannare studier visar att mätplatsen har en återkommande partikeltopp som börjar mellan kl. 6 och 7 på morgonen och avtar mellan kl. 11 och 12 på dagen. Trots att personal varit på plats under denna period för att identifiera källan, har ingen uppenbar sådan kunnat hittas. Toppen finns redan innan dammbindningsförsöket påbörjas. Intressant är dock att bortsett från denna oidentifierade topp, verkar sockerlösningen ha en något större dammbindande effekt under dygnets övriga timmar, åtminstone första och andra dygnet efter utläggning.

Som synes i Figur 21 och Figur 22 är den dammbindande effekten på sträckorna med CMA, CaCl₂ och MgCl₂ tydlig även tredje dygnet efter utläggning. Effekten är både sänkande och utjämnande jämfört halterna på referenssträckan. Effekten är som störst under första dygnets förmiddag, men består under dygnet och märks även tydligt andra och tredje dygnen efter utläggning. I Figur 23 kan man tydligt se hur kvoten för socker varierar kraftigare över dygnet än för övriga dammbindningsmedel och kvoten är lägre än för övriga medel mellan 15–05, men högre på dagtid 06–14, då PM₁₀-halterna är högre.

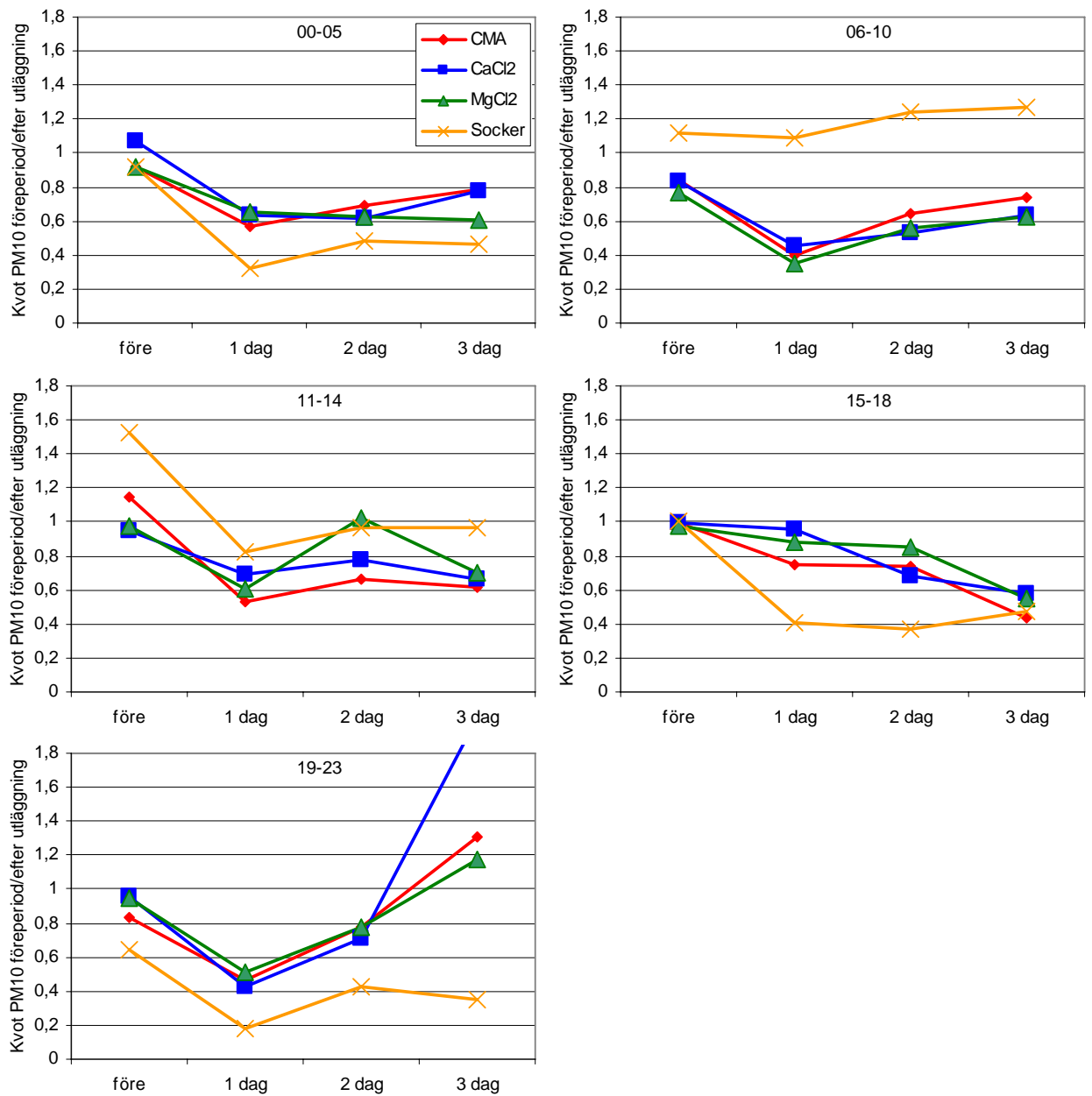
På kvällen dygn 3 störs CMA, CaCl₂ och MgCl₂-sträckorna av kraftiga lokala emissioner under ett av de tre dygnen som ingår i medelvärdesbildningen (Figur 24).



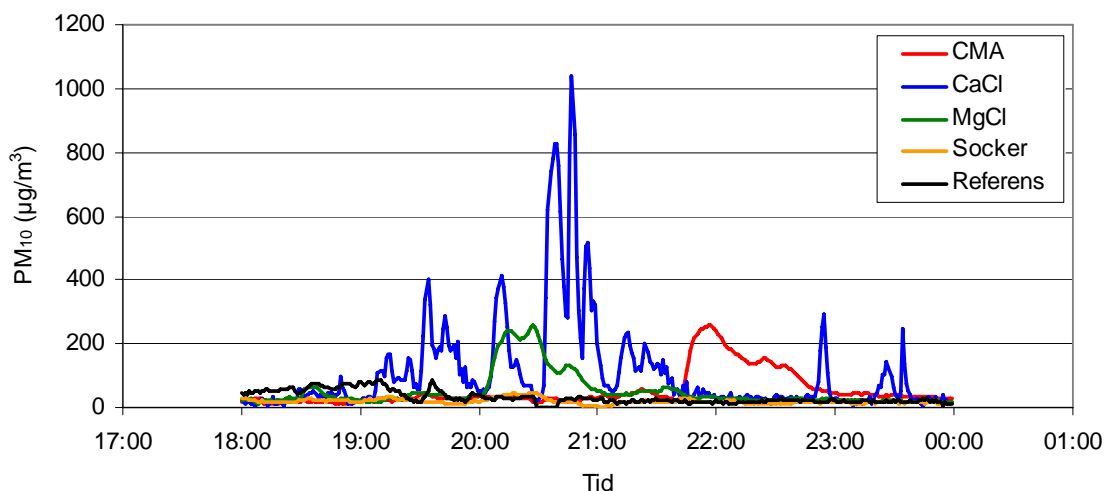
Figur 21 Medeltimvärden av PM₁₀ för dygnen efter de tre första utläggningarna.



Figur 22 Kvoter mellan PM_{10} på behandlade sträckor och referenssträckan. Om kvoten är 1 är det ingen skillnad mellan behandlad och referens.

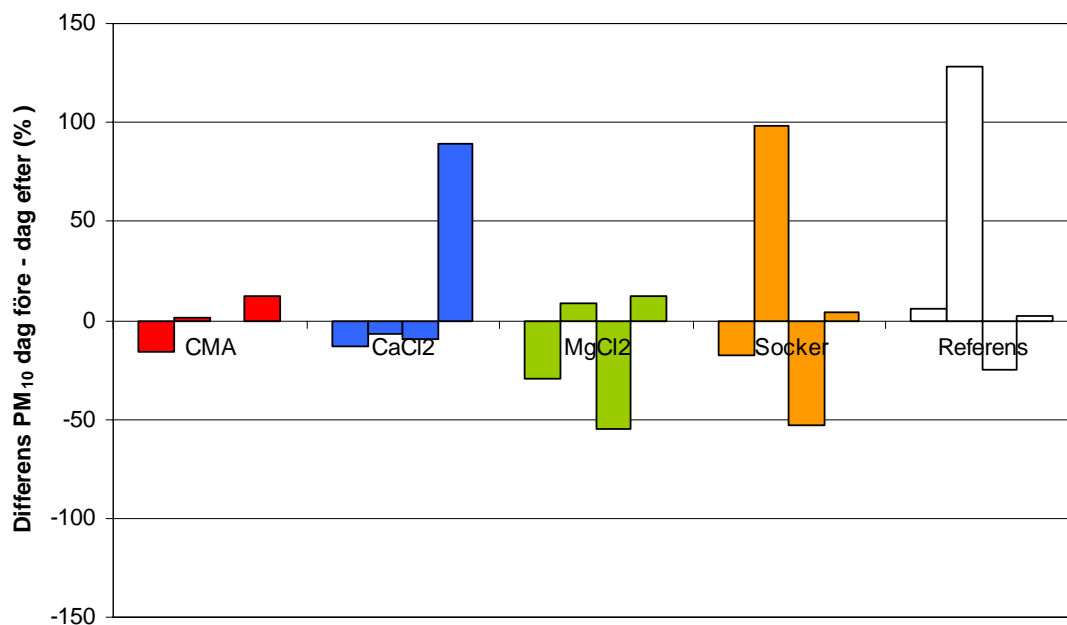


Figur 23 Dammbindningsmedlens effekt under olika tider på dygnet visat som kvoter mellan PM_{10} på mät- och referenssträckorna.



Figur 24 Kraftiga lokala emissioner på kvällen den 24 april, 2008, som påverkar CMA, CaCl₂ och MgCl₂-sträckorna. Källan är troligen knuten till vägen då topparna börjar i söder och rör sig mot norr. Den snabba ökningen med långsamt avklingande är karakteristiskt för tillfälliga och lokala kraftiga emissioner.

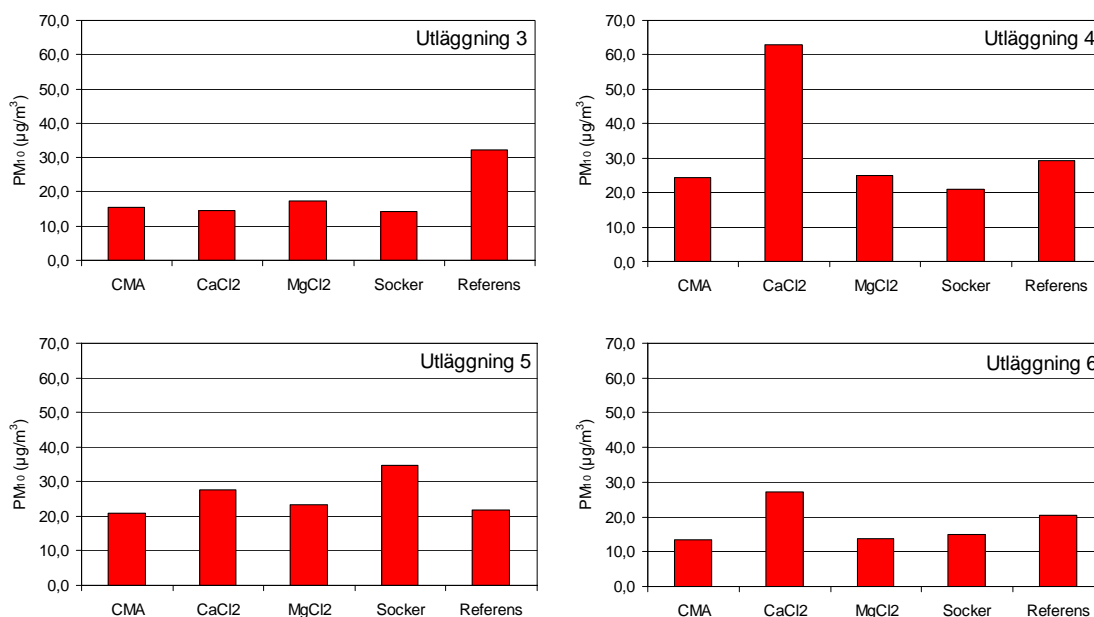
Om man istället för kvot mellan behandlade sträckor och referenssträckan studerar differensen mellan halten dygnen före och efter första utläggningen av medlen (2008-04-15), framgår att MgCl₂ verkar ha en tydligare sänkande effekt än övriga medel (Figur 25). Motsvarande analys vid följande tillfällen visar dock att denna analysvariant är mer svårtolkad än kvotansatsen, då halterna mellan såväl mätplatserna och referensplatsen kan skilja ganska påtagligt.



Figur 25 Differenser i procent mellan dagen före och dagen efter de fyra första utläggningarna.

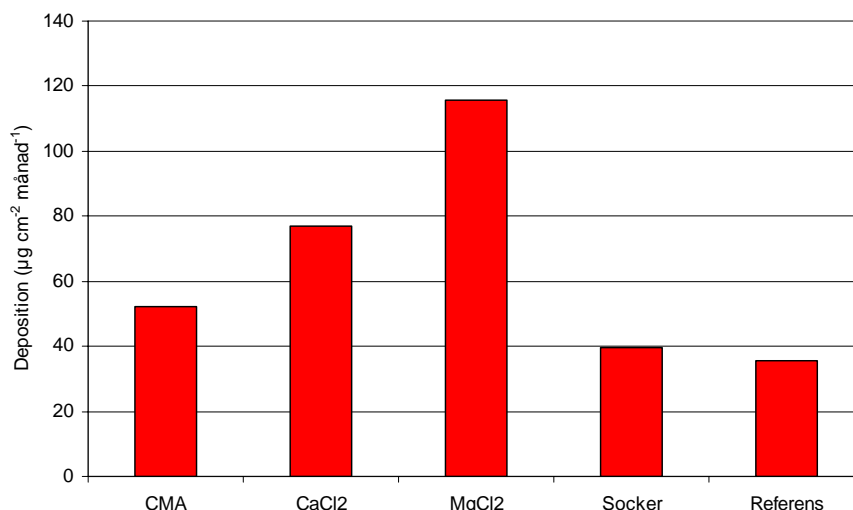
4.2 Filterprovtagning

För utläggning 3 kan en tydlig skillnad i PM_{10} -halten ses mellan mätstationerna med dammbindningsmedel och referensstationen (Figur 26). Halterna är i genomsnitt dubbelt så höga på referenslokalen. PM_{10} -halterna för de tre sista utläggningarna påverkas på samma sätt som TEOM-data av den avklingande partikelkällan och det tilltagande vårbruket, som gör tolkningar svåra.



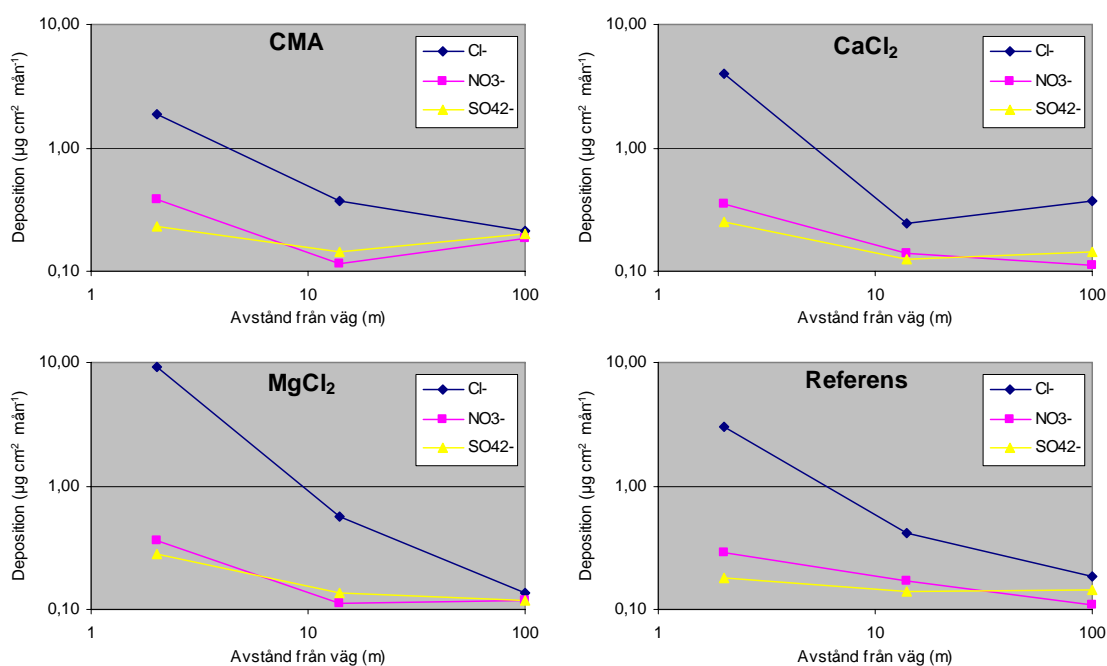
Figur 26 PM_{10} uppmätt med aktiva provtagare perioderna efter utläggningarna 3–6.

Resultaten från vägningarna av de mest vägnära passiva filtren från varje lokal visas i Figur 27. Depositionen är högre på samtliga lokaler där dammbindningsmedel lagts ut än på referensstationen. Då halterna av partiklar (mätt som PM_{10}) i luften är lägre på dessa lokaler, är det troligt att uppstänkande dammbindningsmedel finns på filtren, vilket även kan ha bidragit till att mer damm fastnat på filterytorna. Om massan utgörs av dammbindningsmedlen själva skulle detta resultat kunna tolkas som mått på medlens klubbighet och förmåga att fastna på fordonens hjul och spridas som stänk och fuktig aerosol till omgivningen. Men om massan i huvudsak är damm kan det tolkas som att dammbindningseffekten är sämre då depositionen är högre eller som att medlens klubbighet då de väl finns på filtren medför att en större mängd partiklar fastnar på filtren.

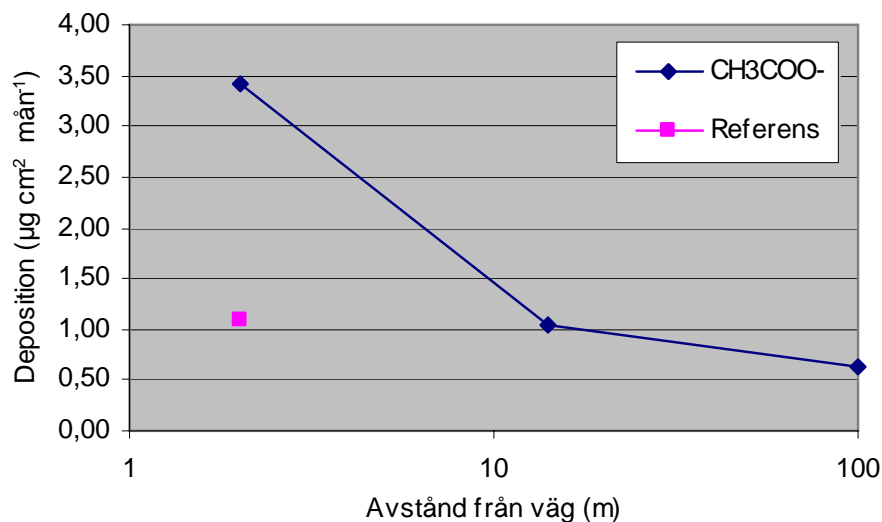


Figur 27 Total deposition på de passiva filtren närmast väggkanten (2 m) på de olika lokalerna.

Jonanalyser genomfördes för att få en bild av om dammbindningsmedlen spreds från vägen. Anjonerna (Cl^- , NO_3^- och SO_4^{2-}) uppvisade mätbara nivåer på alla avstånd, medan katjonerna (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} och K^+) bara var mätbara på filtren närmast vägen (2 m). Anledningen till detta är troligen att exponeringstiden (10 dygn) var för kort i förhållande till andelen av tiden som vinden blåste från vägen mot filtren. Figur 28 visar en förhöjd deposition nära vägen av anjonerna (särskilt klorid), men redan 14 m från vägen är depositionen låg. Den höjda kloriddepositionen nära vägen på samtliga platser tyder på att rester av natriumklorid från halkbekämpning finns kvar i vägmiljön. Depositionen på platserna för CaCl_2 och MgCl_2 är dock högst.



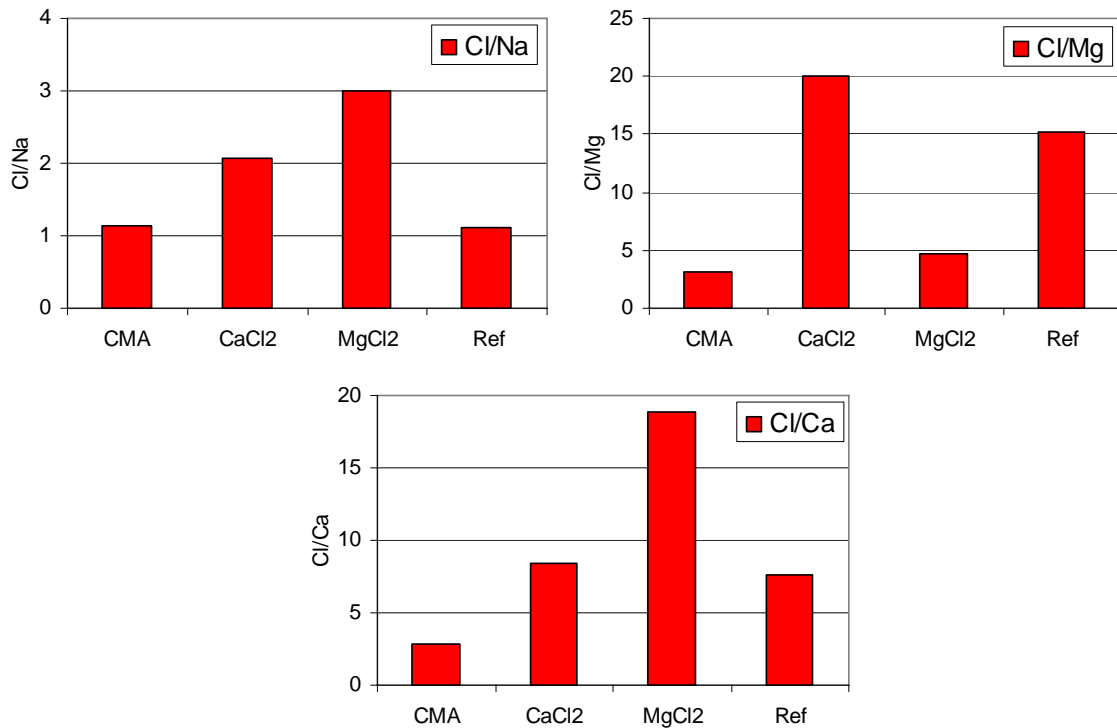
Figur 28 Deposition av tre anjoner på tre avstånd från vägen.



Figur 29 Deposition av acetat på olika avstånd från vägen på CMA-sträckan. En analyspunkt närmast vägen på referenssträckan är inlagd.

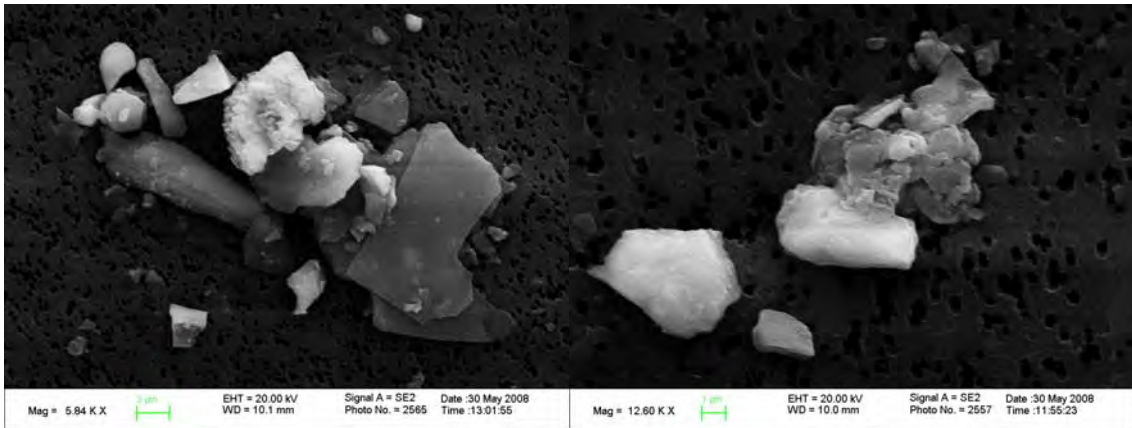
Acetat har endast analyserats på CMA-sträckan, samt på den mest vägnära mätpunkten på referenssträckan. Acetat är tydligt förhöjd på den mest vägnära mätpunkten och avtar med avstånd från vägkanten (Figur 29). Dock finns även acetat i mätbara mängder i luften på referenslokalen, vilket var ett oväntat resultat. Förklaringen kan antingen vara en annan källa till acetat i vägmiljön, eller att fordon som passerat CMA-sträckan i södergående fil drar med sig och emitterar CMA i viss mån. Ättiksyra (acetatjoner och vätejoner) bildas även när etanol oxideras och då all bensin innehåller en viss mängd etanol kan en viss ökning av den i bakgrunden mycket låga acetathalten i luften ske nära vägar. Det bedöms dock som mer troligt att acetat i detta fall kommer från CMA.

Genom att studera kvoter mellan olika joner på mätplatserna närmast vägen kan de olika dammbindningsmedlens spridning från vägytan till luften och vägens närmaste omgivning konstateras (Figur 30). På sträckor där CaCl₂ och MgCl₂ spridits är kvoten Cl/Na högre än på de två övriga och där magnesium spridits (CMA och MgCl₂) är Cl/Mg-kvoten låg jämfört med övriga. Där CMA spridits är Cl/Ca-kvoten tydligt låg, medan CaCl₂- och referenslokalerna har snarlika kvoter, vilket är något överraskande.



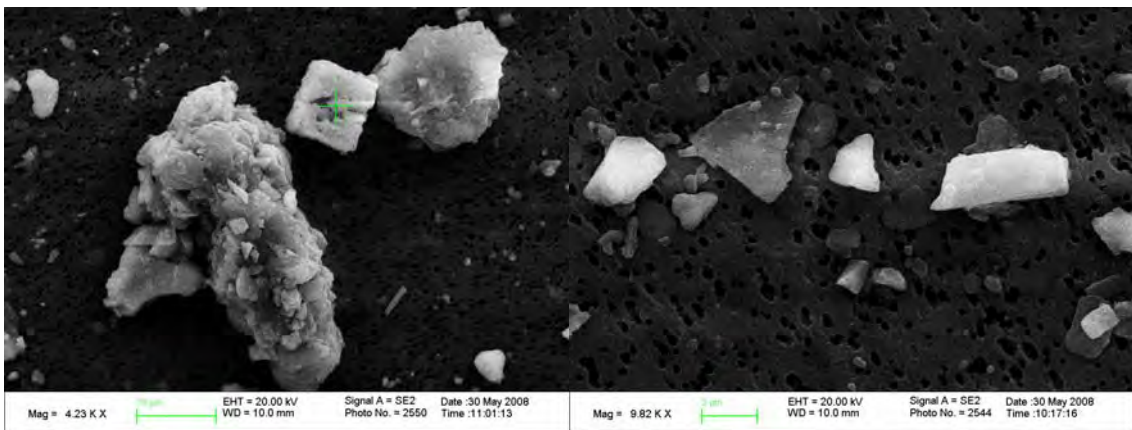
Figur 30 Kvoter mellan Cl och Na, Mg och Ca som ingår i de olika dammbindningsmedlen.

Figur 31 visar några exempel på partiklar från filterytorna och Figur 32 genomsnittliga spektra för några tiotal partiklar från de mest vägnära filtren samt spektra från intorkade droppar av respektive dammbindningsmedel. Morfologi och sammansättning visar att partiklarna i huvudsak är mineralpartiklar, men att även en del udda partiklar med okänt ursprung förekommer. Trots inriktat sökande kunde inte specifika intorkade kristaller eller rena partiklar från dammbindningsmedlen inte identifieras. Däremot kan ämnenas förekomst delvis identifieras genom EDX-spektra. Till exempel finns tydliga spår av klorid på partiklarna från lokalerna där magnesiumklorid och kalciumklorid använts. Magnesium är också tydligt förhöjt i partiklarna från magnesiumkloridlokalen. Vi gör bedömningen att detta är mineralpartiklar med morfologiskt osynliga intorkade rester av dammbindningsmedlen. Däremot är CMA svårt att spåra på de partiklar som analyserat från CMA-lokalen. Då flera av grundämnena som ingår i dammbindningsmedlen också kan återfinnas i mineralpartiklarna överlappar topparna ibland varandra, vilket gör tolkningen svår. Att kloridsalterna är de som tydligast kan spåras på filtren kan förklara den högre depositionen på dessa filter i Figur 26.



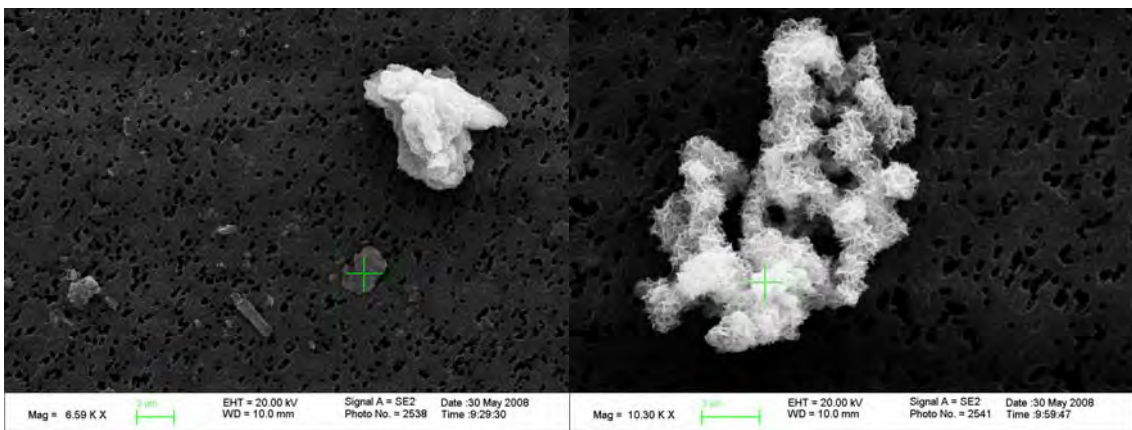
Referens

Socker



MgCl₂

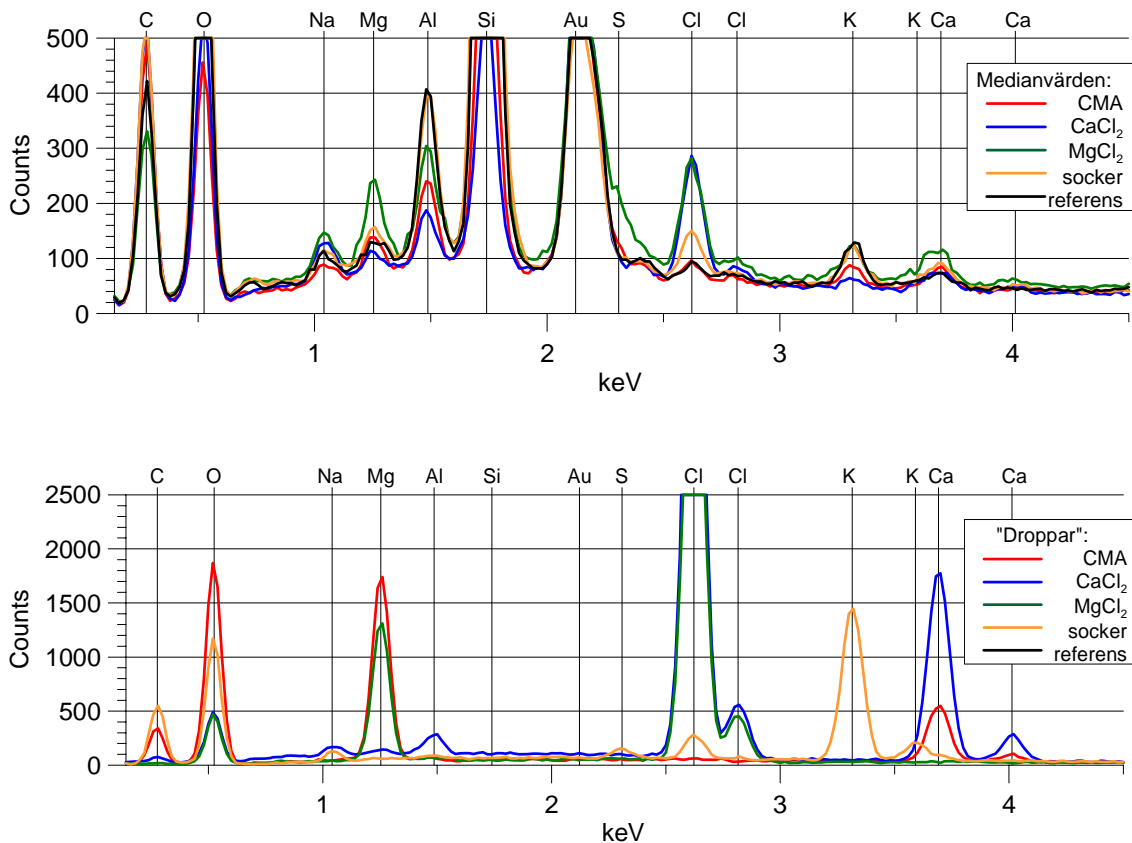
CaCl₂



CMA

CMA

Figur 31 Exempel på SEM-mikrografer av partiklar från de mest vägnära passiva filtren. De gröna kryssen markerar var i partiklarna EDX-mätning gjorts.

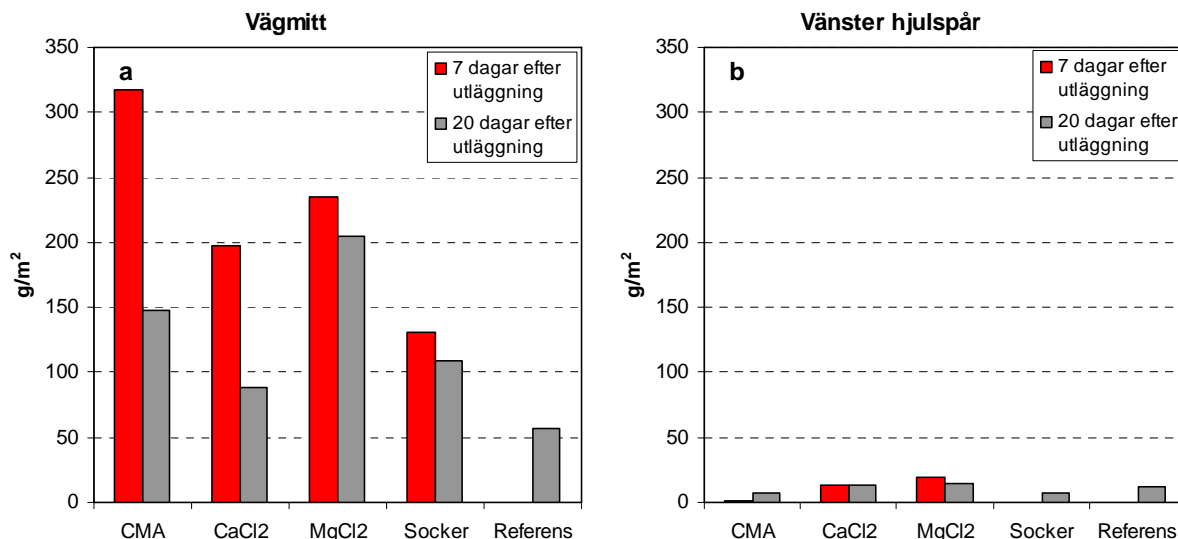


Figur 32 EDX-spektra för några tiotal partiklar insamlade med passiva provtagare på filter närmast vägen (A) och spektra från "rena" droppar.

4.3 Partikelprover från vägytan

Förrådet av partiklar på vägytan kan tänkas vara relaterad till hur mycket partiklar som kan virvlas upp från vägytan av passerande fordon.

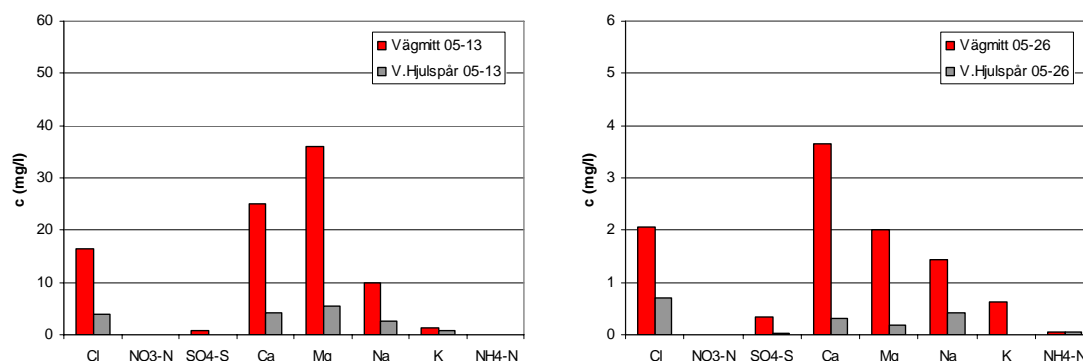
Mängden partiklar < 180 μm (PM₁₈₀) på vägytan är avsevärt högre i vägmitt än i vänster hjulspår (Figur 33). I hjulspåret är damnmängden på de dammbundna provplatserna i nivå med referensplatsen efter såväl 7 som 20 dagar. Mängderna varierar mellan enstaka till något tiotal g/m^2 . I vägmitt är såväl mängder som skillnader större. På CMA-sträckan är mängden damm i vägmitt över 300 g/m^2 , följd av MgCl₂, CaCl₂ och Socker. Mängderna är dock störst 20 dagar efter utläggning för MgCl₂-sträckan, följd av CMA, Socker och CaCl₂. De dammförråd som minskar mest mellan 7 och 20 dagar efter utläggning är de på CMA- och CaCl₂-sträckorna. Dammförrådet på MgCl₂- och Sockersträckorna sjunker inte tillnärmelsevis lika mycket under samma period.



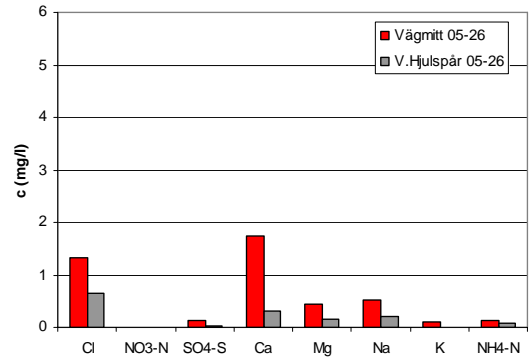
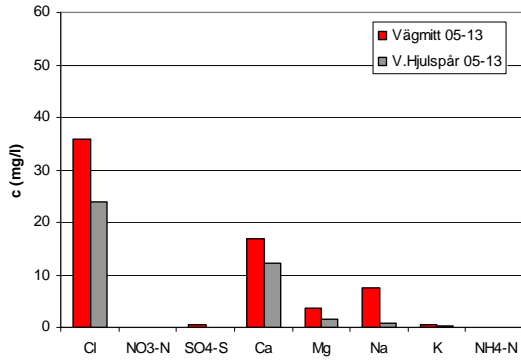
Figur 33 Damnmängd <math>< 180 \mu\text{m}</math> på vägytan 7 och 20 dagar efter utläggning av dammbindningsmedel i vägmitt (a) och i vänster hjulspår (b).

4.4 Lösliga ämnen på vägytan

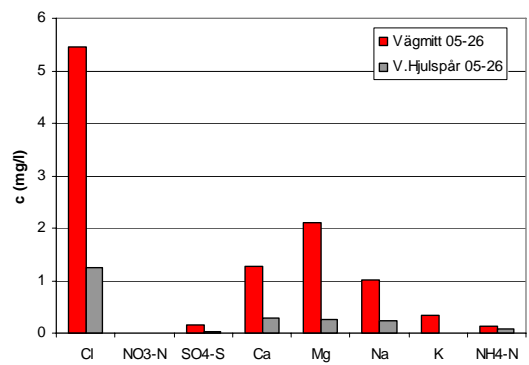
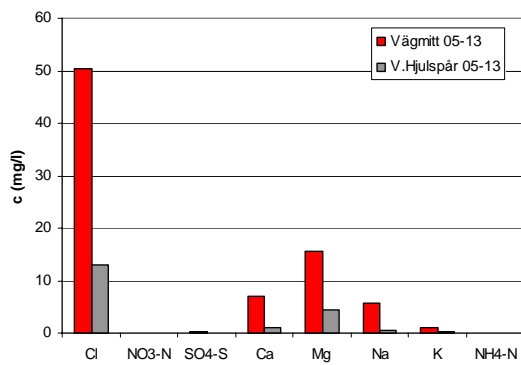
Analys av filtratet från WDS-proven visar att dammbindningsmedlen lämnar tydliga kemiska avtryck i vägmitt både 7 och 20 dagar efter utläggning (Figur 34, Figur 35, Figur 36, Figur 37 och Figur 38). Bibehållna, men ca 10 gånger lägre, ämnesprofiler visar att CMA, CaCl₂ och MgCl₂ finns kvar på vägbanan även 20 dagar efter utläggning. Ämnesprofilen för socker är dock mycket lik den på referensstationen efter 20 dagar. Kaliumtoppen 7 dagar efter utläggning på sockersträckan är unik och visar att det finns sockerlösning kvar på vägbanan. Detta kan konstateras eftersom EDX-analys av sockerlösningen visar en tydlig K-topp i grundämnesspektrumet som skiljer sockret från övriga dammbindningsmedel (Figur 37). I vänster hjulspår finns en tydlig förhöjning av Ca och Cl på CaCl₂-sträckan och av Mg och Cl på MgCl₂-sträckan.



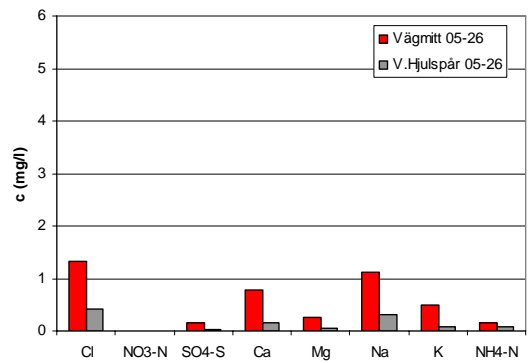
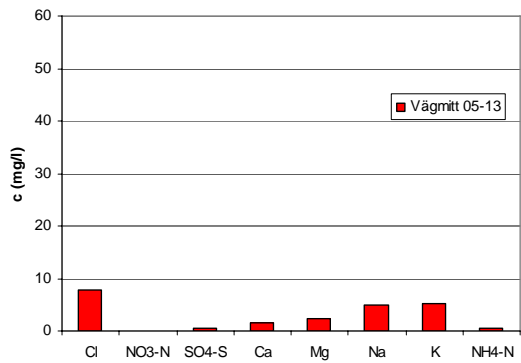
Figur 34 Ämnen på CMA-sträckan 7 dagar (vänster) och 20 dagar (höger) efter utläggning.



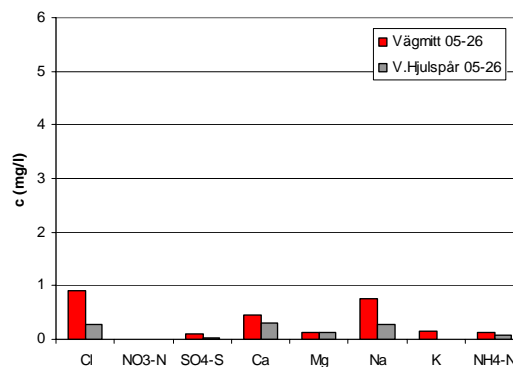
Figur 35 Ämnen på CaCl₂-sträckan 7 dagar (vänster) och 20 dagar (höger) efter utläggning.



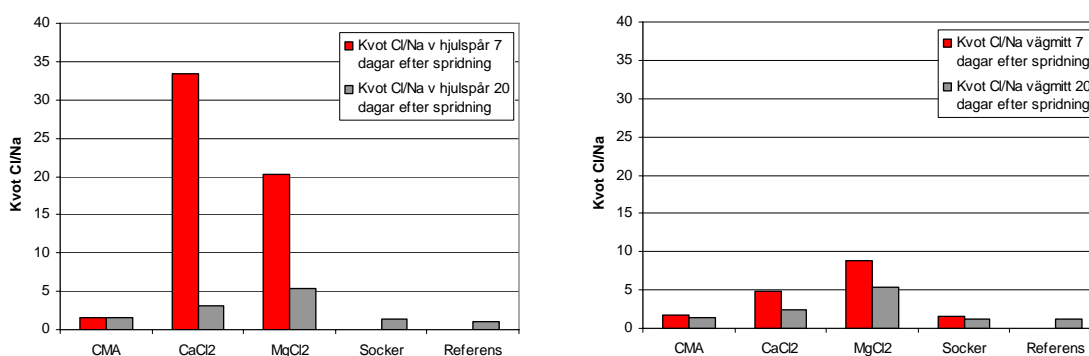
Figur 36 Ämnen på MgCl₂-sträckan 7 dagar (vänster) och 20 dagar (höger) efter utläggning.



Figur 37 Ämnen på socker-sträckan 7 dagar (vänster) och 20 dagar (höger) efter utläggning.

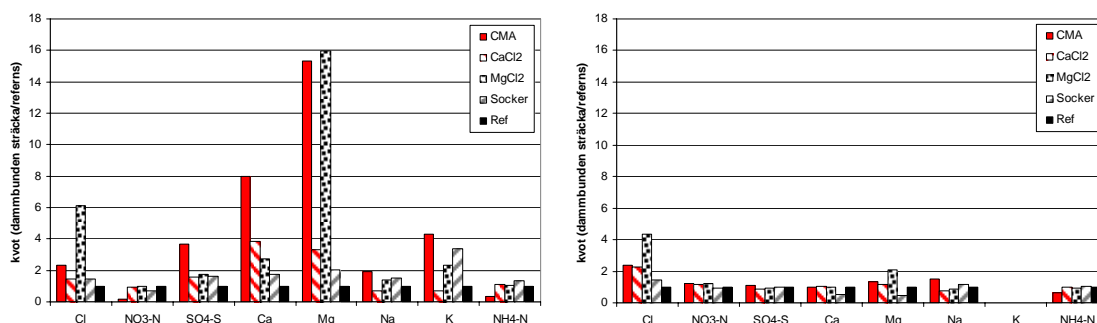


Figur 38 Ämnen på referenssträckan 20 dagar efter utläggning.



Figur 39 Kvot Cl/Na för vänster hjulspår (vänster) och vägmitt (höger).

Kvoten Cl/Na är förhöjd på sträckorna med CaCl_2 och MgCl_2 även 20 dagar efter spridning (Figur 39). I vänster hjulspår är kvoterna kraftigt förhöjda 7 dagar efter spridning men efter 20 dagar är kvoterna i hjulspår och vägmitt nästan desamma, men något förhöjda. I vägmitt är kvoterna inte lika förhöjda som i vänster hjulspår efter 7 dagar. En rimlig förklaring är att hjulspåren i stort sett är fria från NaCl vid utläggningarna av CaCl_2 och MgCl_2 , medan NaCl ligger kvar i vägmitt och därför sänker kvoten Cl/Na, genom sitt tillskott av Na. Kvoten Cl/Na är i stort sett konstant på CMA-, Socker- och referenssträckorna (mellan 1–1,6 vilket ska jämföras med 1,54 för ren NaCl).

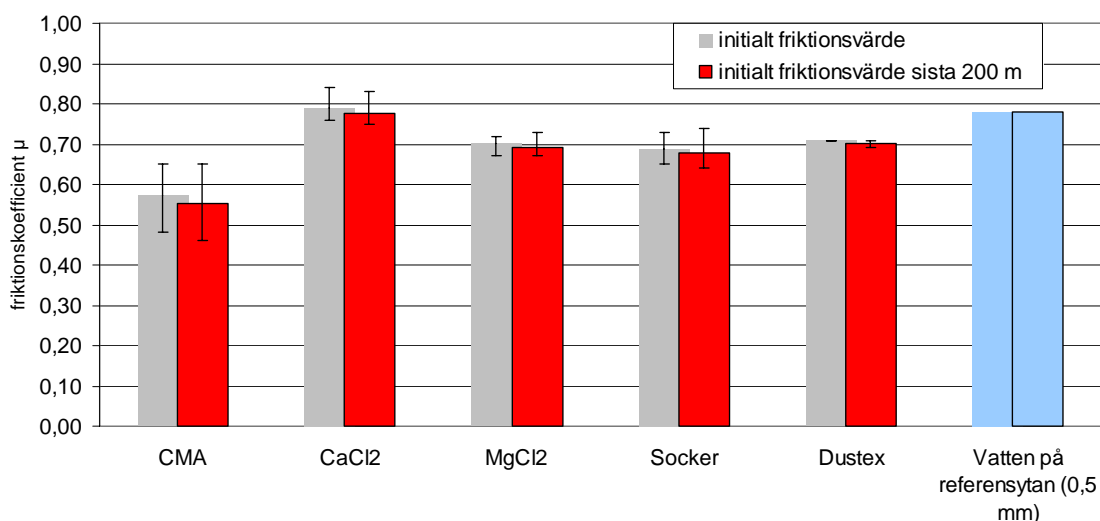


Figur 40 Kvot mellan halter av olika ämnen på de dammbundna sträckorna och referenssträckan 20 dagar efter utläggning. Vägmitt till vänster och vänster hjulspår till höger.

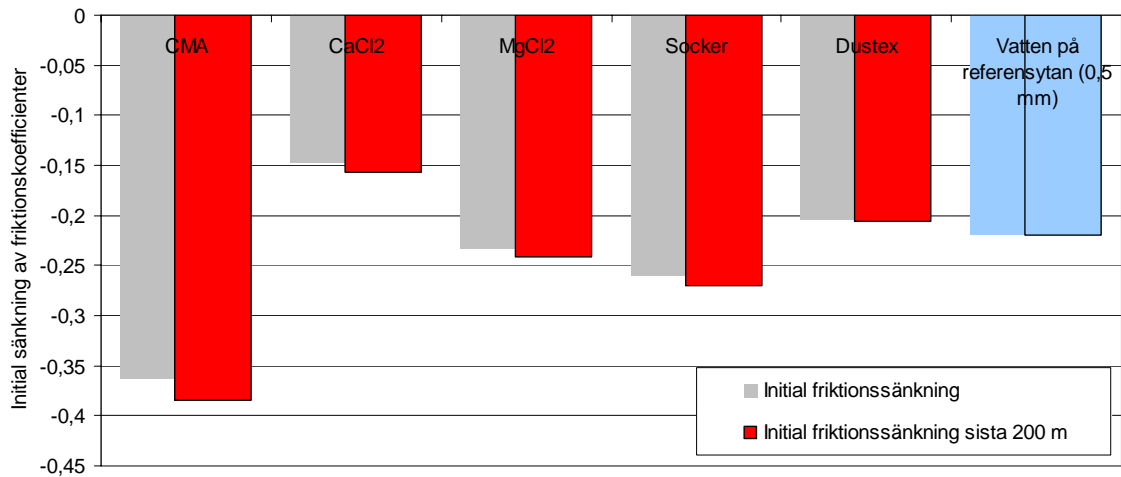
Kvoten mellan de analyserade ämnena på mätsträckorna och referenssträckan visar på den stora skillnaden mellan vägmitt och hjulspår (Figur 40). I stort sett är endast klorid fortfarande förhöjd efter 20 dagar i hjulspåret, medan vägmitt uppvisar kraftigt förhöjda värden i förhållande till referenssträckan. Något oväntat är kloridhalten tydligt förhöjd även på CMA-sträckan i såväl hjulspår som vägmitt. En möjlig förklaring kan vara att CaCl_2 -sträckan ligger söder om CMA-sträckan, vilket medför att den tidigare omnämnda utsmetningseffekten i viss mån kan ha transporterat klorid från denna till CMA-sträckan över den gångna 20-dagarsperioden.

4.5 Friktion

Alla fem dammbindningsmedel (inklusive Dustex) sänker friktionskoefficienten efter utläggning. Vid ett tillfälle sjunker friktionen under 0,5 vid spridning med CMA, i övrigt är friktionen högre (Figur 41). CMA ger störst initial friktionsnedsättning och CaCl_2 lägst i föreliggande försök (Figur 42).

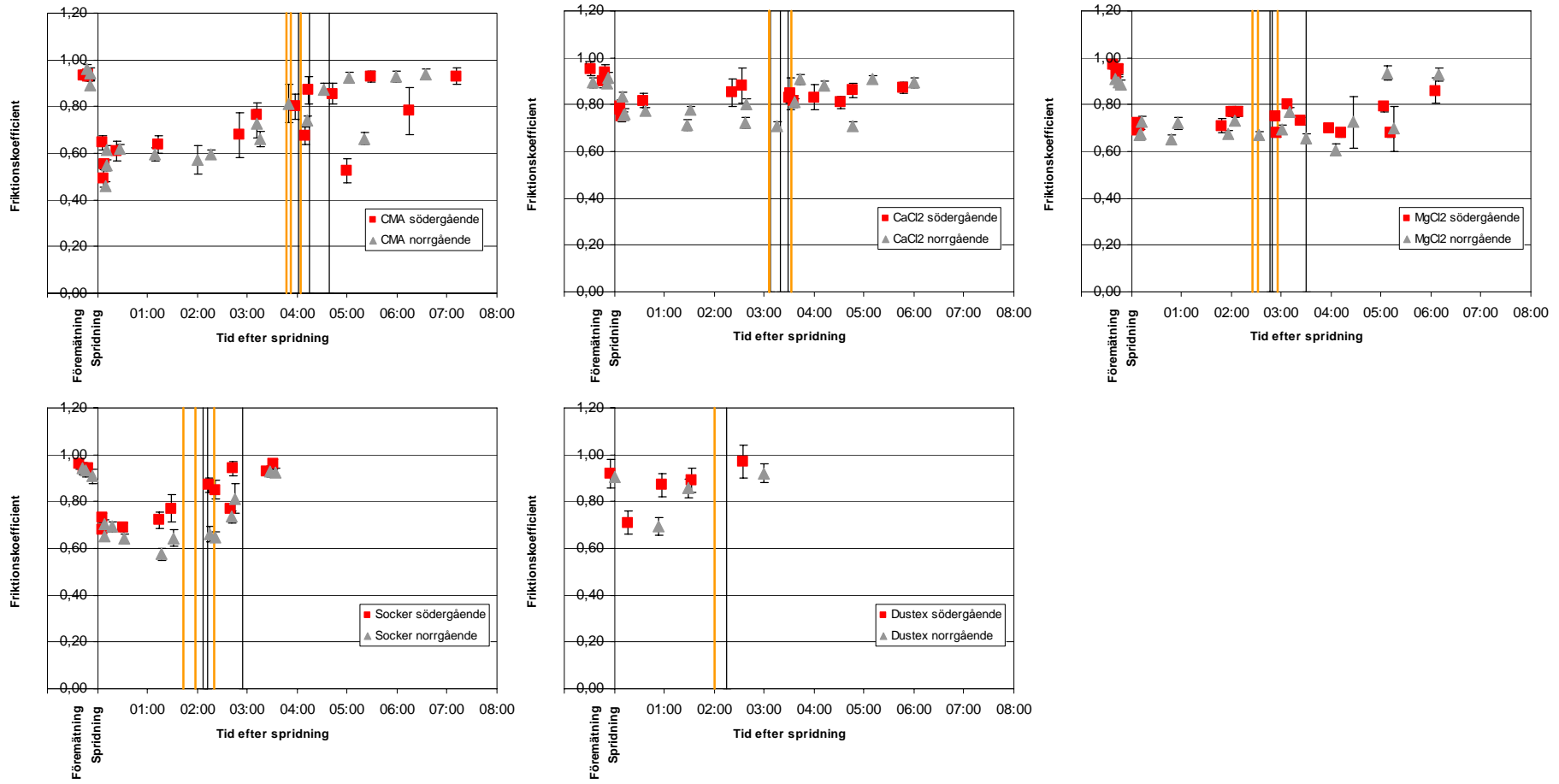


Figur 41 Medelvärden för initial friktionskoefficient efter utläggning av de olika dammbindningsmedlen. Felstaplarna representerar i detta fall maximal och minimal friktion.



Figur 42 Initial sänkning av friktionskoefficienten beräknad som skillnaden mellan medelvärdena för före-mätning och första mätningen efter utläggning vid de tre utläggningstillfällena.

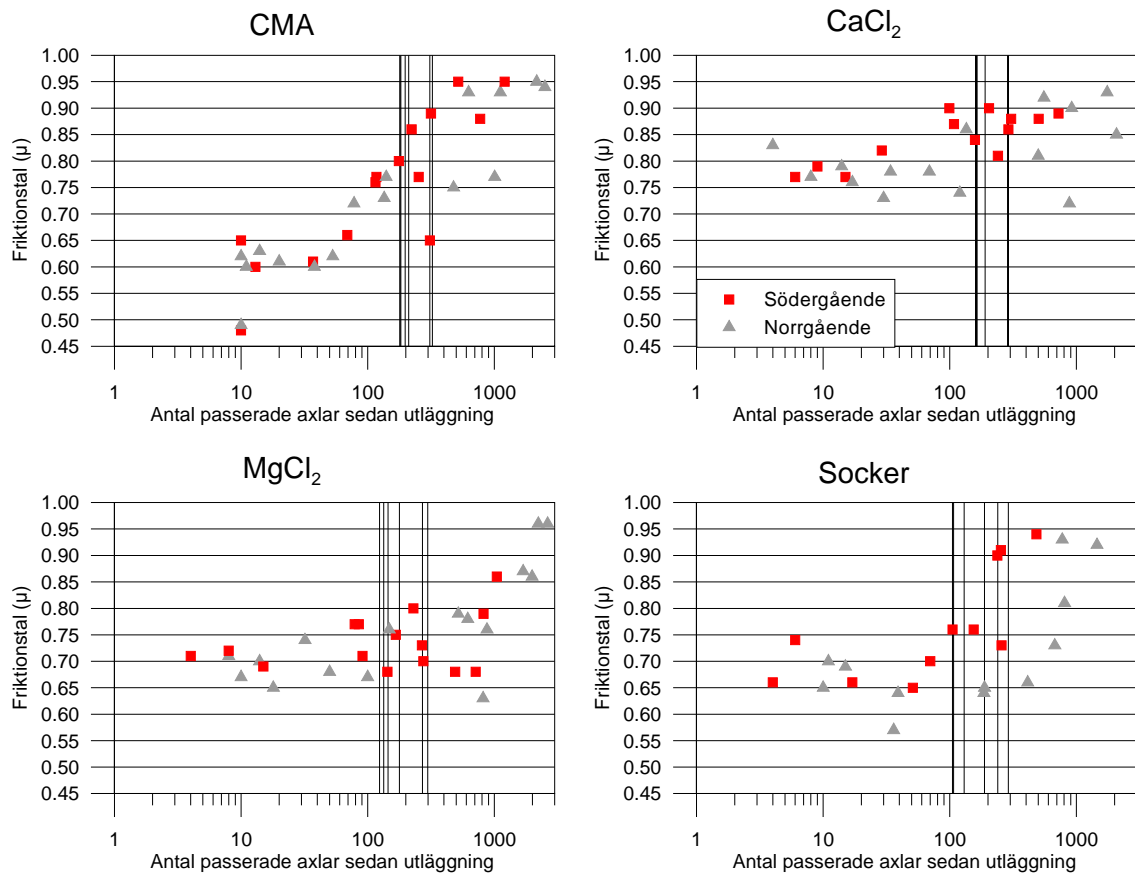
Den initiala friktionsnedsättningen är störst, men viktigt är också hur länge friktionsnedsättningen varar. De faktorer som bedöms som viktigast i denna process är trafikens och meteorologins upptorkande effekt. Fordon driver upp fukt från vägbanan dels genom hjulens kontakt, men också genom det luftsug som uppstår under fordonet. Då dammbindningsmedlen lagts ut nattetid har ökande solinstrålning och medföljande ökande temperatur och sjunkande luftfuktighet en upptorkande effekt på vägbanan. I Figur 43 visas samtliga data för mätperioderna. Det finns en tendens att de medel som läggs ut senare har kortare friktionsnedsättningstid än de som läggs ut tidigt under natten. Här är såväl morgontrafikens inverkan och meteorologin viktig. Morgontrafiken startar på denna väg ca kl. 6.00. Detta klockslag har lagts in som lodräta linjer i Figur 43, liksom solens uppgång. CMA ligger ganska konstant på låg friktion, men friktionen ökar innan såväl soluppgång och trafikstart och har enstaka låga friktionsvärden även efter den generella uppgången. Ingen av de två kloridbaserade medlen reagerar nämnvärt på soluppgång eller trafikstart utan behåller en något nedsatt friktion även 5–6 timmar efter utläggningen. Varaktigheten för friktionsnedsättningen är kortast för socker och Dustex, som redan efter 2–3 timmar efter utläggning är tillbaka till utgångsvärdet, vilket kan tolkas som att socker och Dustex snabbare reagerar på den upptorkande effekten av trafik och soluppgång, medan kloridsalterna reagerar långsammare.



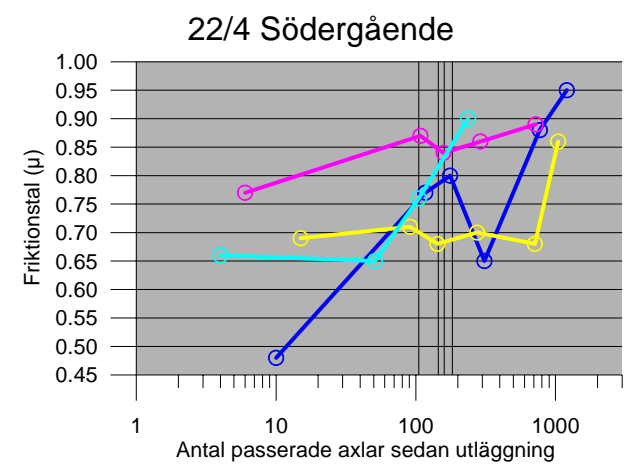
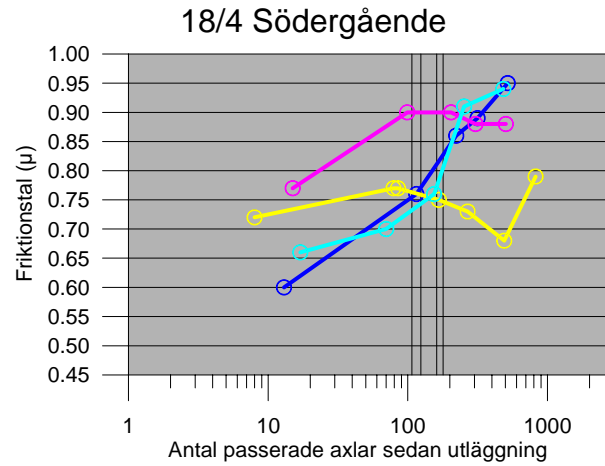
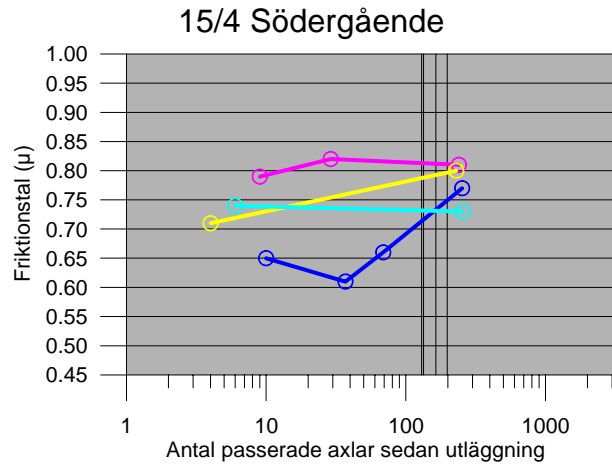
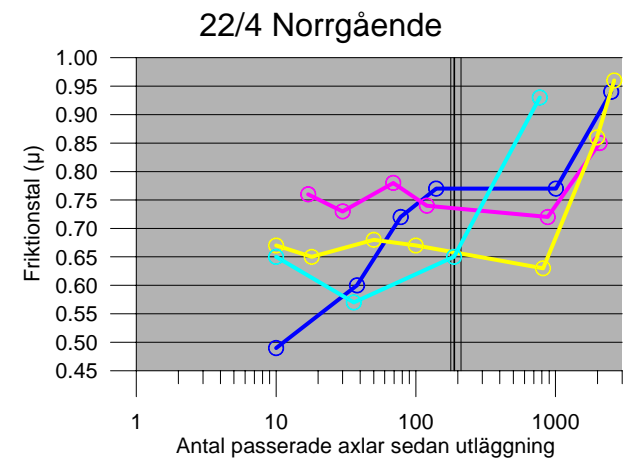
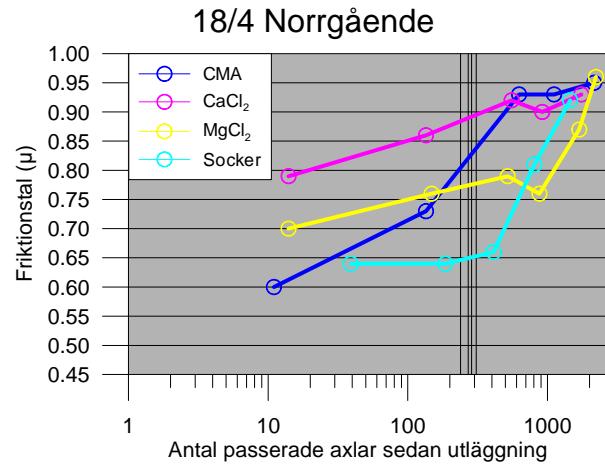
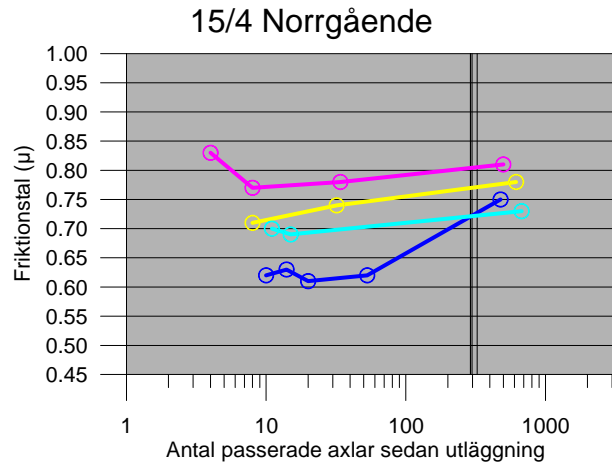
Figur 43 Friktionskoefficientens förändring vid utläggning av de olika dammbindningsmedlen. Värdena till vänster om noll på tidsaxeln är friktionen före utläggning. Vid noll sker utläggningen (medeltid för respektive insats). De vertikala svarta linjerna representerar morgontrafikens början (kl. 06.00) och de orangea soluppgång.

Det är, som synes, svårt att avgöra om någon av upptorkningsprocesserna dominerar, varför en analys av trafikens inverkan gjorts genom att avsätta friktionsvärden mot antal passerade hjulaxlar efter utläggning. Dessa analyser kunde inte göras på sträckan med Dustex-utläggning, då inga trafikslangor var installerade där. Data i antyder att friktionen reagerar något olika med ökande trafik beroende på vilket dammbindningsmedel som används. På CMA ser friktionen ut att stiga ganska snabbt efter ca 100 axelpassager. Socker har en liknande trend, medan friktionen på de båda kloridbaserade medlen stiger långsammare med ökande axelpassager. Den plötsliga friktionsökningen på CMA kan vara ett resultat av att meteorologisk upptorkning accelererar efter ca 100 fordonspassager på morgonen eller att medlet effektivt har reducerats av trafiken. För att undersöka kopplingen till meteorologisk upptorkning har i Figur 44 linjer som motsvarar tidpunkterna för soluppgång lagts in. Som synes stiger friktionen för CMA före soluppgången och ungefär vid tiden för soluppgången för socker medan de kloridbaserade medlen inte verkar påverkas nämnvärt. Inte heller om man studerar varje utläggning i detalj kan någon tydlig effekt av soluppgång märkas (Figur 45).

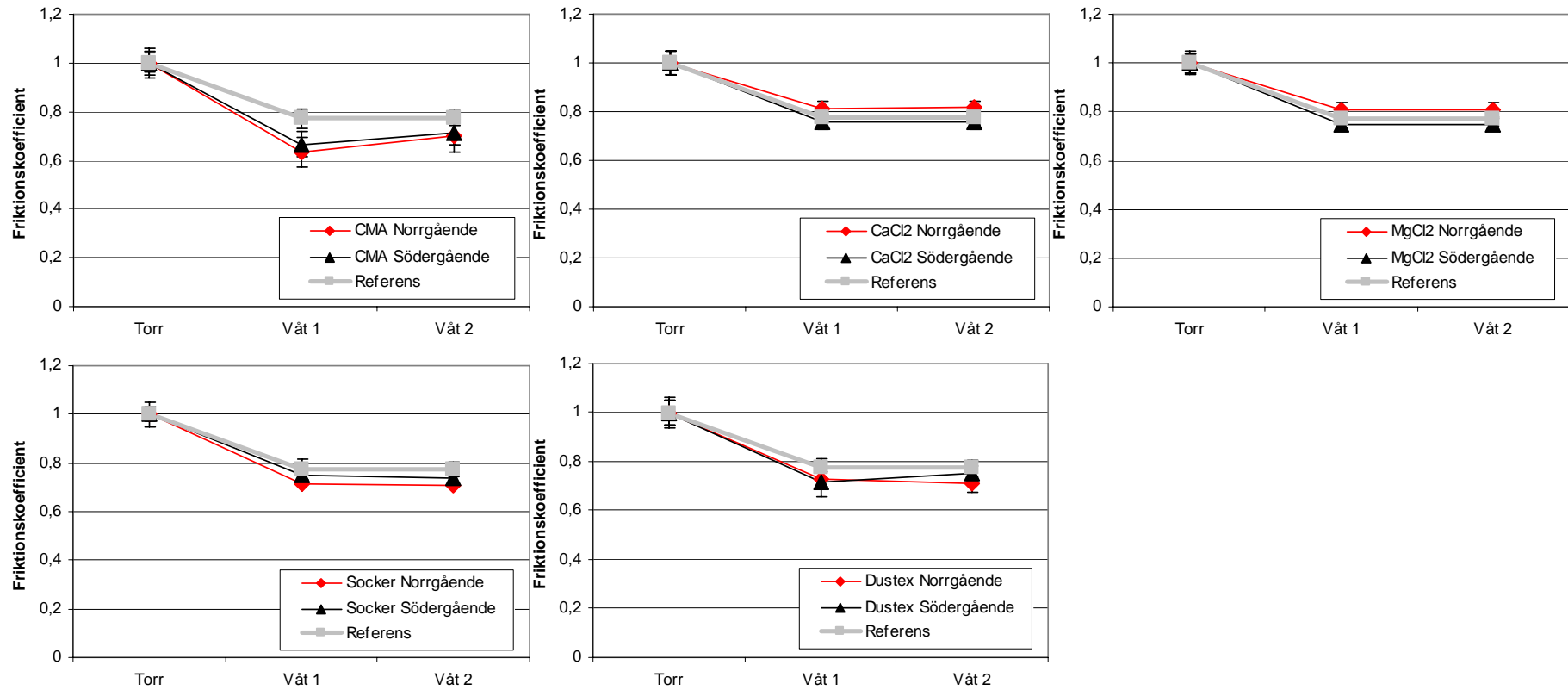
Ett oväntat resultat är att friktionssänkningen i norrgående fil generellt varar fler fordonspassager än i södergående trots att norrgående fil har högre trafik i morgonrusningen in till Linköping. Detta är tydligt i Figur 45 där medel och filer separerats. En förklaring till detta kan vara att trafiken inte är den huvudsakliga förklaringen till minskad friktion, utan att meteorologisk upptorkning dominerar. Detta skulle resultera i att fler fordon hinner passera i norrgående fil innan friktionstalet återgått till normala nivåer. Resultaten ovan tyder på att tiden för soluppgången inte verkar vara en lämplig meteorologisk variabel.



Figur 44 Friktionens beroende av ackumulerad trafik uttryckt som antal passerande fordonsaxlar. De lodräta strecken motsvarar tiden för solens uppgång under de olika mätningarna. Notera att x-axlarna är logaritmiska.



Figur 45 Friktionen vid respektive mätning i relation till antal passerade axlar. De lodräta strecken motsvarar tiden för solens uppgång under de olika mätningarna. Notera att x-axlarna är logaritmiska.



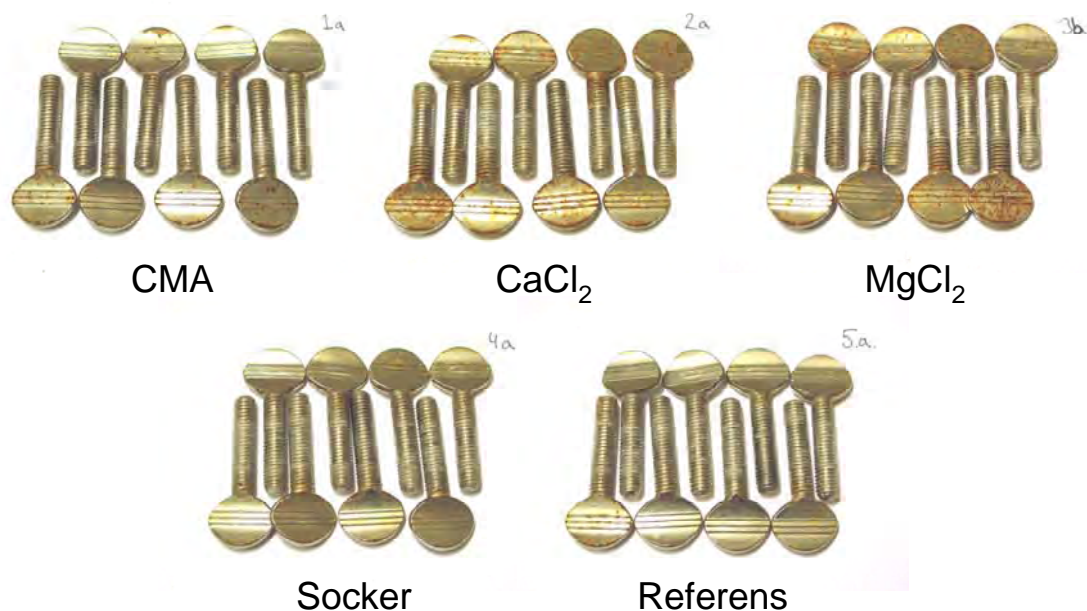
Figur 46 Torr- och våtfriktion på de olika dammbundna ytorna på dagen 20080430, på förmiddagen efter en utläggning. Värdena är normerade mot friktionsvärdet vid torrt väglag för enklare jämförelse av friktionsnedsättningen.

För att studera om nederbörd skulle sänka friktionen på ytorna efter att friktionen återgått till normala värden gjordes ett test där friktionsbilens ordinarie vattenbegjutning med 0,5 mm vattenfilm användes. Försöket genomfördes 2008-04-30, mellan klockan 11 och 14, alltså ca 11–12 timmar efter utläggning av medlen. Figur 46 visar att CMA och eventuellt även Dustex sänker friktionen mer än 0,5 mm vattenfilm på referenssträckan. Lägsta friktionstalen då är 0,65–0,70

4.6 Korrosion

Denna studie har inte haft som syfte att studera korrosion, men då hållarna till de aktiva filtren (se Figur 7) monterades ner efter fältperioden noterades att vingskruvarna i metall korroderat påtagligt olika på de olika stationerna. Dessa mätare stod endast 2 m från yttre vita linjen och har alltså utsatts för mycket spray och stänk från respektive dammbindningsmedel.

En rent visuell bedömning ger att korrosionen på skruvarna är högst på kloriderna, följt av CMA, socker och referensen (Figur 47).



Figur 47 Korrosion på skruvar till ställningar för aktiva filter.

5 Diskussion

Resultaten från denna studie visar att de provade dammbindningsmedlen har likvärdig dammbindande effekt. Den första utläggningen resulterade i minskad PM_{10} på de behandlade sträckorna jämfört den obehandlade med 35–40 % avseende dygnsmedelvärde. Resultaten visar även på en möjlig ackumulerad effekt på upp till ca 60 % efter två utläggningar. Analys av differensen mellan halterna dagen innan och efter den första utläggningen visar att $MgCl_2$ har sänkt halterna mer än övriga medel. Detta kan jämföras med resultat i motorvägsmiljöer där effekten dagen efter behandling varit 20–40 % (Johansson et al., 2005) och i genomsnitt två dagar efter behandling 37 % (Bouma et al. 2005). Mätningar vid Essingeleden i Stockholm resulterade i liknande reduktion på 25–35 % (Norman and Johansson, 2007).

Den enda studie som utvärderat olika dammbindningsmedel samtidigt under samma förhållanden är (Johansson et al., 2005), där magnesiumklorid och CMA testades på E4 norr om Stockholm. Resultaten visade att det fanns en antydning att magnesiumklorid hade något bättre effekt än CMA, men författarna ansåg inte att man med säkerhet kunde säga att de små skillnaderna inte berodde på andra omständigheter. Under våren 2007 användes magnesiumklorid på E4 på Lilla Essingen i Stockholm och även dessa försök indikerar en något större reducerande effekt än av CMA, som provades året innan (Norman and Johansson, 2007).

Flertalet studier har genomförts i stadsmiljö, där förhållandena är mer komplexa än längs en landsväg eller motorväg. Emissioner av partiklar från kringliggande vägnät och en mängd andra partikelkällor gör effekten av dammbindning mer komplicerad att utvärdera. I Stockholm har dammbindning med CMA provats sedan 2003 (Johansson et al., 2004; Johansson et al., 2005; Johansson et al., 2006; Norman, 2008). Resultaten visar på en positiv, men kortvarig effekt. Ofta räcker dammbindningen bara till att dämpa förmiddagens koncentrationstopp. Dessa resultat står i viss kontrast till resultaten i föreliggande studie, där en mer generell sänkning över dygnet verkar gälla. Åtminstone kan ingen tydlig trend med större effekt på förmiddagen skönjas i data. Varaktigheten hos medlen är rimligtvis i hög grad beroende på meteorologi och trafikvariationer och för att bättre kunna utvärdera denna effekt bör särskilda studier genomföras under olika förhållanden.

I studierna från Stockholm finns resultat med anknytning till varaktighetens koppling till klimatvariationen under året. Norman (2008) fann att effekten av dammbindning är större på hösten och senvintern än under vårens senare del, vilket tolkas som en effekt av snabbare upptorkning på grund av ökad solinstrålning och lägre luftfuktighet allteftersom våren framskrider. Då denna studie kom igång förhållandevis sent på våren, är det möjligt att dammbindningsmedlens effekt, under fuktigare förhållanden med mindre solinstrålning, kunde ha varit ännu större och långvarigare, än vad som framkommit.

Hur de 3 mm nederbörd som föll den 17/4 och 18/4 påverkat mätningen är oklart. Ett tillskott av vatten på vägytan bör rimligtvis innebära att dammbindningseffekten förlängs. Samtidigt kan man argumentera att ökad fukt ökar borttransporten av medlen från vägytan genom trafikens verkan. Dammbindningseffekten tenderar att långsamt avta under dessa dygn, snarare än att förstärkas, vilket kan tyda på att effekten av de mm som föll inom knappt ett dygn är liten.

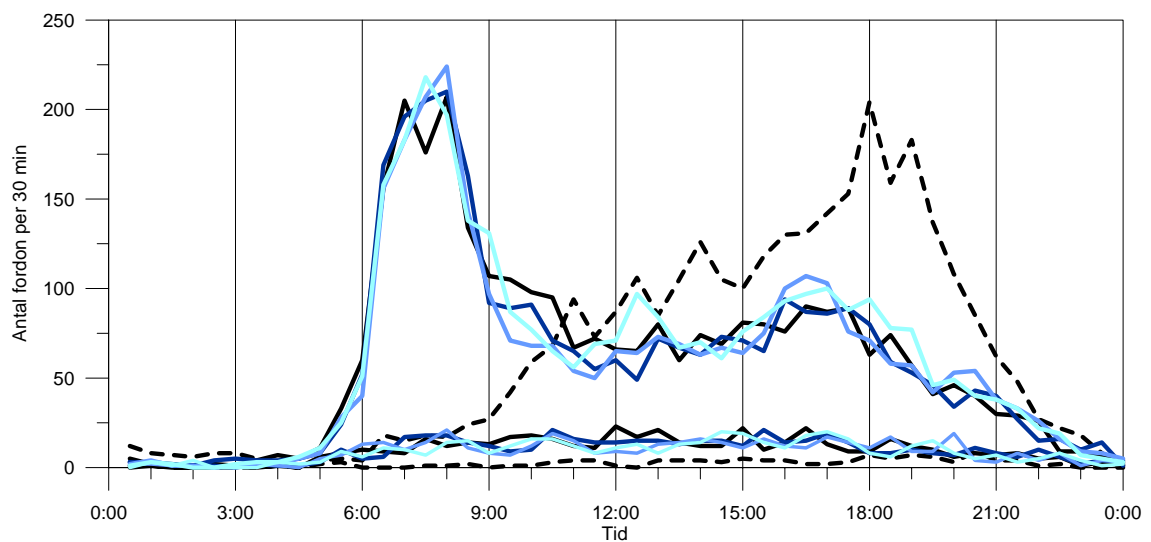
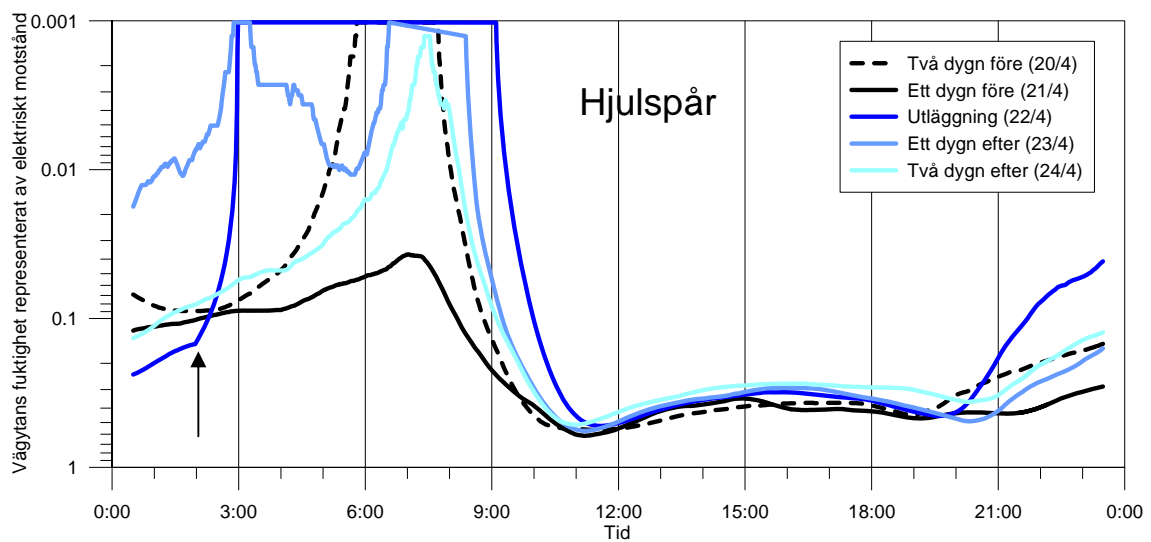
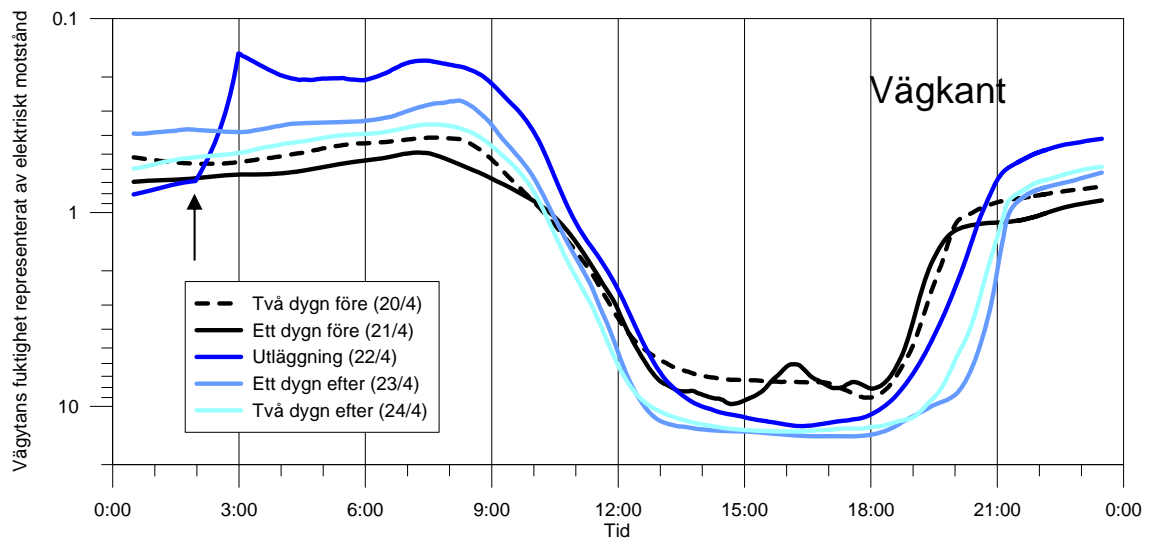
De något större regnmängder som föll efter den 5:e utläggningen har dock tydligt dämpat partikelhalterna under flera dagar och sänker kvoterna. Dessutom sjunker

kvoterna successivt med tiden efter båda de sista utläggningstillfällena. En hypotes är att detta beror på att upptorkningen efter regnet efter femte utläggningen går snabbare på referensstationen än på de dammbundna sträckorna där dammbindningsmedel från fem utläggningar delvis ackumulerats och fördröjer upptorkningsförloppet. Här kan även daggutfällning spela en viss roll genom att de behandlade sträckorna skulle kunna återfuktas effektivare och hålla fukten längre än referensstationen. Dessa aspekter har det tyvärr inte funnits utrymme till att undersöka vidare inom detta projekt.

I ett parallellt utvecklingsprojekt på VTI har några försök genomförts med fuktgivare på föreliggande projekts försöksytor för att studera om skillnader i fuktighet och dennas varaktighet kan studeras utifrån vägytans elektriska ledningsförmåga. Mätton placerades i norrgående högra hjulspåret och vid vägkanten. Mättekniska problem gör tolkningen av data delvis svår och data uppvisar även en del svårförklarliga fenomen. Figur 48 visar fuktsignalen för en mätare vid vägkanten och en i höger hjulspår i norrgående fil samt trafikdata för några dygn runt en utläggning av $MgCl_2$.

Utan att övertolka informationen i Figur 48, visar den att vägbanan är fuktig under morgonrusningen, vilket rimligtvis är själva orsaken till att dammbindningsmedlet har en effekt på partikelhalterna. Vägytan torkar dock snabbt upp under dagstimmarna. Hjulspåret torkar upp snabbare än vägkanten och verkar bli fuktigt igen senare. Dammbindningsinsatsen ses till vänster i de två övre figurerna vid pilarna. Fuktigheten ökar snabbt och är under morgontimmarna högre under det dammbundna dygnet än dygnet före dammbindning. Dessa två dygn är dock fortfarande påverkade av utläggningen den 18/4. Det finns en tendens till att fuktigheten successivt avtar under morgontimmarna de två efterföljande dyggen.

Provtagningen med de passiva filtren visar att dammbindningsmedlen sprids till omgivningen, men under rådande meteorologiska förhållanden och de små spridda mängderna kan depositionen endast detekteras till vägens närmaste omgivning (högst 10-talet meter). Depositionen av de analyserade anjonerna, som sprids i mätbara mängder även till mätpunkterna 14 och 100 m från vägen är, i jämförelse med årsmedel för en bakgrundstation (Aspvreten), betydligt högre med avseende på Cl^- , ungefär hälften så stor med avseende på NO_3^- och i nivå med SO_4^{2-} (Henriksen et al., 2004; Grøntoft et al., 2007). Spridningen kan jämföras med studier av spridning av vägsalt ($NaCl$), som ofta påförs som mättad saltlösning i mängder jämförbara med de här använda mängderna (någon till några tiotal g/m^2). Blomqvist (1999) visade att spridningsgradienten på årsbasis för vägsalt sträcker sig minst 400 m från vägen, vilket torde vara fallet även för dessa medel.



Figur 48 Vägytans fuktighet i vägbant och hjulspår, samt antal fordon dagarna runt ett utläggningstillfälle.

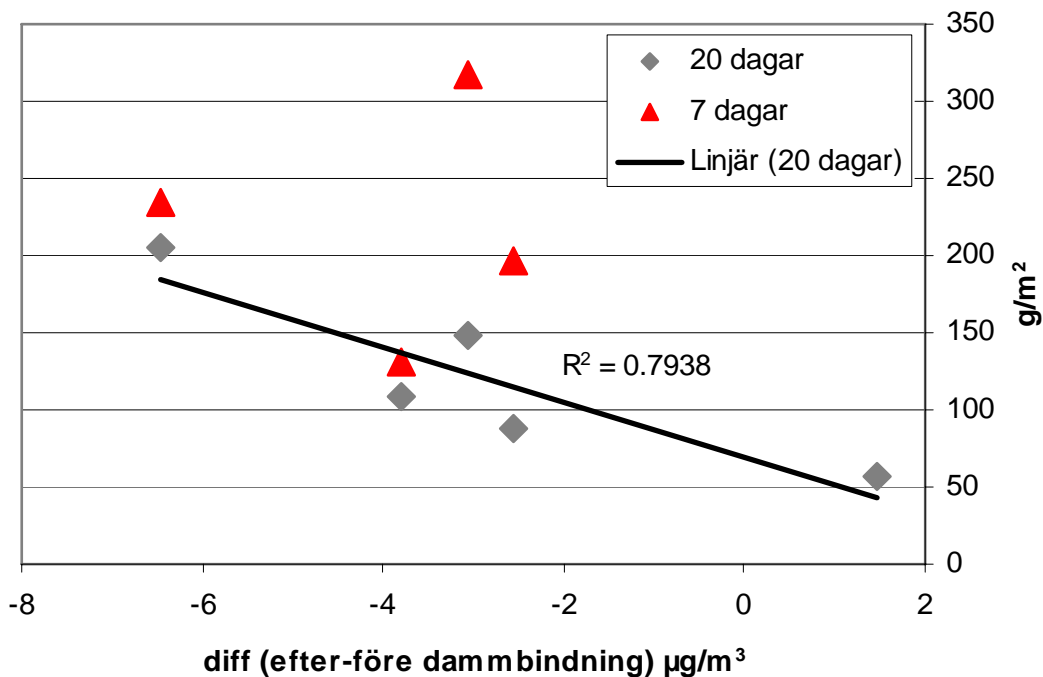
Anledningen till att mäta dammförrådet på vägytan är tanken att dammförrådet på vägytan borde avspegla dammbindningsmedlets effektivitet. Ju mer damm som finns kvar på ytan, desto effektivare medel. Mängden damm på vägytan kan antas vara en av källorna till damm i luften. Samtliga dammbindningsmedel orsakar ackumulering (bindning) av damm på vägytan, särskilt i vägmitt och rimligtvis även mellan hjulspår, medan hjulspåren snabbare rensas på damm via fordonens rörelser.

I amerikanska EPA:s modell AP-42 där uppvirvling av damm från vägytan ingår, används måttet siltmängd (silt load) som indata. Siltmängd definieras som mängden partiklar på vägbanan mindre än $75 \mu\text{m}$ (PM_{75}). Denna mängd undersöks genom att sopa och dammsuga upp partiklar från en viss yta på vägen. Många har kritiserat AP-42 och måttet (t.ex. Venkatram (2000)), delvis beroende på svårigheterna att mäta siltmängd på ett repeterbart sätt, men även på grund av den saknar mekanistisk grund. Venkatram (2000) menar att siltmängd inte kan förklara resuspension eftersom den inte är oberoende av sin egen emission. Siltmängd måste avta med tiden om den inte ersätts i samma hastighet som den emitteras.

Trots kritiken mot måttet, finns anledning att anta att damm på vägytan, genom uppvirvling, bidrar till damm i luften. Särskilt i miljöer där material i förhållandevis stor mängd tillförs kontinuerligt, genom till exempel dubbdäcksslitage och vintersandning, bedöms materialet på vägytan vara en viktig faktor (Kupiainen et al., 2003). Ett exempel som styrker detta är den stora skillnaden mellan partikelemissionen från dubbade och odubbade vinterdäck som påvisas i laboratoriemiljö (Gustafsson et al., 2008), är påtagligt mindre i fältförsök (Kupiainen et al., 2003; Hussein et al., 2008).

Den metod som används för att mäta mängd partiklar på vägytan i detta projekt, kallad Wet Dust Sampler (WDS) bedömer vi som en mer repeterbar och säkrare metod för provtagning än insamling med borste och dammsugare. Metoden är oberoende av vägytans fuktighet och spolrar med samma tryck och vattenmängd under lika lång tid. Metoden är dock fortfarande i ett utvecklingsstadium vilket bör vägas in i tolkningen av resultaten. Avskiljningen med sikt har i detta arbete gjorts vid $180 \mu\text{m}$, vilket ej är i överensstämmelse med siltmängd, så direkta jämförelser av värden är svåra att göra. En jämförelse med till exempel Chang et al. (2005), där siltmängd varierar mellan några få till några tiotal g/m^2 , ger dock vid handen att den variation som WDS uppvisar på väg 34, från några enstaka till drygt $300 \text{g}/\text{m}^2$, inte är orimliga värden.

I Figur 49 har förrådet som uppmätts med WDS i vägmitt 7 och 20 dagar efter utläggning avsatts mot den beräknade sänkningen i PM_{10} -halt vid utläggningen natten mellan 13 och 14 april. Sju dagar efter utläggning ses ingen tydlig trend i materialet, vilket delvis beror på att data för referenssträckan saknas. Tjugo dagar efter utläggning finns dock ett samband som kan tolkas som att ju större förråd partiklar på vägytan, desto större minskning i PM_{10} -halt, det vill säga effektivare dammbindning. Resultaten förutsätter att det finns ett direkt samband mellan mängden PM_{10} och mängden PM_{180} på vägytan, vilket inte är vidare undersökt här.



Figur 49 Mängden damm < 180 μm på vägbanan 7 och 20 dagar efter utläggning avsett mot differensen mellan PM_{10} före och efter utläggning.

Är det då rimligt att anta att mängden partiklar mindre än 180 μm på vägytan skall uppvisa ett samband med luftens PM_{10} -halt? Dels beror detta på innehållet av PM_{10} i dammförrådet, det vill säga hur storleksfördelningen hos partiklarna ser ut. Om uppvirvlingen är en viktig faktor är det rimligt att ett dammbindningsmedel som binder mycket damm på vägytan minskar uppvirvlingen av detsamma.

Friktionssänkningen är den huvudsakliga orsaken till tveksamhet kring användning av dammbindningsmedel, såväl i Sverige som utomlands. Vägverket föreskriver i ATB väg 2005 (Vägverket, 2005) att ”medelvärdet av friktionstalet på en 20 m sträcka ska vara större än eller lika med 0,5”.

Denna studie visar att samtliga använda dammbindningsmedel, applicerade med en dos på 20 g/m^2 , sänker vägytans friktion jämfört med torr vägyta. Den initiala friktionskoefficienten efter utläggning är för MgCl_2 , Socker och Dustex ca 0,7, för CMA ca 0,55 och för CaCl_2 knappt 0,8, vilket motsvarar friktionskoefficienten för en 0,5 mm vattenfilm. Den högre friktionskoefficienten för CaCl_2 beror troligen på den lägre koncentrationen (10 % lösning jämfört med övriga medels 25 %). Värden under 0,5 nås endast vid ett av mättillfällena och då endast på CMA-sträckan (0,48 och 0,49 medel över söder- respektive norrgående sträcka) första mätningen efter utläggning. Friktionen sänks mer än på referenssträckan på främst CMA-, men även i viss mån Dustex-sträckorna då en 0,5 mm vattenfilm läggs på dagen efter en utläggning.

Det finns en tendens att ju senare medlen har lagts ut, desto kortare är friktionssänkningens varaktighet, vilket tyder på att denna, i likhet med dammbindningseffekten, påverkas av meteorologi och trafik. För CMA börjar friktionen stiga ca tre timmar (eller 80 axelpassager) efter utläggning, vilket är ca en timme före soluppgången. Det är alltså inte troligt att meteorologin är den viktigaste orsaken till att friktionen stiger igen på CMA utan det räcker uppenbarligen med knappt 40 fordonspassager för att upptork-

ningen ska påbörjas och friktionen börja stiga. Det kan dock ta ca 500 axelpassager (högst 250 fordon) innan friktionen är normal igen.

De kloridbaserade medlen, särskilt $MgCl_2$, reagerar inte lika tydligt som CMA, socker och Dustex på meteorologi och trafik. För $MgCl_2$ tar det ca 5 timmar efter utläggning eller 2–3 timmar efter soluppgång/trafikstart eller ca 1 000 axelpassager (högst 500 fordon) innan friktionen återgår till värden motsvarande torr vägbanan.

Exemplen ovan visar att samspelet mellan meteorologi och trafik för bortstänkning och upptorkningen av de olika dammbindningsmedlen är komplext och inte låter sig beskrivas utifrån de data som insamlats inom detta arbete. Enligt Möller (2006) går gränsen mellan bortstänkning och upptorkning, för vatten, vid ca 10 g/m^2 . Bortstänkning beror på trafikflödets storlek, sammansättning och hastighet samt vind tvärs vägen och vägens tvärfall och textur. Upptorkningen följer därpå och beror mer på meteorologiska faktorer som vägytans temperatur, daggpunktstemperatur och vindhastighet. Enligt Möller (2006) kan trafikflödesparametrarna ses som vindparametrar för upptorkningen. För de doser som använts i detta projekt (20 g/m^2) bör båda processerna vara aktiva. Troligtvis behöver till exempel instrålningssituationen på respektive mätplats kunna beskrivas, då morgonens första solinstrålning troligen är viktig för upptorkningen. På grund av morgonsolens låga vinkel över horisonten påverkas instrålningen på mätplatserna även av skuggande objekt på förhållandevis långt avstånd från vägytan.

Tidigare studier har påvisat friktionsproblem med samtliga här provade medel. Dessa problem härleds dock oftast till höga doser (Ihs, 2004), höga koncentrationer (Sjöstedt and Derneryd, 2007) eller övergångsfaser mellan fast och flytande (Cl-salterna, (Leggett, 1999)). Genom att anpassa dos och koncentration kan delar av dessa problem minskas till acceptabla nivåer. Det är dock oklart var den nedre gränsen i dos och koncentration går för kombinationen en positiv dammbindande effekt och en tillfredsställande friktion.

Huruvida den friktionsnedsättning som dammbindning utgör en trafiksäkerhetsrisk beror på när medlet sprids i förhållande till trafikmängd, vilken hastighet som råder och vilka egenskaper trafiken har i övrigt (sammansättning, körmonster etc.).

Både dammbindningseffektens och friktionsnedsättningens varaktighet och dess beroende av koncentration och dos är viktiga aspekter som behöver studeras närmre för att optimeras i en implementering av dammbindning i större skala. Inom projektet CMA+ (finansierat av Life+ inom EU) genomför VTI under 2009–2012 tester med CMA för att utvärdera den dammbindande effektens varaktigheten i förhållande till medlets koncentration och dos, vilket förhoppningsvis kommer att bidra till bättre kunskap om hur dessa parametrar påverkar effekterna. Likaså återstår kunskapsutveckling rörande inverkan av de meteorologiska parametrarna och kopplingen till vägfukt samt hur vägfukten utvecklas beroende på vilket dammbindningsmedel som använts.

Ytterligare en aspekt som bör beaktas i eventuell fortsatt forskning är att $CaCl_2$ i föreliggande försök ger en likvärdig dammbindningseffekt trots lägre koncentration (10 istället för 25 %). Samtidigt är det oklart om övriga medel hade fungerat lika bra i samma lägre koncentration. Ur miljö-, korrosions- och kostnadssynpunkt är det därför av intresse att fortsatt studera effekten av olika koncentrationer av samma dammbindningsmedel.

6 Slutsatser

Fokus i detta projekt har varit att avgöra om skillnader föreligger mellan de olika dammbindningsmedlen vad gäller främst dammbindningseffekt och friktionsegenskaper. Inga slutsatser kan därför dras angående skillnader i koncentration och dos.

- Samtliga ingående dammbindningsmedel sänker dygnsmedelvärdet av PM_{10} -halten med ca 35–40 % i jämförelse med referenssträckan, men bedömningen av socker är tveksam, på grund av avvikande dygnsvariation.
- Effekten avtar under 3–4 dygn, men inga tydliga skillnader kan noteras i effektens varaktighet för de olika medlen.
- Efter andra utläggningen uppstår möjligen en ackumulerad effekt, då halterna på de dammbundna sträckorna är ca 60 % lägre än på referenssträckan. Därefter kan dock ingen fortsatt ackumulerad effekt urskiljas.
- Friktionen sänks vid utläggning av samtliga dammbindningsmedel. Den initiala sänkningen är störst för CMA och minst för $CaCl_2$, som använts i lägre koncentration än övriga medel i försöken. Alltså är det oklart om det är kemi eller koncentration som orsakar det bättre resultatet.
- CMA ger initiala friktionsvärden på ca 0,55, $CaCl_2$ knappt 0,8, som en 0,5 mm vattenfilm och övriga medel strax under 0,7.
- CMA, socker och Dustex ger kortvarigare friktionsnedsättning än de kloridbaserade medlen och reagerar tydligare på upptorkningspåverkan av trafik och meteorologi än $MgCl_2$ och $CaCl_2$.
- CMA och Dustex sänker friktionen mest då ytorna vattenbehandlas 11–12 timmar efter utläggning. Friktionen ligger som lägst på cirka 0,65 (CMA).
- Dammbindningsmedlen sprids via luften till omgivningen. Spridningsmönstret är typiskt med kraftigt avtagande deposition inom tioalet meter från väggkant.
- Mängden damm på vägytan är på samtliga plaster högre i vägmitt än i hjulspår och avtar generellt med tiden efter en utläggning av dammbindningsmedel. I vägmitt är mängden damm på de dammbundna sträckorna högre än på referenssträckan.
- Ämnesspecifika kemiska profiler visar att dammbindningsmedlen finns kvar på vägytan under minst 20 dagar efter utläggning under rådande meteorologi och trafik. I vägmitt i högre grad än i hjulspår.

Tabell 2 Sammanfattade egenskaper för dammbindningsmedel i denna studie (fältförsök och litteraturstudie).

	CMA	CaCl₂	MgCl₂	Socker
<i>Dos</i>	2x10 g/m ²	2x10 g/m ²	2x10 g/m ²	2x10 g/m ²
<i>Koncentration</i>	25 %	10 %	25 %	25 %
<i>Initial dammbindningseffekt (dygnsmedelvärde PM₁₀)</i>	35–40 %	35–40 %	35–40 %	35–40 % Svårtutvärderad pga avvikande dygnsmonster.
<i>Varaktighet av dammbindningseffekt under rådande förhållanden (dygn)</i>	3–4	3–4	3–4	3–4
<i>Friktion</i>	Lägst initial friktion (0,55). Friktionen ökar snabbt med upptorkning efter inledande låg nivå. Friktionen sjunker mer än referens vid vattenbegjutning av torkad vägbana	Högst initial friktion (knappt 0,8) som ökar långsamt med upptorkning	Initial friktion ca 0,7, som stiger långsamt med upptorkning	Initial friktion ca 0,7, som stiger snabbt med upptorkning
<i>Korrosion</i>	Väsentligt mindre korrosion på metall och plåt än NaCl; lägst påverkan av jämförda medel i undersökning. Mindre skillnad mellan CMA och NaCl avseende korrosiv förmåga på armeringsjärn.	Mindre aggressivt på betong i jämförelse med MgCl ₂ , men mer aggressivt än NaCl. Likartad effekt på stål som NaCl.	MgCl ₂ mest aggressivt på betong i relation till NaCl och CaCl ₂ . Däremot är effekten lindrig på metall i jämförelse med och CaCl ₂ .	Troligen små effekter i flytande form, dock har även rent vatten viss korrosiv verkan.
<i>Miljö</i>	Biologiskt nedbrytbart och därmed syreförbrukande i jord och vatten. Högre förmåga att mobilisera metaller i jord i jämförelse med NaCl. I princip harmlöst för vegetation.	Innehåller skadlig kloridjon (liksom NaCl och MgCl ₂): påverkar permeabilitet och stabilitet hos jordar, upptag av näringsämnen av växter. Särskilt barrträd påverkas negativt. Bidrar till ökad salthalt i grund- och ytvatten.	Innehåller skadlig kloridjon (liksom NaCl och CaCl ₂): påverkar permeabilitet och stabilitet hos jordar, upptag av näringsämnen av växter. Särskilt barrträd påverkas negativt. Bidrar till ökad salthalt i grund- och ytvatten.	Biologiskt nedbrytbart och därmed syreförbrukande i jord och vatten. Extremt lättnedbrytbart i jämförelse med t.ex. CMA. Vilt kan lockas till vägområdet. Spridning kan ge odör liknande mögelost.
<i>Kostnad</i>	4–5	1	1–1,5	3–4

7 Rekommendationer

Utifrån de mätningar som genomförts i detta arbete skiljer sig varken *dammbindnings-effektens storlek* eller *varaktighet* märkbart åt mellan de olika medlen. En aspekt som bör beaktas är att CaCl_2 ger en likvärdig effekt trots lägre koncentration. Samtidigt är det möjligt att övriga medel hade fungerat lika bra i lägre koncentration. CMA har sämre initial friktion än kloriderna, men nedsättningen tenderar att vara kortvarigare. CaCl_2 har bäst friktion, vilket delvis kan tillskrivas den lägre koncentrationen, det vill säga, de andra medlen kan ha lika bra friktionsegenskaper i samma koncentration. Endast CMA uppvisar vid någon enstaka mätning friktionsvärden under 0,5. Huruvida friktionsnedsättningen är acceptabel måste avgöras från fall till fall, beroende på trafikens och trafikmiljöns egenskaper.

I bedömningen av vilket medel som skall användas måste även effekter på miljö, korrosion och ekonomi vägas in. I litteraturstudien, som bifogas denna rapport, har en genomgång av dessa aspekter gjorts utifrån befintlig litteratur.

Grundat på denna rapports, inklusive litteraturstudiens, resultat och förutsatt de doser och koncentrationer som använts här, kan kortfattade rekommendationer för användning av de olika dammbindningsmedlen sammanfattas enligt följande:

- MgCl_2 har god dammbindningseffekt och medelgoda friktionsegenskaper. MgCl_2 är något dyrare än CaCl_2 , som är försökets billigaste medel. MgCl_2 har negativa effekter på vatten och vegetation och är korrosivt mot metall och särskilt betong. MgCl_2 kan rekommenderas på vägar och gator där miljö- och korrosionshänsyn har låg prioritet.
- CMA har god dammbindande effekt och sämst friktionsegenskaper av de provade medlen. Medlet är ca 4–5 gånger dyrare än kloriderna (MgCl_2 och CaCl_2). CMA har liten miljöpåverkan (främst syreförbrukning vid nedbrytning och mobilisering av metaller i jord) och låg korrosivitet. CMA kan rekommenderas på vägar och gator där liten miljöpåverkan och/eller låg korrosiv effekt är särskilt önskvärt.
- CaCl_2 har god dammbindningseffekt är god och medlet har bäst friktionsegenskaper, vilket bedöms bero på den lägre koncentrationen i detta försök. CaCl_2 är det billigaste medlet av de undersökta medlen. CaCl_2 har negativa effekter på vatten och vegetation och är korrosivt mot betong och särskilt metall. CaCl_2 kan rekommenderas på vägar och gator där miljö- och korrosionshänsyn har låg prioritet.
- Sockerlösning ger god dammbindande effekt och friktionsegenskaperna är näst sämst i denna undersökning. Sockerlösning är ca 3–4 gånger dyrare än kloriderna (MgCl_2 och CaCl_2). Medlet har liten miljöpåverkan (främst syreförbrukning vid nedbrytning och störande odör) och låg korrosivitet. Sockerlösning kan rekommenderas på vägar där liten miljöpåverkan och/eller låg korrosiv effekt är särskilt önskvärt.

Referenser

- Amereih, S., T. Meisel et al. (2005). "Antimony speciation in soil samples along two Austrian motorways by HPLC-ID-ICP-MS." *J. Environ. Monit.* 7: 1200–1206.
- Blomqvist, G. (1999). Air-borne transport of de-icing salt and damage to pine and spruce trees in a roadside environment. Institutionen för mark- och vattenresurser, Kungliga tekniska högskolan.
- Bouma, H., E. Bäck et al. (2005). Effekter på partikelhalten av CMA-spridning och rengöring – en studie av E6 genom Gårda och Lundbytunneln i Göteborg, Göteborgs stad, Miljöförvaltningen.
- Chang, Y. M., C. M. Chou et al. (2005). "Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP." *Atmospheric Environment* 39(10): 1891–1902.
- Ferm, M. (2004). "Use of passive samplers in connection with atmospheric corrosion studies (International workshop on atmospheric corrosion and weathering steels." Cartagena de Indias (Colombia), 27 Sept.–1 Oct. 2004.
- Ferm M, Watt, J et al. (2006). "Deposition measurement of particulate matter in connection with corrosion studies." *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 384: 1320–1330.
- Grøntoft, T., K., Arnesen et al. (2007). International Co-operative Programme on Materials, including Historic and Cultural Monuments. Trend exposure programme 2005–2006. Environmental data report October 2005 to December 2006. .
- Gustafsson, M. (2002). Väg- och gaturengöring som åtgärd mot höga partikelhalter orsakade av vägdamm. Linköping, VTI - Väg- och transportforskningsinstitutet.
- Gustafsson, M., G. Blomqvist et al. (2008). "Properties and toxicological effects of particles from the interaction between tyres, road pavement and winter traction material." *Science of The Total Environment* 393(2–3): 226–240.
- Henriksen, J. F., K. Arnesen et al. (2004). International Co-operative Programme on Materials, including Historical and Cultural Monuments and Contract EVK4-CT-2001-00044 MULTI-ASSESS. Environmental data report.
- Hussein, T., C. Johansson et al. (2008). "Factors affecting non-tailpipe aerosol particle emissions from paved roads: On-road measurements in Stockholm, Sweden." *Atmospheric Environment* 42(4): 688–702.
- Ihs, A. (2004). Friktionsegenskaper hos CMA vid dammbindning på barmark, VTI, PM.
- IPL. (2009). "Air Quality Innovation Programme." Retrieved 26 Juni, 2009, from <http://www.ipl-airquality.nl/>.
- Johansson, C., M. Norman et al. (2004). Partiklar i stadsmiljö – källor, halter och olika åtgärders effekt på halterna mätt som PM10. Stockholm, SLB analys.
- Johansson, C., M. Norman et al. (2005). Försök med dammbindning längs E4-Vallstanäs och i Norrmalm i Stockholms innerstad. Stockholm, SLB 10:2005, SLB analys.
- Johansson, C., M. Norman et al. (2006). Försök med dammbindning längs E4 och i Stockholms innerstad 2006. Stockholm, SLB 6:2006, SLB analys.

- Kupiainen, K., H. Tervahattu et al. (2003). "Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition." *The Science of the Total Environment*(308): 175–184.
- Kupiainen, K., H. Tervahattu et al. (2003). "Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition." *Science of the Total Environment* 308(1–3): 175–184.
- Leggett, T. (1999). Temperature and humidity effects on the co-efficient of friction value after application of liquid anti-icing chemicals – final report: 35.
- Möller, S. (2006). Tema Vintermodell Vägslagsmodellen. VTI rapport 529. Linköping, VTI.
- Norman, M. (2008). Försök med dammbindning med CMA mot höga partikelhalter i Stockholms innerstad 2007 och 2008. Stockholm, SLB-analys, Miljöförvaltningen.
- Norman, M. and C. Johansson (2007). Försök med dammbindning längs E4/E20 vid L:a Essingen 2007. Stockholm, SLB 3:2007, SLB analys.
- Sjöstedt, S. and A. Derneryd (2007). Partikeldämpande åtgärder i Göteborg 2007: underlag för spridning av dammbindande medel. Utvärdering av hastighetssänkning på Friggagatan och CMA-spridning.
- Venkatram, A. (2000). "A critique of empirical emission factor models: a case study of the AP-42 model for estimating PM10 emissions from paved roads." *Atmospheric Environment* 34: 1–11.
- Viinanen, J. (2007). "Helsingfors stads beredskapsplan för episoder med höga halter av luftföroreningar." from http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/9a747f804a17230da17be93d8d1d4668/Julkaisu11_07net.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=9a747f804a17230da17be93d8d1d4668.
- Vägverket (2005). Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion ATB Väg. Vägverket Publikation 2005:112.

Litteraturstudie

Effekt av dammbindning av belagda vägar

En litteraturöversikt

Per Jonsson

Mats Gustafsson

Göran Blomqvist

Innehållsförteckning

1	Syfte	1
2	Inledning	2
2.1	Processer bakom dammbindning	3
3	Metod.....	4
4	Kalciummagnesiumacetat (CMA)	5
4.1	Allmänt CMA.....	5
4.2	Försök med CMA.....	5
4.2.1	Isborttagning/halkbekämpning	5
4.2.2	Dammbindning.....	6
4.3	Sekundära effekter	7
4.3.1	Friktion.....	7
4.3.2	Korrosion	8
4.3.3	Miljö	10
4.3.4	Hälsa.....	12
4.4	Ekonomi.....	12
5	Magnesiumklorid (MgCl ₂).....	13
5.1	Allmänt MgCl ₂	13
5.2	Försök med MgCl ₂	13
5.2.1	Isborttagning	13
5.2.2	Dammbindning.....	13
5.3	Sekundära effekter	16
5.3.1	Friktion	16
5.3.2	Korrosion	16
5.3.3	Miljö	17
5.4	Ekonomi.....	20
6	Kalciumklorid (CaCl ₂).....	21
6.1	Allmänt CaCl ₂	21
6.2	Försök med CaCl ₂	21
6.2.1	Isborttagning.....	21
6.2.2	Dammbindning.....	21
6.3	Sekundära effekter	22
6.3.1	Friktion	22
6.3.2	Korrosion	22
6.3.3	Miljö	23
6.4	Ekonomi.....	23
7	Socketlösning	24
7.1	Allmänt sockerlösning.....	24
7.2	Försök med sockerlösning.....	24
7.2.1	Isborttagning och halkbekämpning	24
7.2.2	Dammbindning.....	24
7.3	Sekundära effekter	25
7.3.1	Friktion	25
7.3.2	Korrosion	25
7.3.3	Miljö	25
7.4	Ekonomi.....	25

Appendix 1

8	Kaliumformiat.....	27
8.1	Allmänt.....	27
8.2	Försök med kaliumformiat.....	27
8.2.1	Isborttagning.....	27
8.2.2	Dammbindning.....	27
8.3	Sekundära effekter.....	28
8.3.1	Friktion.....	28
8.3.2	Korrosion.....	28
8.3.3	Miljö.....	29
8.4	Ekonomi.....	29
9	Jämförelse av olika dammbindningsmedel.....	30
9.1	Jämförelse av effekter.....	30
9.2	Kostnadsjämförelse.....	32
	Referenser.....	34

1 Syfte

Syftet med föreliggande litteraturstudie är att få en aktuell bild av kunskapen kring effekter av de olika typer av dammbindningsmedel, som av Vägverket bedöms som mest intressanta för användning på belagda vägar.

2 Inledning

Tidigare studier har visat att olika typer av väghållning har stor påverkan på halten av PM_{10} i tätorter. Viss väghållning tjänar till att öka trafiksäkerhet, exempelvis genom sandning, men orsakar också förhöjning av PM_{10} -koncentration. Städning å andra sidan avser delvis att avlägsna grövre material som kan malas till PM_{10} . Olika städmetoder kan dock ifrågasättas med avseende på deras effektivitet. Även efter perioder med ihållande regn finns det anledning att anta att ett visst förråd av partiklar fortfarande finns tillgängligt för suspension i enlighet med Vase och Chiew (2002). En framkomlig väg att lösa detta tveeggade väghållningsproblem, åtminstone på kort sikt, är att binda partiklar till beläggningsen.

I Sverige har försök genomförts med att binda damm till vägbanan för att minska damningspotentialen. I synnerhet har kalciummagnesiumacetat (CMA) varit det medel som provats i svenska förhållanden, på grund av att det bedöms mer miljövänligt och mindre korrosivt än traditionella kloridsalter. Även andra dammbindningsmedel har varit aktuella och då avses primärt magnesiumklorid ($MgCl_2$), kalciumklorid ($CaCl_2$) och sockerlösning. Gemensamt för dessa är att de ursprungligen varit avsedda för halkbekämpning. Bakgrunden till sökandet efter alternativ till vanligt vägsalt ($NaCl$) är att saltning längs vägar har medfört negativa effekter på framförallt vegetation och vatten, men även på konstruktioner och fordon. Dessutom har försök med spridning av $NaCl$ visat sig ha en ytterst liten effekt, om någon alls, på halt av PM_{10} (Högnadóttir Steinbakk, 2003).

I jämförelse med $NaCl$ har CMA, som sprids i vätskeform, mycket begränsad påverkan på vegetation längs vägar och på korrosion (Bäckman och Folkesson, 1997; Fischel, 2001). Även $MgCl_2$ och $CaCl_2$ sprids i vätskeform (som dammbindning på grusvägar dock ofta i form av flingor) men innehåller alltjämt den harmfula kloridjonen. När det gäller olika former av halkbekämpning har dessa medel minimal påverkan på luftkvalitet i jämförelse med friktionssandning som visat sig ge upphov till höga halter av inandningsbara partiklar (PM_{10}) (Gustafsson et al., 2005; Räisänen et al., 2003).

Dubbdäcksanvändningen i nordiska länder har under senare år uppmärksamats som orsak till höga halter av PM_{10} . Problemet är i synnerhet stort under slutet av vintersäsongen och början av våren då upptorkning sker. Uppvirvling av partiklar som bildats genom nötning under vintersäsongen underlättas då, och dessutom tillkommer partiklar från sandning i tätorter. Resultatet blir höga halter av PM_{10} vilket kan medföra att miljö kvalitetsnormen som statuerar maximal koncentration om $50 \mu g/m^3$ som dygnsmedelvärde överskrids även i medelstora städer. Det är under dessa episoder dammbindningsmedel har potential att bidra till en bättre luftkvalitet och uppfyllande av miljö kvalitetsnormen. Generering av partiklar kvarstår fortfarande, eller kan till och med accelereras då dammbindningsmedel håller beläggningsen fuktig längre vilket kan öka beläggnings slitaget (Jacobson, 1994). Nyttan dammbindningsmedel kan göra är därmed att lindra negativa effekter på luftkvaliteten av dubbdäcksanvändning och vintersandning.

Försök med dammbindningsmedel som åtgärd mot höga halter av PM_{10} har ökat i omfattning i Sverige. Flera kommuner, däribland Stockholm, Göteborg och Linköping, har gjort försök med dammbindning. Resultaten är inte alltid samstämmiga vilket föranleder denna litteraturstudie som även behandlar befintlig kunskap om effekter på miljö, friktion och korrosion.

2.1 Processer bakom dammbindning

Traditionellt avser dammbindning grusvägar och kan sägas omfatta åtgärder som håller emissioner av dammpartiklar under en acceptabel högsta nivå (Lindh, 1981). I princip fungerar dammbindning på samma sätt oavsett om obelagd eller belagd yta avses. Två olika typer förekommer i litteraturen och som kommer att omtalas i denna rapport, de som är oorganiska salter (NaCl, MgCl₂, CaCl₂) och de som är organiska salter av ättiksyra eller myrsyra (CMA respektive kaliumformiat).

Processen bakom dammbindningsmedels funktion har sammanställts av Alzubaidi (1999). För dammbindning i sin enklaste form kan vatten användas. Effekten kan vara mellan 0,5 och 12 timmar på grusvägar, främst beroende på luftfuktighet. Då den relativa luftfuktigheten understiger 100 %, dvs. då luftens ångtryck är lägre än mättnadsångtrycket vid rådande temperatur, påbörjas avdunstning av det vatten som spritts på en yta. Vatten som innehåller salt, såsom NaCl, CaCl₂ eller MgCl₂ i lösning, har ett lägre mättnadsångtryck än rent vatten (Lindh, 1981). Salt sänker alltså mättnadsångtrycket och avdunstning fördröjs även om luftens relativa luftfuktighet understiger 100 %.

Dessutom är salterna som behandlas i denna rapport *delikvescenta*, dvs. de har förmågan att absorbera fukt ur luften och sedan lösa sig i det upptagna vattnet. Benämningen *hygroskopisk* är likartad men det fasta ämnet behöver inte nödvändigtvis gå i lösning utan bara befuktas (Lindh, 1981).

3 Metod

Denna sammanställning om effekter och effektivitet av dammbindningsmedel refererar i stor utsträckning till litteratur som berör medlen i halkbekämpningsperspektiv, det ändamål de allra flesta ursprungligen var framtagna för.

Det förekommer många kemikalier för både halkbekämpning och dammbindning. I föreliggande rapport har urvalet av medel begränsats till att omfatta de som är aktuella för svenskt vidkommande; kalciummagnesiumacetat (CMA), kalciumklorid, (CaCl_2), magnesiumklorid (MgCl_2), sockerlösning och kaliumformiat. Litteraturen behandlar till övervägande del CMA som dammbindningsmedel vilket även återspeglas i denna rapport.

Många referenser behandlar halkbekämpningsmedel/dammbindningsmedel som går under diverse varumärken. Eftersom denna rapport syftar till att sammanställa hur de olika huvudgrupperna av kemikalier lämpar sig som dammbindningsmedel tas inte specifika varumärken upp.

Kostnaden för dammbindningsmedel är en viktig parameter vid val av lämpligt medel. Här finns olika synsätt som kan användas till underlag av kostnadsberäkningar. Dessa kan inkludera kostnad för den form i vilken respektive medel saluförs (exempelvis som koncentrerad lösning, fast form), eller i den form som medlen används i fält. Koncentration och giva (uttryckt i exempelvis g/m^2) varierar bland användare. I kostnadssammanställningen för olika dammbindningsmedel redovisas ett exempel där två olika koncentrationer av medlen sprids i fyra olika givor.

Fler olika typer av källor har använts. Den mesta informationen om erfarenheter av dammbindningsmedel finns att finna hos miljöförvaltningar och vägverk, särskilt då i Finland, Norge och Sverige. Äldre litteratur handlar i stor utsträckning om dammbindning av grusvägar. Avseende andra aspekter har information inhämtats från diverse databaser och inkluderar SCOPUS och TRAX (VTI:s biblioteksdatabas). Internet har varit en viktig källa till information liksom muntliga källor.

4 Kalciummagnesiumacetat (CMA)

4.1 Allmänt CMA

Kalciummagnesiumacetat (CMA) är ett fast ämne som utvecklades i USA under 1970-talet i sökandet efter ett alternativ till NaCl. Man fann att CMA var det bästa alternativet till vanligt salt med avseende på miljö och halkbekämpningseffekt (TFHRC, 2007).

Ursprungligen skedde tillverkningen i flera steg där det första var förgasning av avfall där CO, CO₂ och H₂ bildades. Denna gasblandning (syntetgas) i vätskeform jäses sedan vilket leder till att acetatsyra (CH₃COOH) bildas. CMA bildas då denna syra reagerar med kalk och har en karakteristisk vinägerdoft (Ramakrishna och Viraraghavan, 2005).

Framställning av acetatsyra är den del av processen som är kostsam. Alternativa framställningssätt har tilldragit sig visst intresse, bl.a. genom jäsning av laktos och vassle (Fu och Mathews, 2005) och genom hydrotermisk reaktion (Jin et al., 2007).

4.2 Försök med CMA

4.2.1 Isborttagning/halkbekämpning

Förmågan hos CMA att smälta is är enligt Ramakrishna och Viraraghavan (2005) lika bra som NaCl vid låg appliceringsgrad. I de fall CMA blandas med sand blir vidhäftningen till underlaget bättre än om NaCl används, men smälter is och snö långsammare än salt. I Ontario visade försök att effekten av CMA var likvärdig NaCl i vägmiljö där temperaturen sällan understeg -5°C, snöfallet var endast lätt och trafikflödet var högt (Manning et al., 1993). Vid liknande försök, men med lägre temperaturer, ymnigt snöfall och lägre trafikflöde fann man att användandet av CMA resulterade i samma goda effekt som NaCl i endast 50 % av fallen; nödvändig standard uppnåddes därmed inte. Manning et al. (1993) slog därför fast att CMA inte ger tillfredsställande effekt i Ontario när det gäller halkbekämpning ens när det dyrare priset ignoreras. Under båda försökstillfällena visades dock att CMA i lösning gav bättre resultat än i fast form. Även i Danmark har försök med CMA som halkbekämpningsmedel visat att medlet inte är tillräckligt effektivt vid kraftigt snöfall (Attrup, 2004).

CMA kan variera till kemisk sammansättning med avseende på mängd kalcium- respektive magnesiumacetat. Beroende på andelarna har slutprodukten CMA olika egenskaper. I en litteratursammanställning hänvisar Ihs och Gustafson (1996) till en studie som fann att kvoten Ca/Mg på 3/7 ger sämre *smältförmåga* än 5/5 varför den senare rekommenderas i halkbekämpningssammanhang. Fischel (2001) beskriver vidare att CMA inte producerar någon större mängd smältvatten under -9°C. Detta överensstämmer väl med undersökning av Chang et al. (1994) som fann att CMA bara hade marginell effekt på issmältning under -10°C.

När det gäller att uppnå optimal *frys punktsnedsättning* är dock kvoten 3/7 att föredra då så låga temperaturer som -27°C kan nås. Detta skall jämföras med NaCl som vars maximala frys punktsnedsättning är -21°C. I övrigt visar sammanställningen (Ihs och Gustafson, 1996) resultat av undersökningar i fält som bäst kan redovisas i punktform:

- CMA är lika effektivt som NaCl för halkbekämpning, men CMA har långsammare verkan än NaCl
- Mer CMA krävs för att uppnå samma effekt som med NaCl, dock ospecificerat hur mängd avgörs; den höga kostnaden för CMA gör att medlet inte kan rekommenderas

- Prestanda hos CMA är mer beroende på temperatur, fuktighet och trafikvolym än NaCl
- CMA kan återfrysa vid snabb temperatursänkning vilket kan förvärra halksituationen
- I en studie var effekten av flytande CMA dålig vid de tillfällen snö förekom på vägen; i en annan var effekten godtagbar i mildt väder
- Inblandning av CMA i NaCl (i proportionerna 20 % respektive 80 %) visade samma effekt som rent NaCl
- CMA verkar fungera bättre som ett halkbekämpningsmedel som används i preventivt syfte, dvs. innan is bildas, snarare än som ismältningsmedel.

4.2.2 Dammbindning

Dammbindning i motorvägsmiljö

CMA har också andra användningsområden än enbart halkbekämpning. Försök har gjorts i både Stockholm (Johansson et al., 2005), Göteborg (Bouma et al., 2005), Norrköping (Sandsveden et al. 2007) och Linköping (Gustafsson et al., 2007) med att sprida CMA för att binda damm i väg- och gatumiljöer.

I Stockholm gjordes undersökningen vid Vallstanäs där E4 har två körfält i varje riktning. En 600 m lång sträcka behandlades med CMA i båda färdriktningarna, sedan följde en sträcka om 600 m som var obehandlad (kontrollsträcka), och därefter en sträcka om 600 m som behandlades med MgCl₂. PM₁₀ mättes vid de behandlade sträckorna och en bakgrundshalt uppmättes ca 1 km söder om MgCl₂-sträckan. CMA spreds under fyra tillfällen med koncentrationen 20 g/m², och två gånger med koncentrationen 40 g/m². Spridning av MgCl₂ gjordes enligt ett liknande schema.

Under försöken mättes vägbanans fuktighet, liksom trafikflödet i riktning mot Uppsala. Den totala dygnstrafiken uppskattades till 60 000 fordon i båda körriktningarna under vardagar och 40 000 under helgdagar.

Omedelbart efter behandling nattetid med CMA respektive MgCl₂ sjunker halterna i jämförelse med kontrollsträckan. Som mest sänktes halten av PM₁₀ med 60–70 %. Ytterligare en spridningsomgång under en annan natt gav liknande resultat. Efterföljande eftermiddag var effekten av dammbindningsmedlen inte längre synlig.

Resultat av mätningar som gjordes dagen efter spridning av CMA och MgCl₂, med samma vindriktning, visar att båda dammbindningsmedlen hade stor reducerande effekt på PM₁₀ i storleken 20–40 %. Hur länge den dammbindande effekten kvarstår visades vara beroende av rådande meteorologi, särskilt luftfuktighet. Efter ett spridningstillfälle var den dammbindande effekten fortfarande kvar ett par dagar efter behandling. Någon tydlig skillnad mellan de två medlen kunde inte urskiljas, dock en antydning till att MgCl₂ är något mer effektiv. Det visades också att antalet dygn då medelkoncentrationen överskred miljö kvalitetsnormen om 50 µg/m³ minskade påtagligt. Under mars och april 2005 då försöken genomfördes sjönk antalet dygn som översteg 50 µg/m³ med 36 %, både för CMA- och MgCl₂-sträckorna i jämförelse med kontrollsträckan.

I Göteborg gjordes ett liknande försök med CMA på E6 vid Gårda. Försöksupplägget var här något annorlunda från det i Stockholm, bl. a. jämfördes inte halt av PM₁₀ vid behandlad sträcka med bakgrundshalt vid obehandlad vägsträcka. Istället jämfördes halterna med en urban bakgrundsmätstation. I denna motorvägsmiljö reducerade

användningen av CMA halterna av PM_{10} med 37 % i genomsnitt under de två efterföljande dygnen. Denna studie undersökte också vilka partiklar det är som minskas; metoden att avgöra detta var genom att använda kvoten av $PM_{2,5}/PM_{10}$. Normalt sett brukar kvoten vara under 0,5 vilket indikerar att $PM_{2,5}$ inte utgör mer än 50 % av PM_{10} . Om kvoten ökar indikerar detta att grova partiklar utgör en mindre massa av PM_{10} , eller att $PM_{2,5}$ tillförs. I detta fall ökade kvoten vilket med största sannolikhet kan härledas till att CMA hindrade de grövre partiklarna att suspenderas (Bouma et al., 2005).

En av undersökningarna i Göteborg gjordes i Lundbytunneln. Bakgrunden till denna undersökning var att meteorologi, särskilt vindhastighet och vindriktning, inte varierar lika mycket där som i ett öppet landskap. Resultaten kunde därför förväntas vara lättare att tolka. Efter spridning av CMA minskade halten av PM_{10} med ca 30 %. $PM_{2,5}$ minskade också, men inte i lika stor utsträckning. Det fastslogs därför att CMA var effektivt som dammbindningsmedel för partikelstorleksintervallet mellan $PM_{2,5}$ och PM_{10} (det vill säga slitagepartiklar), medan partiklar under $PM_{2,5}$ påverkas mindre. De resultaten stämmer överens med undersökningen vid E6.

Dammbindning i stadsmiljö

Johansson et al. (2005) undersökte också effekten av CMA i stadsmiljö. I Norrmalm i Stockholm gjordes totalt 10 behandlingar med CMA. Norrlandsgatan ligger i centrum av det behandlade vägnätet, och det var också där PM_{10} mättes. Resultat från denna station jämfördes sedan med en mätstation på Sveavägen. När de enskilda tillfällena analyserades var effekten av CMA svår att urskilja. Väsentliga skillnader i PM_{10} -koncentration mellan Norrlandsgatan och Sveavägen var tydliga bara efter tre av de tio behandlingarna. Sett som dygnsmedelvärden fanns dock stora skillnader mellan de båda gatorna. Störst skillnad uppkom under högtrycksepisoder under mätperioden som var förknippad med lägre luftfuktighet. Vid de tillfällen då CMA var mest verkningslöst rådde fuktigare klimat, vilket dämpar emissioner av PM_{10} även där CMA inte används.

Det visade sig också svårt att få ner halterna av PM_{10} under miljö kvalitetsnormen eftersom de gator som behandlades med CMA endast utgjorde 1 % av hela Stockholms innerstads vägnät (Johansson et al., 2005). CMA har verkan lokalt, men inte i ett perspektiv som innefattar hela staden. Det skall också tilläggas att metodiken har vissa begränsningar. Till dessa hör att Sveavägen är mer trafikerad, och dessutom en bredare gata. Därför kan både emissioner och spridning av PM_{10} förväntas vara annorlunda jämfört med Norrlandsgatan.

4.3 Sekundära effekter

4.3.1 Friktion

En nackdel med CMA som har förts fram är medlets eventuella negativa effekter på friktion. Ihs (2004) undersökte förändring i friktion efter att en lösning med 25 % CMA (40 g m^{-2}) spridits på en 200 m lång teststräcka. Lösningen spreds sammanlagt fem gånger, och däremellan gjordes friktionsmätningar tills upptorkning skett. Upptorkningen tog ungefär 15 minuter efter varje behandling och är starkt beroende av väder. Direkt efter spridning av CMA-lösningen sjunker friktionen momentant, men ökar allteftersom upptorkning sker. Vid helt torra förhållanden har friktionen återfått sina höga värden. En av de viktigaste slutsatserna är att ju fler gånger CMA sprids på kort tid, desto mer sjunker friktionen. Normalt sett utgör CMA inget problem ur ett friktionsperspektiv, men mycket stora mängder kan leda till halka. Som jämförelse kan det

nämnas att spridning av vanlig saltlösning (NaCl) knappt sänker friktionen alls (Ihs, 2004).

Studien ovan utfördes under sommarförhållanden med en lufttemperatur runt 20°C. CMA-lösningen spreds också med ”dysor”, dvs. en ramp med spridningsmunstycken. Beroende på att det vanligaste sättet att sprida CMA är med tallriksspridare, samt att mätningen gjordes under sommarförhållanden, ansågs inte metoden vara representativ. Samma typ av undersökning som beskrivs ovan upprepades därför med både tallriksspridare och dysor av Ihs (2006) under verkliga vinterförhållanden (2–3°C). Resultaten av denna studie stämmer väl överens med de från föregående undersökning; friktionen sjunker direkt efter utläggning av CMA. Hur stor sänkningen blir beror på utspridd mängd, och längden på effekten beror på väderförhållandet. Jämfört med tidigare mätningar krävdes betydligt mindre mängder CMA för att åstadkomma en stor sänkning av friktionen. Under vinterförhållanden tyder resultaten på att redan så små mängder CMA som 10 g/m² kan sänka friktionen till 0,5.

Friktionssänkningen var betydligt större när CMA spreds med tallriksspridare än med dysor. Med tanke på att en stor friktionssänkning kan ske redan vid relativt små mängder uttrycker Ihs (2006) oro över om det är möjligt att ha kontroll över utspridd mängd CMA när tallriksspridare används.

Försök med CMA för dammbindning har också gjorts i centrala Linköping. I samband med detta mättes friktion före och efter spridning. Inställd dos var 20 g/m², men vid kalibrering visade sig ca 70 g/m² ha spridits. Resultaten visade att friktionen i genomsnitt sjönk från 0,8 till 0,5 vilket får anses vara en kraftig reduktion (Gustafsson et al., 2007).

Leggett (1999) testade också friktionen på en blåstrad glasskiva där flytande CMA spreds. Under försöket ändrades den relativa fuktigheten samt lufttemperaturen. Vid ett tillfälle då luftfuktigheten var låg bildades en vit homogen utfällning. Detta visade sig dock inte vara friktionsnedsättande utan tvärtom höjdes friktionen kraftigt. Då luftfuktigheten ökades återgick inte utfällningen till flytande form. Istället tillsattes mer flytande CMA vilket åter sänkte friktionen. Generellt sett gav flytande CMA den högsta friktionen efter applikation efter NaCl-lösning, åtminstone på den testyta som användes (glas).

I Nya Zeeland undersöktes effekt av CMA-spridning på friktion (Clarke et al., 2002). CMA sänkte där friktionen mer än bara vatten, och att den nedsättande effekten är mer ihållande än vatten. I förhållande till torr vägbana sänktes friktionen med 0,15–0,3 vilket överstämmer med studien av Gustafsson et al. (2007). Då CMA fanns på vägbana men i torr form upptäcktes dock ingen friktionsnedsättning.

4.3.2 Korrosion

Halkbekämpningsmedel som innehåller klorid accelererar metallkorrosion som orsakar påtaglig skada på konstruktioner och fordon. Som tidigare nämnts har därför halkbekämpningsmedel utan den skadliga kloridjonen eftersökts (TFHRC, 2007). Flera faktorer påverkar korrosion av metaller såsom fuktighet, mängd syre löst i fukten, smuts, geografiska förutsättningar och metalltyp (Fischel, 2001). Broar och nedgrävda konstruktioner är särskilt utsatta (Horner, 1988).

I en undersökning av Locke m.fl. (1989) jämfördes CMA med NaCl med avseende på korrosiv förmåga på metaller (olika stål och gjutjärn som förekommer i konstruktioner i vägmiljö). Två anordningar konstruerades för undersökningen. Den ena var en bassäng

där metallprover var helt nedsänkta, till hälften nedsänkta respektive hängandes ovanför lösningarna. Den andra var en automatisk apparat där metallprover doppades kontinuerligt i vald lösning (CMA och NaCl i olika koncentrationer).

Resultaten visade att NaCl var den mest korrosiva lösningen, och CMA var följaktligen minst korrosivt. Detta bekräftas också i en litteratursammanställning av Fischel (2001). CMA befanns vara 2–5 gånger mindre korrosivt än NaCl. Sättet som metallproverna exponerades på hade stor inverkan på korrosionen; de prover som var till hälften nedsänkta i, och de som doppades i lösningarna var mest påverkade. De prover som hängde fritt ovanför lösningen och endast utsattes för ånga från lösningarna gav lägst korrosion. Locke m.fl. (1989) slår fast att CMA har en väsentligt lägre korrosiv effekt än NaCl i lösning och vanligt kranvatten, men i det senare fallet beror effekten på vilket sätt metall utsätts för väta. Slutsatsen är att CMA ger upphov till mindre korrosion på exponerad metall i vägmiljö som på exempelvis fordon och broar i jämförelse med NaCl. Den direkta motsatsen förekommer också i litteraturen. Attrup (2004) rapporterar att användandet av CMA (25 %-ig lösning) på Stora Bält-bron i Danmark medförde liknande skador på varmförzinkad plåt som NaCl (22 %-ig lösning). Effekt av CMA på korrosion verkar dock inte vara beroende på vilken koncentration som avses enligt Meyer och Nygaard (2001) som använde stålplåt.

Skillnaden i effekt på armeringsjärn är däremot mindre mellan CMA och NaCl (Locke m.fl., 1989) vilket även Ihs och Gustavsson (1996) rapporterar i en litteratursammanställning.

Ihs och Gustafson (1996) sammanfattar i en litteraturstudie övriga gjorda korrosionsmätningar. Överlag konstateras att CMA är mindre korrosivt än NaCl. I en studie som tas upp är dock slutsatsen att användandet av CMA inte är ekonomiskt försvarbart, inte ens om den minskande korrosiviteten inräknas. Priset för CMA var, då undersökningen gjordes, 28 gånger högre än för NaCl, och det ansågs nödvändigt att 1,8 gånger så mycket CMA krävdes för att uppnå samma effekt som med NaCl. Detta skulle innebära att användandet av CMA medför en effektiv kostnad som är 50 gånger högre än för NaCl.

Den höga kostnaden som CMA medför har lett till att alternativa användningssätt har eftersökts. För att minska kostnaden, men ändå dra nytta av fördelarna med CMA, har försök gjorts där CMA blandas med NaCl. Den blandning som utvärderats av Ihs m.fl. (1996) bestod av 20 % CMA och 80 % NaCl. Under vintertid placerades provplåtar längs en sträcka där denna blandning spreds och jämfördes med plåtar längs en sträcka där enbart NaCl användes. Både målade och omålade provplåtar användes under försöken. Korrosionen korrigerades med att den naturliga andelen korrosion, som uppmätt på behörigt avstånd från vägmiljön, subtraherades från den korrosion som uppmättes i vägområdet. En blandning av 20 % CMA och 80 % NaCl ger mindre korrosion, men det är 5–6 gånger dyrare vilket gör det tveksamt att använda ur ett samhällsekonomiskt perspektiv (Ihs m.fl., 1996).

Chang et al. (1994) påpekar att CMA aldrig var tänkt att helt ersätta NaCl som halkbekämpningsmedel. Tanken var istället att CMA skulle användas där det var särskilt önskvärt att undvika korrosion, som på broar och i parkeringshus. Samma författare rapporterar också att en kombination av NaCl och CMA är mer korrosivt än både NaCl och CMA separat vilket förvånade författaren. CMA har även viss korrosiv effekt på beläggningar men beskrivs som mycket mild av Edwards et al. (1999).

4.3.3 Miljö

Vilken miljöeffekt användandet av CMA, och även andra typer av halkbekämpningsmedel som också kan användas som dammbindningsmedel har, varierar från område till område. Faktorer som inverkar är exempelvis dränering från vägområde till vattendrag, topografi, temperatur, nederbörd och grad av urbanisering i området (Ramakrishna och Viraraghavan, 2005). Undersökningar som hänvisas till nedan behöver därför inte nödvändigtvis reflektera vad miljöeffekten blir i skandinaviska områden. Överlag anses CMA ha bättre prestanda gällande både miljö- och korrosionseffekter (Sjöstedt och Darneryd, 2007).

Vatten

I miljöhänseende är CMA ett bättre alternativ än NaCl då halkbekämpning beaktas. I dammbindningssammanhang är dock NaCl inte ett alternativ på belagda vägar varför CMA istället får ställas mot $MgCl_2$, $CaCl_2$, sockerlösning och kaliumformiat. Litteraturen behandlar dock framförallt miljöaspekter när CMA används som halkbekämpningsmedel och endast ytterst lite om effekter vid dammbindning. De effekter som här tas upp är de som rör vatten, mark och vegetation i anslutning till vägområdet.

Som beskrivits ovan består CMA av acetat som är möjligt att bryta ned när syretillgången är god. I en litteratursammanställning sammanfattar Thunqvist (2006) nedbrytningsförloppet: nedbrytningshastigheten ökar med ökad temperatur och snabb infiltration och tunt markskikt ökar risken att CMA når grundvattnet. Är syretillgången begränsad sker långsam nedbrytning vilket ytterligare ökar risken för att CMA når grundvattnet. Även små tillskott av CMA kan leda till syrereduktion, i synnerhet om en vattensamling är istäckt då syresättning inte är möjlig. Under vinterhalvåret är dessutom den biologiska aktiviteten som lägst vilket leder till minskad nedbrytning.

Åtgången av syre då CMA, eller acetat, bryts ned tas även upp av Ramakrishna och Viraraghavan (2005) som ett huvudsakligt miljöproblem relaterat till CMA-användning. Syrebrist kan uppstå men effekten förmodas vara lokal i det fall den uppstår. Det finns också faktorer som mildrar risken för syrebrist och inkluderar utspädning och låg nedbrytningstakt under den årstid CMA används till halkbekämpning. Ett modellbaserat angreppssätt har tillämpats av Eheart et al. (1993) där effekt av CMA i typiska vattendrag för Illinois, USA, har undersökts. Metoden förutsåg syrebrist under de värsta förhållandena (stort antal snöfall under kort tid, CMA appliceras efter varje sådant tillfälle, is lägger sig på vattendraget vilket förebygger syresättning) längs delar av vattendragets sträckning. Om inte isläggning sker kommer dock vattnet att syresättas till acceptabla nivåer vilket kommer att ske med något sällsynt undantag. Danner och Wood (2000) observerade dock ingen mätbar effekt på biokemisk syreförbrukning (BOD), eller kalciumkoncentration eller magnesiumkoncentration, i en bäck i Oregon i anslutning till en väg som behandlats med CMA.

CMA innehåller också fosfor vilket ger näring till mikroorganismer och alger. I förlängningen kan spill av CMA leda till övergödning, speciellt i små vattensamlingar (Fishel, 2001).

CMA till dammbindning är det användningsområde som avses i första hand i denna rapport. Årstiden för denna typ av åtgärd är senvinter och vår då normala vinterförhållanden som beskrivs ovan inte är vanligt förekommande. Eventuella effekter av CMA under andra årstider på vatten och dess syresättning har inte påträffats i litteraturen.

Mark och jord

Kalcium och magnesium utgör huvudinnehållet i CMA. Dessa ämnen absorberas i jord och kan ge gynnsamma effekter på jordegenskaperna – exempelvis skapar en hög kalciumkoncentration leraggregat som förbättrar permeabilitet och dränering i leriga jordar (Fischel, 2001). Horner (1988) undersökte effekten av CMA i jord i den högsta koncentration som kan förväntas, 5 000 ppm CMA-lösning. I detta fall visades att permeabiliteten, dvs. jordartens genomsläpplighet, ökade efter behandling med CMA. Ökning i permeabilitet var i synnerhet stor i kalkrika jordar.

Nedbrytning av CMA i jord undersöktes också av Horner (1988). Oavsett vilken koncentration som tillfördes (upp till 5 000 ppm) var nedbrytningen i det närmaste komplett efter 14 dagar i 20°C. Vid 2°C hade dock knappt någon nedbrytning av CMA skett inom en vecka. Enligt Ramakrishna och Viraraghavan (2005) är halveringstiden för CMA i jord mindre än två dagar vid 7°C.

En ytterligare effekt av CMA i jord tas upp i ett flertal studier och sammanfattas av Fischel (2001); mobilisering av metaller såsom järn och aluminium. Denna förmåga att lösa denna typ av metaller beskrivs av Horner (1988) som att vara större hos CMA än hos NaCl. Lösning av tungmetaller kan däremot minska då nedbrytning av CMA ger karbonat och bikarbonat – båda dessa höjer jordens pH vilket minskar tungmetallers löslighet (Ramakrishna och Viraraghavan, 2005).

Vegetation

Acetat har visat sig ha liten påverkan på vägnära vegetation enligt Thunqvist (2006). Växter som inte påverkades negativt inkluderade örtväxter (solros, bönor och sallad) samt vedartade växter (tallplantor). Tvärtom visade sig små koncentrationer ha en gödande effekt.

I laboratoriemiljö undersöktes vilken koncentration av CMA i jord som krävdes för att ge minskad tillväxt och slutligen död (Horner, 1988). Även här hade låga koncentrationer CMA (0,5–1 g/kg jord) ingen effekt, medan 4 g/kg jord dödade frön om de planterades i denna jord. De koncentrationer som verkligen kan förväntas i rotzonen i vägområdet är dock så låga att en tillväxtfrämjande effekt kan väntas. Effekt av CMA-spray på vägnära träd undersöktes också genom att två barrträdsplantor och en lövträdsplanta sprayades med CMA och sedan jämfördes de med obehandlade kontrollträd. Resultatet av detta försök var att samtliga plantor var lika livskraftiga. Sammanfattningsvis kan det sägas att CMA är harmlöst för vegetation utom i fall av extrema koncentrationer i rotzonen.

Övrigt

En fuktig vägbana slits normalt mer än en torr, men typ av stenmaterial i beläggningen är avgörande för hur stor effekten blir (Gustafsson et al., 2006). Dammbindning med CMA kan alltså accelerera bildning av partiklar vilket är själva bakgrunden till att medlet används.

CMA framställs av dolomitkalksten. Under dammbindningsförsök i Stockholm väcktes frågan om dolomit innehåller tungmetaller som kan spridas till närmiljön. CMA var det enda av dammbindningsmedlen som ingick i en undersökning som innehöll detekterbara mängder av arsenik och kadmium (Sjöstedt och Derneryd, 2007). Vid normal

spridning av CMA hamnar ca $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$ av vardera ämnena på vägbanan vilket inte bedömts vara oroväckande hög nivå enligt författarna.

4.3.4 Hälsa

Fischel (2001) sammanfattar studier som undersökt potentiella hälsoeffekter av CMA med att riskerna är små. Det enda test som utförts på människa var potentiell hudirritation, men CMA befanns endast ge minimal irritation. Försök på råttor och kaniner visade att CMA är något toxiskt vid intag, likaså kan ögon, näsa och hals irriteras. Kalcium och magnesium utgör en stor del av CMA men då dessa ämnen är essentiella för människor utgör de inga hot mot hälsa.

4.4 Ekonomi

CMA är enligt Ontario Ministry of Transportation (1990) 25 gånger så dyrt som NaCl vid produktion på pilotskala. I en svenska undersökning uppger Ihs et al., (1996) att CMA är ca 20 ggr så dyrt som NaCl

Sjöstedt och Derneryd (2007) har uppskattat kostnader för CMA-spridning i Göteborgsområdet; för tvåfilig stadsgata är kostnaden 640 kr/km och för sexfilig motortrafikled 1 900 kr/km, vilket motsvarar 320 kr/km/körfält (25 % lösning, varunamn IceAway).

Den största nackdelen är priset; för att halkbekämpa samma sträcka är CMA upp till 30 gånger dyrare än NaCl. Per kg? Per effektmängd?

5 Magnesiumklorid ($MgCl_2$)

5.1 Allmänt $MgCl_2$

Magnesiumklorid ($MgCl_2$) kan användas både till halkbekämpning och som dammbindningsmedel. Spridning kan ske både i fast och flytande form, då som lösning med vatten (Fischel, 2001). Som dammbindningsmedel har det framför allt använts på grusvägar. Som med alla medel som används till dammbindning har $MgCl_2$ i lösning lågt ångtryck vilket fördröjer avdunstning och upptorkning (Karlsen och Ousland, 2005).

Liksom andra salter är $MgCl_2$ vattenlösligt. Saltet är också *delikvescent*, dvs. $MgCl_2$ i fast form har förmågan att absorbera vatten ur luft för att sedan gå i lösning. För $MgCl_2$ gäller att den relativa luftfuktigheten överstiger 32 % för att detta skall ske. Upptag av vatten från luft fortskrider tills det att jämvikt uppnåtts mellan saltlösningens ångtryck och luftens ångtryck. $MgCl_2$ i vattenlösning har betydligt lägre ångtryck än rent vatten; detta resulterar i reducerad avdunstningshastighet av upptaget vatten med upp till 3,1 gånger (Thenoux och Vera, 2003).

5.2 Försök med $MgCl_2$

5.2.1 Isborttagning

I jämförelse med $NaCl$ och $CaCl_2$ hamnar $MgCl_2$ ungefär mellan de två förstnämnda när det gäller issmältningsegenskaper där $NaCl$ har bäst smältning förmåga (Chang et al., 1994). Till skillnad mot vanligt salt ($NaCl$) som är effektivt ned till ca $-8^\circ C$, är $MgCl_2$ aktivt mot halka ned till ca $-25^\circ C$. I Norge används emellanåt $MgCl_2$ för halkbekämpning, då inblandat i vanligt vägsalt i proportionerna 70 % salt, 30 % $MgCl_2$ (Karlsen och Ousland, 2005).

5.2.2 Dammbindning

Som dammbindningsmedel på belagd väg är $MgCl_2$ relativt nytt. Försök har gjorts i bl.a. Norge (Karlsen och Ousland, 2005), där medlet nu används för dammbindning i väghållningen på några orter. Medlet beskrivs av samma källa som långtidsverkande och eftersom dess viskositet är hög binds medlet bra till ytan. Likaså binds partiklar bra till medlet. Särskilt dammbindning av grusvägar har visat sig vara effektivt med $MgCl_2$, bl.a. då det räcker med en spridning för sommarsäsongen då damningen är som värst. Effektiviteten kan tillskrivas upptaget av vatten från luft vid hög relativ luftfuktighet (exempelvis under nätter), men även saltets förmåga att kristallisera. Vid den senare processen cementeras finare partiklar och bildar en krusta som hindrar fordons uppvirvling (Thenoux och Vera, 2003). Goda resultat av användande på grusvägar har föranlett försök med dammbindning på asfalterade vägar.

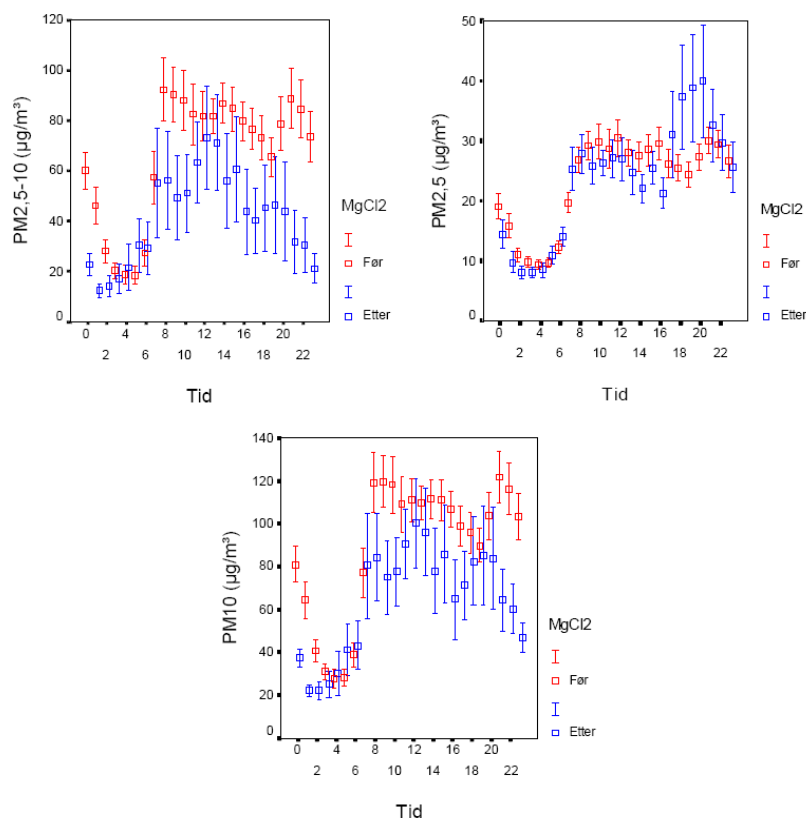
Särskilt i tunnlar har försök gjorts. Denna miljö representerar ett slutet utrymme där extrema koncentrationer kan nås. Försök har visat att $MgCl_2$ har en bra långtidsverkan på upp mot 9 dygn (Karlsen och Ousland, 2005). Vidare visades att långtidsverkan är proportionell mot koncentrationen. Försöken är inte vetenskapligt dokumenterade vilket är anledningen till att fler försök gjorts i Norge.

Vid 12 tillfällen under februari och mars 2005 spreds $MgCl_2$ i Oslo-området. Under denna period var det svårt att se någon klar trend i halt av PM_{10} vilket tros bero på växlande väder. Störst reduktion av partiklar var i fraktionen PM_{10} , medan $PM_{2,5}$ inte minskade lika mycket. Detta antas bero på att slitagepartiklar finns inom PM_{10} och

påverkas av dammbindningsmedel i första hand, medan avgaspartiklar är mindre. Vid jämförelse av två vägsträckor varav en behandlades med $MgCl_2$ överskreds normen 31 gånger där ingen spridning skett och 23 gånger där $MgCl_2$ spreds (februari–mars). Under tidigare år då inte $MgCl_2$ spreds alls var antal överskridanden likartade. Sammanfattningsvis menar Karlsen och Ousland (2005) att endast spridning av $MgCl_2$ inte leder till att gränsvärden uppnås, men att spridningen ger ett viktigt bidrag i den strävan. Dagen efter spridning hade halten PM_{10} i genomsnitt sjunkit med 17 % vilket ses som ett gott resultat.

En ytterligare undersökning av $MgCl_2$ som dammbindningsmedel har gjorts i Trondheim (Berthelsen, 2003). Både effekt på halt PM_{10} och $PM_{2,5}$ undersöktes vid 17 tillfällen under februari–april 2003. Försök påbörjades med dammbindning med $MgCl_2$ -lösning i kombination med städning på E6 genom staden 2001. Sedan 2003 används följande metod: vid varning om höga halter ($>50 \mu g m^{-1}$) av PM_{10} följande dag och torrt väder med torra vägbanor påbörjas en nattlig rengöring av vägen. Rengöringen påbörjas ca kl. 2:30, då man bedömer att så mycket vägdamm som möjligt sedimenterat på vägbanan. Rengöringsfordonen sopar och dammsuger. Efter rengöringsfordonen följer saltspridare som sprider 20 %-ig $MgCl_2$ -lösning till en ytkoncentration av ca $15 g m^{-2}$ vägbana. Vid längre torra perioder utförs åtgärden måndag, onsdag och fredag. Varaktigheten för åtgärden är 1–2 dygn, beroende på vind, luftfuktighet och temperatur. Under första säsongen uppmättes en genomsnittlig reduktion för dygnsmedelvärdet av PM_{10} på 11–17 % beroende på vilken mätstation som avsågs. Mer avancerade statistiska beräkningar visade på en reduktion på 14–17 % för dygnsmedel av PM_{10} . Ökad saltkoncentration (från 15 till 20 %) har dock gett bättre resultat även för fina partiklar ($PM_{2,5}$).

Appendix 1 Sid 15 (37)



Figur 1 Effekter av dammbindning med $MgCl_2$ på genomsnittliga timkoncentrationerna över dygnet av $PM_{2,5-10}$, $PM_{2,5}$ och PM_{10} . Röda punkter visar genomsnittliga koncentrationer utan dammbindning, blå efter dammbindning (Berthelsen, 2003a).

I Oslo har sedan 2001 försök gjorts med $MgCl_2$. En forskningsrapport (Högnadóttir Steinbakk och Aldrin, 2003) där generaliserade additiva modeller använts med ett antal utjämnade, ickeparametriska funktioner (timmar efter saltning, trafik, vindriktning, vindstyrka, temperatur, temperaturförändring, relativ fuktighet, flera nederbördsparametrar) visade att försöken mellan 2001 och 2003 inte kunde påvisas ha någon tydlig effekt på partikelhalten. Ibland var effekterna positiva och ibland negativa och i regel relativt små, ca 30 %. Man har trots detta fortsatt med försöken och under senaste vintern (2005–2006) använde både Oslo kommun och Vegdirektoratet $MgCl_2$ i Osloområdet för dammbindning. Enligt månadsrapport från Oslo kommun i maj 2006 kan nu positiva effekter ses på partikelhalterna vid de mätstationer där saltning genomförts.

Då halterna av PM_{10} och $PM_{2,5}$ i en vägtunnel, som dammbundits med $MgCl_2$ följdes upp på samma sätt (additiva modeller), visade sig en tydlig effekt som varade i mellan 3–16 dagar. Fraktionen $PM_{10-2,5}$ uppskattades minska med 70 %, PM_{10} med 56 % och $PM_{2,5}$ med 17 % (knappt signifikant) (Aldrin et al., 2007).

Även i Sverige har försök med $MgCl_2$ gjorts (Norman och Johansson, 2007). Syftet med försöken var att metodmässigt efterlikna försök som gjordes 2006, då med CMA. Förhoppningen var således att urskilja skillnader i effektivitet mellan de två medlen. Försöken gjordes längs olika sträckor av Essingeleden, dvs. motorvägslignande miljöer. För jämförelse användes stationer i innerstaden (referensstationer) där effekt av dammbindning inte kunde förväntas. Beroende på vilken referensstation som användes gav spridning av $MgCl_2$ ett sänkt dygnsmedelvärde i intervallet 15–33 %. Dammbindningskampanjerna medförde också att miljö kvalitetsnormen för dygnsmedelvärde PM_{10}

överskreds färre gånger. Däremot förmådde inte dammbindningsmedlet att sänka halten PM_{10} under miljö kvalitetsnormen under de dygn då partikelsituationen var som absolut högst. Norman och Johansson (2007) sammanfattar med att spridning av $MgCl_2$ under 2007 hade en större effekt på uppmätt halt PM_{10} än vad som kunde detekteras under 2006 då CMA användes istället.

5.3 Sekundära effekter

5.3.1 Friktion

Legget (1999) undersökte hur friktion förändras med varierande relativ luftfuktighet. Försöken gjordes i laboratoriemiljö (klimatkammare) där halkbekämpningsmedlet, tillika dammbindningsmedlet, spreds på en blästrad glasskiva. Resultat av friktionsmätningar speglar därmed inte nödvändigtvis verkliga förhållanden på asfalt. Undersökta medel var $MgCl_2$, men även $NaCl$, $CaCl_2$ och CMA. Resultat av de två sistnämnda står att finna i deras respektive kapitel.

Ett intressant resultat var att $MgCl_2$ gav upphov till en kraftig sänkning av friktionen (31 %) när blandningen övergick från fast till flytande form (s.k. *slurry*) pga. av hög luftfuktighet. När $MgCl_2$ istället spreds som en lösning var medlets prestanda ungefär emellan de övriga testade medlens när det gällde friktion. När $MgCl_2$ -lösningen torkade bildades dock kristaller som sänkte friktionen till bland det sämsta uppmätta värdet av alla medel.

5.3.2 Korrosion

I avsnitten nedan om korrosion av betong och stål ligger fokus på $MgCl_2$, men en del av resonemangen kan överföras till att gälla även andra kloridsalter som används i vägmiljö, dvs. $NaCl$ och $CaCl_2$.

Betong

I litteraturen förekommer begreppet *scaling* i betongsammanhang. Begreppet innebär att betong lokalt skalas av som ett resultat av frys- och töcykler (Snow, 2007). *Scaling* kan uppstå även utan salt vid dessa cykler, men om salt ($NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$) är närvarande kan frekvensen öka vilket leder till ökad vittring och korrosion. Mussato et al. (2004) sammanfattar processerna som bidrar till att betong bryts ner. Cement (dvs. betong utan sten) består i huvudsak av två komponenter; *kalciumpulver* och *kalciumpulver*. Den förra föreningen står för den sammanbindande förmågan medan den senare buffrar pH i den vattenlösning som finns i cementens porer. Resultatet av höga pH (12,6) motverkar korrosion av armeringsjärn då en skyddande oxidfilm bildas. Vinterförhållanden tillsammans med salt leder till att betong bryts ned genom flera sätt (Mussato et al., 2004):

- Nedbrytning av ytskiktet genom *scaling*
- Kemiska reaktioner mellan tillsatt salt och cement
- Diffusion av kloridjoner in i betongen vilket leder till korrosion av armeringsjärn.

I en sammanställning av Mussato et al. (2004) om olika salters kemiska förmåga att korrodera betong framkom att ett flertal forskare kommit fram till att $MgCl_2$ är det salt som är mest aggressivt i relation till $NaCl$ och $CaCl_2$. Orsaken till detta är att magnesi-

umjonen (Mg^{2+}) reagerar med kalciumsilikathydrat och bildar då magnesiumsilikat-hydrat utan bindande förmåga. Tillkommer gör att $MgCl_2$ reagerar med kalciumhydroxid och bildar magnesiumhydroxid. Den sammanlagda effekten av detta blir att magnesiumsilikathydrat försvagar betongen, samtidigt som magnesiumhydroxid under bildning expanderar och utgör därmed ett tryck på den försvagade cementmassan.

Notera att det inte är kloridjonen som är harmful då betong utsätts för salt utan andra ingående joner i respektive salt. Kloridjonen är dock betydelsefull när det handlar om korrosion av armeringsjärn i betong. I detta sammanhang är diffusionshastighet, som uppkommer genom koncentrationskillnader, genom betong viktig. Denna hastighet är störst för $MgCl_2$, följt av $CaCl_2$ respektive $NaCl$ (Mussato et al., 2004). Samma källa sammanfattar genomgången litteratur med att det inte finns påtagliga bevis för att brokonstruktioner påverkas mer av $MgCl_2$ än av $NaCl$. Orsaker till detta inkluderar att $MgCl_2$ inte använts under någon längre period, mindre än 15 år då genomgången gjordes. Dock antar Mussato et al. (2004) med utgångspunkt från de resultat som redovisades ovan att $MgCl_2$ reducerar livslängd på betong.

Stål

Stål i vägmiljö som kan förväntas bli utsatt för kloridsalter inkluderar bilplåt, vägräcken etc. samt armeringsjärn i betongkonstruktioner. Det senare skyddas av högt pH som sänks av klorid. Denna kloridinitierade korrosion är ett stort hot mot konstruktioner eftersom den attackerar lokalt, s.k. *pitting corrosion* (Mussato et al., 2004). $MgCl_2$ brukar också tillsättas korrosionsminskande medel. Bevis finns för att tillsats reducerar korrosion på metall som är exponerad i luft medan effekten på metall i betong (dvs. armeringsjärn) är mindre känd.

I ett test av $NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$ och CMA fann man att $MgCl_2$ har en måttlig påverkan på korrosion av stål (Fischel, 2001) i jämförelse med de övriga. En undersökning som Fischel (2001) refererar till gör gällande att $MgCl_2$ har högre korrosiv verkan på rostfritt stål och aluminium än $NaCl$, men att resultaten av den studien var något oklara.

5.3.3 Miljö

Negativa miljöeffekter av $MgCl_2$ beskrivs av Karlsen och Ousland (2005). Ett praktiskt problem är att medlet binder partiklar till en seg massa, i motsats till det torra stoftet partiklar vanligtvis är. Upptag av massan är därför svårare. Exempelvis kan slangar i renhållningsfordon sättas igen.

Liksom fallet med alla dammbindningsmedel hålls asfaltsytor fuktiga under längre perioder då de används. Berthelsen (2003) påpekar att beläggningsslitaget ökar med 3–5 gånger vid fuktig yta vilket är vad som sker när $MgCl_2$ sprids. Användning av medlet med syftet att minska halt PM_{10} kan alltså paradoxalt nog leda till ökad bildning av partiklar.

$MgCl_2$ innehåller liksom $CaCl_2$ och $NaCl$ den skadliga kloridjonen. På ett flertal sätt kan därför medlen likställas när det gäller miljöeffekter på jord, vatten och vegetation. Dessa områden behandlas nedan och gäller således även för $CaCl_2$ i nästa kapitel. Fischel (2001) väljer i en litteratursammanställning att beskriva alla kloridinnehållande halkbekämpningsmedel ($NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$) att ha liknande negativa effekter på vegetation, vatten och korrosion beroende på egenskaper hos kloridjonen.

Jord

Försaltning genom att lösliga salter anrikas i marken är idag en av de fem identifierade markförstörelseprocesser som det ramdirektiv för markskydd som Europeiska Gemenskapernas Kommission 2006 föreslagit. Markdirektivet ska komplettera ramdirektiven för de andra två miljömedierna (luft och vatten).

Infiltration av kloridjoner genom en jordart beror på dess permeabilitet och infiltrationsförmåga. Storleken på ytavrinningen är också avhängig om den lokalspecifika jordarten är kompakt eller inte. Hur långt klorid kan transporteras från vägområdet beror på ytterligare faktorer såsom vegetation, nederbörds mängd och topografi för att nämna några faktorer. De högsta koncentrationerna av kloridjoner återfinns vanligtvis upp till 2–3 m från vägkanten (Fischel, 2001) och kan återgå till bakgrundskoncentration ca 10 m från vägen. Fischel (2001) beskriver i en litteratursammanställning att påverkan oftast inte når mer än till 1 m djup i jorden. Mäter man däremot depositionen av klorid, alltså innan den blandats med befintliga salter i jorden, finner man att den luftburna spridningen av klorid från vägar ofta når hundratals meter från vägen på läsidan (Blomqvist, 2001).

Väl i jorden påverkar klorid stabilitet, struktur, permeabilitet och risk för erosion. Växternas upptag av både vatten och näringsämnen påverkas också negativt, liksom mobiliteten av metaller (Fischel, 2001). Däremot har både magnesium och kalciumjonerna (som ingår i $MgCl_2$ och $CaCl_2$) övervägande positiva effekter i jord, bl.a. genom konglomeration vilket ökar jordens permeabilitet.

Vatten

Klorid från vägar kan nå yt- och grundvatten genom deposition från luft eller från avrinning från vägen. I vilken utsträckning klorid når grundvatten beror givetvis på både ovanliggande jordarts egenskaper, men också på grundvattnets djup osv. (Fischel, 2001). I de fall avsevärda mängder klorid når sjöar kan skiktning uppstå där det saltare och tyngre vattnet inte blandas med det lättare ytvattnet. Syre- och näringsbrist kan därför uppstå.

Magnesium och kalcium har både positiva och negativa effekter i vatten. De båda ämnena gör vattnet hårdare vilket å ena sidan minskar vattnets aggressivitet gentemot vattenledningar och därför ger lägre halter av koppar, järn och zink i dricksvatten. Å andra sidan leder ett hårdare vatten till kalcium- och magnesiumutfällningar i kokkärl och uppvärmningssystem, så kallad pannsten samt sämre tvätteffekt hos tvättmedel (Knutsson och Morfeldt, 1993).

Vegetation

Att salt har skadliga effekter på vegetation är känt sedan urminnes tider. I Gamla Testamentet beskrivs till exempel hur salt under biblisk tid spreds på fiendens åkrar i syfte att förstöra växtbetingelserna där (Brod, 1993). I kustnära områden beskrevs saltsprayens påverkan på vegetation i början av 1800-talet (Simini och Leone, 1986) och i Sverige kom de första rapporterna om vägsalts påverkan på den omgivande naturmiljön i början av 1970-talet (Knutsson, 1974). Rapporter gör gällande att vegetation på ett avstånd upp till 200 m från väg kan påverkas negativt (Fischel, 2001). Generellt sett är barrträd mer känsliga för klorid än lövträd.

Man vet från en mångfald av undersökningar, både fältinventeringar och laboratoriestudier, att vegetation kan skadas av vägsalt såväl när det kommer i kontakt med rötterna som när det avlagras på vegetationens ovanjordiska delar. Det råder dock ingen konsensus om huruvida det är i kontakt med rötterna eller de ovanjordiska delarna som de största skadorna sker (Blomqvist, 1998). I båda fallen är det ett antal processer som kan leda fram till skada hos vegetationen.

Den vägnära vegetationens exponering för vintervägsalt medför ett antal negativa effekter, till exempel att:

- Tillväxten hos de vägnära träden kan hämmas
- Landskapsbilden blir påverkad av de visuella symptomen på framför allt barrträd. Skadade träd i korridorer längs vägarna kan uppfattas negativt och kan kanske leda till oro för andra konsekvenser
- Artsammansättningen utefter vägrenarna kan förändras vilket strider mot målet med artrika vägkanter
- Vegetation i trädgårdar nära saltade vägar kan skadas, med tomtägarnas oro som följd
- Vegetation i tätbebyggda områden, gatuträd, parker kan skadas med estetiska och ekonomiska konsekvenser som följd.

Symptomen på barrträd framkommer vanligen i samband med vårens töperiod i slutet av februari eller mars. De vanligaste symptomen är att barrspetsarna först blir gula och därefter bronsfärgade och slutligen bruna och döda. Nekrosen fortskrider från toppen mot basen på barren och slutligen faller de av. Litteraturen avslöjar att gran är den saltkänsligaste arten medan resultaten från de inventeringar som tidigare gjorts över saltskadad vegetation i Sverige har visat att det är tall som är mest skadade. Avgörande för bedömningen är hur man vill definiera begreppet ”skada”. Medan gran visserligen lättare blir skadad så har den ändå en förmåga att släppa de skadade barren och skjuta nya skott som under sommaren skyler saltskadorna. Tallen, däremot, har ett annat barrfäste och de skadade barren sitter därför kvar på kvistarna under sommaren och de nya tallskotten skyler inte heller skadorna på samma sätt som hos gran. Detta kan ge estetiska skillnader i skadorna, men säger ingenting om den effekt skadestressen leder till för respektive art i mått av till exempel hämmad tillväxt eller minskad motståndskraft för andra patogener som skadeinsekter och skadesvampar.

Att fastställa orsaken till skador på träd kan vara svårt, man måste vara medveten om att det kan ha funnits andra faktorer som verkat allmänt försvagande, utlösande eller bidragande (Aronsson m.fl., 1995).

Vägdamm kan i sig skada vägnära vegetation framförallt genom att det deponeras på barren under vinter och vår. Det kan då verka uttorkande och uppvärmande på barren. Dessutom kan damm och salt samverka på olika sätt, till exempel kan dammiga blad leda till djupare penetration av salt och salt kan verka som ”klister” för andra vindburna partiklar (Franzén, 1990).

Kalcium- och magnesiumjoner är båda inblandade i processen när bladens klyvöppningar öppnas och stängs (Dobson, 1991). Vilken effekt på den vägnära vegetationen, om alls, en ökad spridning av Ca- och Mg-joner, som ingår i CMA, CaCl₂ och MgCl₂, kan leda till är oklart. Klart är däremot att kloridjoner interagerar med kalcium och magnesium i växtcellerna och att detta kan leda till att andningen genom klyvöppningarna försvåras har föreslagits som en förklaringsfaktor för uppkomna saltskador

(Dobson, 1991). Här måste samtidigt nämnas att kalcium och magnesium i jorden är att räkna som näringsämnen. Dessa kan trängas ut av framför allt natriumjoner som ingår i halkbekämpningsmedlet NaCl. Huruvida de möjliga positiva effekterna av extra tillförsel av Ca och Mg uppvägs av de negativa effekterna av den extra tillförseln av Cl som dammbindning med CaCl₂ och MgCl₂ skulle medföra låter sig inte så lätt avgöras. Ett flertal författare rapporterar dock om positiva effekter av Ca-tillsättning till vegetation som också utsatts för NaCl-exponering (Blomqvist, 1998) även om också negativa effekter påtalats.

Bäckman och Folkesson (1997) undersökte saltkoncentrationen i gran- och tallbarr vid E20 och riksväg 48 i södra Sverige. Båda vägarna var vintersaltade. Längs vägarna kunde skador på barrträd observeras i form av röd-bruna barr. Detta är enligt författarna ett tecken på att barren har torkat ut pga. förhöjd salthalt. Den saltkoncentration i barr som anses vara bakgrundshalt observerades först 38–98 m från undersökta vägsträckor. De sidor av träden som var vända mot vägen hade genomgående högre koncentration av salt. Särskilt höga halter observerades 10–30 m från väg.

5.4 Ekonomi

MgCl₂ kostar ca 1 100 kr per ton (Göran Gabrielsson, VV. Mejlkontakt).

6 Kalciumklorid (CaCl_2)

6.1 Allmänt CaCl_2

Kalciumklorid (CaCl_2) för kommersiellt bruk brukar spridas som lösning. Spridning av CaCl_2 används i bl.a. Finland för halkbekämpning, men också i samband med sandupptagning för att minimera damning (Viinanen, 2007).

6.2 Försök med CaCl_2

6.2.1 Isborttagning

I försök har det visats att när CaCl_2 appliceras på is är penetrationsdjupet och smälthastigheten dubbel så stor som det näst snabbaste halkbekämpningsmedlet NaCl (Chang et al., 1994). CaCl_2 fungerade bra i temperaturer $< -10^\circ\text{C}$ medan effektiviteten hos NaCl avtog drastiskt. Detta gäller både issmältning och lossgörning av is från underlaget. Även Goetzfried och Badelt (2002) beskriver att det inte finns någon fördel med att använda CaCl_2 istället för NaCl i temperaturer som överstiger -15°C . I den region som författarna åsyftar (Tyskland) finns därför liten anledning att lagerhålla det dyrare CaCl_2 för halkbekämpning.

6.2.2 Dammbindning

Användandet av CaCl_2 som dammbindningsmedel förekommer bara sporadiskt i litteraturen. Det är företrädesvis i Finland som saltet används till detta syfte. Viinanen (2007) beskriver att medlet använts till att dammbinda grusvägar sedan lång tid, men att det först 1998 testades på asfaltväg i Finland, då med 5 % flytande saltlösning. Resultaten var lovande då vägytan förblev fuktig i flera dagar efter spridning. En annan fördel som uppmärksammades vara att sand kunde tas upp i temperaturer även under -5°C .

I Helsingfors har CaCl_2 använts regelbundet i stor utsträckning varje vår sedan 2003. I en undersökning som gjordes 2004 (Viinanen, 2007) framkom att effekten av spridningen kan verka dammbindande i upp till två veckor om det inte regnar. Effektiviteten för dammbindningen var direkt proportionell mot den relativa luftfuktigheten: under mornarna efter spridning var luftfuktigheten hög vilket befuktade saltet. Senare under dagarna minskade luftfuktigheten och upptorkning skedde vilket minskade medlets dammbindande förmåga. Trots detta kunde en viss effekt av dammbindningsmedlet detekteras (Viinanen, 2007). Till ämnets nackdel kan det alltså nämnas att den dammbindande förmågan är luftfuktighetsberoende (gäller dock alla dammbindningsmedel), det kan inte användas till dammbindande ändamål vid temperaturer $< -5^\circ\text{C}$, samt att hög lösningskoncentration kan orsaka halka efter spridning (Viinanen, 2007).

I en sammanställning av Lindh (1981) refereras till en undersökning av dammbindning av grusvägar. Vid de betingelser som då rådde krävdes 18 % mer MgCl_2 än CaCl_2 för att uppnå samma effekt. Detta skulle alltså innebära att CaCl_2 är mer effektivt än MgCl_2 som dammbindningsmedel. Lindh (1981) påpekar också att CaCl_2 är det dominerande dammbindningsmedlet på Sveriges grusvägar, åtminstone vid tidpunkten i fråga. Om valet står mellan CaCl_2 och MgCl_2 anser Lindh (1981) att pris och tillgång bör avgöra valet.

6.3 Sekundära effekter

De sekundära effekterna av CaCl_2 och MgCl_2 anses av Lindh (1981) vara likvärdiga, bortsett från den större aggressiviteten på betong hos MgCl_2 . Nedan görs dock en genomgång av de sekundära effekter som påträffats i litteraturen.

6.3.1 Friktion

CaCl_2 undersöktes av Leggett (1999) med avseende på friktion som ett av 12 olika medel för halkbekämpning. Medlets friktionsegenskaper var genomsnittligt placerat i en jämförelse med de andra medlen. I fasen då både lösning och utfällning fanns på testytan ("slurry"; en övergångsfas mellan de två formerna som beror på förändring i relativ luftfuktighet) sjönk dock friktionen drastiskt till det lägsta värdet för alla testade medel. Den genomsnittliga friktionen för testcykeln med varierande lufttemperatur och -fuktighet var den lägsta av alla testade medel.

Viinanen (2007) beskriver också friktionsförsök på ytor besprutade med CaCl_2 -lösning. En svag lösning gav upphov till ungefär samma friktionsnedsättning som rent vatten. Under 2006 användes en starkare lösning på en vägsträckning vilket tros vara anledningen till att det uppkom en rad plåtskador och omkullkörningar av motorcyklar. En lämplig koncentration för att undvika sådana effekter har därför fastställts till 5–10 % CaCl_2 , och rutin har inarbetats för att undvika spridning av starkare koncentrationer.

6.3.2 Korrosion

I avsnitt 5.3.2 redovisas effekter och processer gemensamma för alla kloridsalter när det gäller korrosionsbenägenhet. Nedan ges dock information om de effekter som speciellt upptäckts i samband med användandet av CaCl_2 .

Betong

Mussato et al. (2004) beskriver att CaCl_2 faller mellan NaCl (minst aggressivt) och MgCl_2 (mest aggressivt) när det gäller nedbrytning av betong. Betongprover som utsatts för CaCl_2 bryts ned på liknande sätt som då MgCl_2 används, dock med lägre hastighet och med mindre stränghet. Alzubaidi (1999) tar upp ett exempel om korrosion av betong där CaCl_2 är mer aggressivt än MgCl_2 .

Stål

Enligt Alzubaidi (1999) accelererar CaCl_2 korrosionsprocessen, dels genom att fukt hålls kvar, dels genom att ledningsförmågan ökar på plåt genom joninnehållet. Dessutom ökar syretillförseln till järn vilket påskyndar rostbildning. Detta är för övrigt effekter som är gemensamma för alla salter. Däremot är processerna olika snabba beroende på salt. Även Fischel (2001) beskriver att CaCl_2 ger upphov till väsentlig korrosion i klass med NaCl , då gällande stål.

Tillsats kan göras till alla kloridsalter för att minska den korrosiva påverkan. Suga och Suzuki (2002) undersökte effekten av att tillsätta aminosyror till denna typ av salter, inklusive CaCl_2 . I laboratoriemiljö uppnåddes en korrosionshämmande effekt på upp till 80 %, medan effekten uppgick till 40 % i fältförsök.

6.3.3 Miljö

Sanda (1976) undersökte effekten av CaCl_2 som dammbindningsmedel på en grusväg i Norge. I allmänhet sågs ett klart samband mellan halt CaCl_2 i vägnära mark och utsträckning av skadade löv på angränsande träd. Det slås fast att det endast var kloridjonen som tagits upp i någon större utsträckning, medan det inte var någon större skillnad i kalciumkoncentration i skadade och oskadade träd. Sanda (1976) avslutar med att absorptionen mestadels sker genom rötterna. Alzubaidi (1999) skriver i en litteratur-sammanställning att vegetationsskador pga. spridning av CaCl_2 uppmärksammades redan på 1930- och 1940-talen i Sverige.

Granato (1996) menar att CaCl_2 , men även NaCl , utgör en icke försumbar källa till föroreningar i avrinningsvatten från vägar. Där CaCl_2 används är särskilt sulfat, bromid, kisel, fluorid, strontium och magnesium omnämnda som föroreningar.

6.4 Ekonomi

Viinanen (2007):

Åtgång av lösning 28 m³/20 km

CaCl_2 -lösning utspädd med vatten 12 €/m³

Kostnader för saltlösning = 14 000 €

CaCl_2 kostar ca 1 700–1 750 kr per ton (Göran Gabrielsson, VV. Mejlkontakt).

7 Sockerlösning

7.1 Allmänt sockerlösning

Relativt lite information finns tillgänglig om socker både som dammbindningsmedel och som halkbekämpningsmedel. Nyligen har dock ett antal försök gjorts i Sverige, då i kombination med NaCl. Socker kan inte i sig självt smälta snö och is men kan sänka fryspunkten på vatten. En lösning innehållande endast ren sockerlösning (70 %) har en fryspunkt på ca -23°C (Möller, 2007).

Tillförlitlig leverans av sockerlösning beskrivs av Sjöstedt och Derneryd (2007) vara ett problem. Författarna refererar då till sockerlösning som använts av Trafikkontoret i Göteborg för dammbindning och som framställts enkom för det syftet.

7.2 Försök med sockerlösning

7.2.1 Isborttagning och halkbekämpning

Försök med socker har gjorts med avseende på förebyggande halkbekämpning (Gustafsson och Gabrielsson, 2006). I detta fall har socker inblandats i salt med syftet att reducera mängden salt, och åtgärdstillfällena, vid halkbekämpning. Provet gjordes med både flytande blandning och torr blandning.

Resultaten visade att blandning av socker- och saltlösning (75 % salt, 25 % socker) visade sig ha samma egenskaper som 23 % saltlösning. I detta fall avses endast effekt på friktion. En torr blandning av salt och råsocker provades också (50 % av vardera ämne). Även här visade resultaten av friktionsmätningar att blandningen gav likvärdigt resultat som vanligt vägsalt. Gustafsson och Gabrielsson (2006) sammanfattar därför med att det är fullt möjligt att ersätta 50 % av saltet med råsocker. Salthalten i blandningen var tillräckligt hög för att åstadkomma den efterstävade smälteeffekten på snö och is.

7.2.2 Dammbindning

De enda undersökningarna i Sverige av sockerlösningens dammbindande effekt har genomförts i Göteborg. Vid tidpunkten för försöken hade sockerlösning tidigare inte utvärderats som dammbindningsmedel i Sverige (Sjöstedt, 2006), dock som halkbekämpningsmedel. Försöken utfördes i Lundbytunneln där inverkan av meteorologi minimerades. Undersökningen gjordes under sommarhalvåret vilket innebär att effekter av ökat beläggningsslitage av dubbdäck inte inkluderats i resultaten och att de meteorologiska betingelserna inte motsvarar de som normalt råder då behov av dammbindning finns (tidig vår).

Sockerlösning spreds i ett av tunnelrören vid fyra tillfällen. För att undersöka effekten på uppmätt halt PM_{10} jämfördes obehandlade dygn med första, andra och tredje dygnet efter spridning av sockerlösning. Under första dygnet efter spridning minskade halten PM_{10} med 28 %, andra dygnet 21 % och 6 % efter tredje dygnet. Således var effekten störst de två första dygna efter spridning. Sjöstedt (2006) påpekar att resultaten från försöken med sockerlösning är likartade en annan undersökning i Lundbytunneln då CMA användes.

7.3 Sekundära effekter

7.3.1 Friktion

Vid försöket med sockerlösning i Lundbytunneln uppstod låg friktion. Direkt efter spridningen sjönk friktionstalet (vedertagen benämning μ) från 0,7 till 0,35–0,41. Efter en halvtimme hade värdet stigit till ca 0,5. Vid det första spridningstillfället var sänkningen så stor att spridningen avbröts. De efterföljande spridningarna gjordes därför med halverad koncentration socker. Istället upprepades spridningen en gång vilket höll friktionen på acceptabel nivå (0,46–0,6) (Sjöstedt och Derneryd, 2007).

7.3.2 Korrosion

Ingen information har stått att finna om korrosionseffekter av sockerlösning. Troligen är de små, men det skall kommas ihåg att även rent vatten har en viss korrosiv verkan.

7.3.3 Miljö

Även vad gäller miljöeffekter av sockerlösning är uppgifterna knapphändiga. En miljöpåverkan i vattenmiljö tas upp av Sjöstedt och Derneryd (2007). Syreåtgången i mark och vatten vid nedbrytning av fruktos och glykos kan vara ett potentiellt miljöproblem. Mätningar av organiskt material (DOC) i vattendrag i testområdet i Gustafsson och Gabrielsson (2006) visar att dessa var högre på den sträcka där sockersaltlösningen användes och att den ökade mot slutet av mätperioden. Detta, menar författarna, kan vara ett tecken på fördröjning av utläckage av sockret och dess nedbrytningsprodukter. Man flaggar även för att eventuella extremvärden kan ha missats, då provtagning endast gjorts en gång i veckan i ytvattendragen i undersökningen.

Dammbindningsmedel som sprids kan potentiellt föras med dagvatten till reningsverk eller vattensamlingar, där organiska dammbindningsmedel kan skapa syrebrist vid nedbrytning. Socker är i jämförelse med CMA (båda organiska) extremt lättnedbrytbart. Socker kan därför ge upphov till en intensivare påverkan, i form av syreförbrukning, än CMA som bryts ned långsammare. Vid nedbrytning av glykos/fruktos förbrukas syre

I försök där älgars och kors preferenser för salt- eller sockersaltstenar och sprayade plantor motsvarande blandningarna som används i fält, visar det sig preliminärt att såväl älgar som kor föredrar sockersaltblandningen före rent salt. Detta kan innebära att djuren i ökande grad lockas till vägområdet. Ytterligare försök pågår på djurparker för att säkerställa resultaten (Gustafsson och Gabrielsson, 2006).

Vid dammbindningsförsöken i Göteborg har påtalats att sockerspridningen medför en skarp mögelostliknande lukt (Sjöstedt och Derneryd, 2007).

7.4 Ekonomi

Uppdaterade kostnadsangivelser är besvärliga att finna i litteraturen, mest beroende på varierande ålder på dokumenten. Gällande sockerlösning har dock Sjöstedt och Derneryd (2007) kommit fram till att spridning på tvåfilig stadsgata kostar 480 kr/km, och av sexfilig motortrafikled 1 440 kr/km. Detta motsvarar 240 kr/körfält/km och bygger på en åtgång av 0,08 m³/körfält (20 g/m²).

Göran Gabrielsson på Vägverket menar i e-post till författarna daterat 2007-12-14 att det är besvärligt att få tag på industrisocker till rimliga priser pga. nya EU-regler:

Appendix 1
Sid 26 (37)

”Vi har under hösten försökt att anskaffa industrisocker men fastnat i den byråkrati som finns inom EU vilket har inneburit att vi inte fått något införseltillstånd från Jordbruksverket. Slutprodukten vid användande (förädling) av industrisocker ska vara kodad enligt en EU förordning från 2006 och halkbekämpningsmedel finns dessvärre inte kodat. Beslut på koder för nya produkter tas en gång varje år och då i oktober. Det socker vi tidigare använt anskaffade vi 2005 och då utan problem.”

8 Kaliumformiat

8.1 Allmänt

Kaliumformiat (kemisk formel HCOOK) är ett salt av myrsyra (Finlands miljöcentral, 2007). Medlet används framförallt som halkbekämpningsmedel på start- och landningsbanor på flygplatser. Exempelvis används kaliumformiat på åtta flygplatser i Sverige (Luftfartsverket, 2005a) och är numera det helt dominerade halkbekämpningsmedlet för flygplatser inom Sverige. Innan kaliumformiat började användas storskaligt var urea ett vanligt halkbekämpningsmedel, men med stor övergödande effekt. Under senare tid har kaliumformiat även introducerats som ett alternativ till NaCl på vägar (Finlands miljöcentral, 2007). Av den begränsade litteraturen att döma förekommer de flesta försök i Finland, då med avseende på potentiella miljöeffekter.

8.2 Försök med kaliumformiat

8.2.1 Isborttagning

Kaliumformiat jämfördes med de andra halkbekämpningsmedlen som tidigare nämnts av Chang et al. (1994). Resultaten visade att formiat är jämförbart med NaCl med avseende på issmältning i samma temperaturer. Vid tidpunkten för publicering av denna undersökning hade dock inga större fältundersökningar genomförts.

Med hänvisning till halkbekämpning på start- och landningsbanor beskriver Alatyppö (2006) kaliumformiat som ett mycket effektivare medel än urea som traditionellt använts. Även i verklig vägmiljö har Finsk miljöcentral (2007) nått slutsatsen att kaliumformiat är ett lämpligt halkbekämpningsmedel.

I Danmark används kaliumformiat på sträckor där man vill undvika att sprida NaCl, bl.a. på Stora Bält-bron. Vanligtvis används en 30 %-ig lösning men vid mycket låga temperaturer används koncentrationen 50 % (Attrup, 2004). Samma källa anger att kaliumformiat har låg eutektisk temperatur, dvs. den temperatur då tömedlet fryser. Erfarenheterna från Danmark är goda, men vid enstaka tillfällen med ymnigt snöfall har medlet visat sig vara otillräckligt. Smältkapaciteten för NaCl (gram is/gram halkbekämpningsmedel) är väsentligt högre, i synnerhet i fast form. Överlag sjunker effektiviteten av kaliumformiat markant under -2 och -3°C . Mängd kaliumformiat (30 %-ig lösning) som krävs för att smälta 0,1 mm (motsvarande 100 g is per m^2) is uppgår till 50 g/m^2 .

Kaliumformiat saluförs under en rad olika varumärken som kan ha skillnader i sammansättning och grad av föroreningar. Beroende på vilket varumärke som avses varierar issmältningsegenskaper. För 50 % lösning av kaliumformiat är den teoretiska fryspunkten ca -50°C . För lösning som används i verkligheten, som den ovan (30 %), är dock fryspunkten ca -20°C (Meyer och Nygaard, 2001).

8.2.2 Dammbindning

Endast knapphändig information finns tillgänglig om effektiviteten av kaliumformiat i dammbindningssyfte, förmodligen beroende på den ringa utsträckningen. Enligt uppgift används dock kaliumformiat i Uleåborg (Pontus Holmström, Stainless Engineering). Kaliumformiat används till halkbekämpning under vinterhalvåret men som dammbindningsmedel har spridning avbrutits beroende på nedsatt friktion. Enligt samma källa sker spridning ungefär var tredje dag under vårsäsongen, ca 2–3 mil åt gången, då

damningsproblematiken är som störst. Försök har gjorts att få mer information om utfallen av försöken i Uleåborg (Marketta Karhu och Eino Rajakangas i Uleåborg har kontaktats via mail), men tyvärr utan framgång.

8.3 Sekundära effekter

8.3.1 Friktion

Pedersen och Ingerslev (2007) refererar till en undersökning där slutsatsen var att användandet av kaliumformiat inte ledde till försämrad friktion på vägbeläggning och inte heller till sämre trafiksäkerhet. Den ursprungliga källan till påståendet har inte kunnat fastställas.

8.3.2 Korrosion

Korrosion orsakad av kaliumformiat av metall och betong i vanlig mening är väsentligt mindre än för kloridbaserade salter (NaCl , MgCl_2 , CaCl_2). Däremot har andra nedbrytande effekter uppmärksammats som närmast kan betecknas som korrosion. Här avses blödning av asfalt och försämrad hållfasthet i bärlager på flygplatsbeläggningar (Alatypö, 2007). Problemet har härletts till att bindemedlet blivit mjukt vid användandet av kaliumformiat (även uppmärksammat med acetater) vilket lett till nedsmutsning av bl.a. flygplan och markeringar. För att undersöka processerna bakom dessa effekter har särskilt adhesionen mellan bindemedel och stenmaterial studerats (Alatypö, 2006). I undersökningen fann man att den låga ytspänningen hos kaliumformiat medverkar till att medlet lätt kan tränga in mellan bindemedel och stenmaterial, vilket minskar vidhäftningen. Hela skadeprocessen kunde inte fastställas, men författaren påpekar att det säkraste sättet att undvika skador är att inte använda kaliumformiat.

Även Edwards et al. (1999) har undersökt effekter av avisningsmedel på landningsbanor. Bland de undersökta medlen (kaliumformiat, natriumformiat, kaliumacetat, urea, CMA, NaCl) var de formiatbaserade de mest aggressiva mot bitumen i undersökta beläggningar. Även här framkom att ytspänningen hos en lösning är avgörande för påverkan. Vidare ökade påverkan med temperatur, lösningens koncentration och tid.

Information om effekt av kaliumformiat på metall är svår att finna. Attrup (2004) undersökte dock effekten på galvaniserad metall. Samma typ av metallprov utsattes för 22 %-ig NaCl , 25 %-ig CMA och 30 %-ig kaliumformiat under 30 månader. Korrosionsförsöken gjordes nära Stora Bält-bron för att efterlikna realistiska vägförhållanden. Redan efter 6 månader uppvisade provet som utsatts för kaliumformiat tecken på korrosion, medan kraftig rost uppkommit efter 30 månader. För alla tre medel är korrosionsangreppen av liknande omfattning, dvs. metallproven var hårt angripna. Orsaker till detta diskuteras av Attrup (2004): provmiljön var under perioden fuktig samtidigt som koncentration kan ha ökat genom anrikning av medlen då de inte bortförs. Viktigt vid konstruktion av exempelvis broar är därför att halkbekämpningsmedel kan dräneras bort. Sammanfattningsvis menar Attrup (2004) att NaCl är jämförelsevis mild mot förzinkad metall som är vanligt förekommande på bl.a. broar. Detta är huvudanledningen till att spridning av CMA och kaliumformiat avbrutits. En bidragande anledning är även dessa medels avsevärt högre pris.

Meyer och Nygaard (2001) undersökte korrosionshastighet på broräcke av galvaniserad plåt och fann att kaliumformiat gav upphov till viktminskning till följd av korrosion som var 3 gånger så stor som för NaCl .

8.3.3 Miljö

Kaliumformiat har i finska experiment 2002–2003 visat sig ge upphov till mindre skador på grundvatten än vanligt salt, NaCl. Intresset i Finland för just alternativa halkbekämpningsmedel beror på att mycket NaCl traditionellt används och att negativa effekter på företrädesvis grundvatten upptäckts. I ett grundvattenområde visades att kaliumformiat bröts ned snabbt genom mikrobiologiska processer i ytliga jordlager utan att nå grundvattnet. Efter omställning från NaCl till kaliumformiat som halkbekämpningsmedel minskade halt av Na^+ och Cl^- med upp till 40 % (Finlands miljöcentral, 2004).

I en finsk undersökning jämfördes sex olika halkbekämpningsmedel (NaCl, CaCl_2 , MgCl_2 , CMA, kalciumacetat och kaliumformiat) i en jordkolonn med 4 m höjd (Finlands miljöcentral, 2007). Med avseende på miljöeffekter i jord och grundvatten visade det sig att kaliumformiat var det bästa ur ett antal aspekter:

- Innehåller inte klorid som är skadligt för grundvatten
- Den mängd tungmetaller som gick i lösning var mindre för kaliumformiat än för kloridbaserade medel
- Syreförbrukningen under nedbrytningen var mindre än då acetatmedel undersöktes (exempelvis CMA).

Efter dessa positiva resultat fortsatte försök i verklig vägmiljö. Det visade sig då att kaliumformiat bryts ned snabbt i vägområdet, även i temperaturer så låga som -2°C . Dessa resultat understryks också av Salminen (2007) som i en fältundersökning kom fram till att jordar med mäktigheter upp till 0,8 m är tillräckligt för att bryta ned kaliumformiat i vägnära miljöer. Den snabba nedbrytningen medför också att kaliumformiat sällan når grundvattnet. I det fall kaliumformiat skulle nå grundvatten, och slutligen dricksvatten, har sensoriska försök visat att förnimmelse av smak och doft har betydligt högre tröskel för organiska halkbekämpningsmedel (kaliumformiat, CMA) än för NaCl (Finlands miljöcentral, 2007). Enligt Hellstén et al. (2005) kan kontaminering av grundvatten möjligen ske efter flera säsonger med användning av kaliumformiat.

Även andra försök som Finsk miljöcentral (2007) hänvisar till visar att kaliumformiat orsakade mindre frigöring av kadmium i markprov än vad NaCl gjorde.

Luftfartsverket (2005a) sammanfattar miljöeffekter av kaliumformiat på flygfält där medlet används. Ett problem som tas upp är syreförbrukningen under nedbrytning av kaliumformiat. Eftersom användandet periodvis är stort kan stora mängder kaliumformiat föras till närliggande vattendrag där syreförbrukningen blir kraftig.

8.4 Ekonomi

Kostnadsuppgifter har erhållits av Pontus Holmström på Stainless Engineering (december, 2007). Enligt dessa kostar Meltium (som är handelsnamnet) 7 €/liter 50%-ig lösning. Detta mostvarar 2007-12-21 67,20 kr/liter. Vid halkbekämpning på flygplatser späds 1 del av lösningen med 4 delar vatten till 10 %-ig lösning, vilken då kostar 13,44 kr/liter.

Enligt Finlands miljöcentral (2004) är kaliumformiat 15 gånger dyrare än vanligt vägsalt.

9 Jämförelse av olika dammbindningsmedel

9.1 Jämförelse av effekter

I Tabell 1 har centrala egenskaper som har betydelse för de olika medlens effekter sammanställts.

Tabell 1 Sammanställning av några centrala resultat från litteraturstudien.

Effekt	Medel	Huvudsakliga slutsatser
Halkbekämpning /isborttagning	CMA	Lika effektivt för issmältning som NaCl ned till -5°C; under -10°C endast marginell effekt. Effektivare i lösning än i fast form. CMA inte effektivt vid ymnigt snöfall. Bättre som halkbekämpningsmedel i preventivt syfte än för issmältning.
	MgCl ₂	Mindre effektivt än NaCl, men mer effektivt än CaCl ₂ . Effektivt mot halka ned till -25°C.
	CaCl ₂	Effektivt även under -10°C då effekten av NaCl drastiskt avtar. Över denna temperatur finns ingen anledning att inte använda NaCl istället.
	Sockerslösning	Används ofta i kombination med NaCl i flytande form. I fast form ges samma effekt av 50 % socker + 50 % salt som rent salt.
	Kaliumformiat	Mycket effektivt halkmedel i 30–50 % lösning. För 50 %-ig lösning är den teoretiska fryspunkten -50°C.
Dammbindning	CMA	Vanligast förekommande för syftet i Sverige, sprids vanligen i 20–40 g/m ² . Maximal sänkande effekt på halt PM ₁₀ 60–70 % i litteraturen, dagen efter spridning ca 35 %. Effekt starkt beroende på meteorologi.
	MgCl ₂	Används företrädesvis i Norge, där dygnsmedelkonc. Av PM ₁₀ sänktes med 11–17 %. Mätningar i Stockholm visade reduktion på 15–33 %; detta var större effekt i jämförelse med CMA.
	CaCl ₂	Används företrädesvis i Finland, förekommer endast sporadiskt i litteraturen. Visst stöd för att CaCl ₂ är effektivare än MgCl ₂ för dammbindning.
	Sockerslösning	Spridning i tunnel i Göteborg visade reduktion av PM ₁₀ på 26 %, 21 % respektive 6 % ett, två respektive tre dygn efter spridning. Likartad effekt som av CMA.
	Kaliumformiat	Uppgifter gör gällande att medlet används i Uleåborg, Finland för dammbindning. Inga resultat har påfunnits.

Forts. tabell 1.

Effekt	Medel	Huvudsakliga slutsatser
Friktion	CMA	Försök visar att friktion kan sänkas kraftigt, från 0,8 till 0,5. Friktionsnedsättning mer ihållande än för vatten. Effekt på friktion beror på meteorologi och upptorkningshastighet av vägyta.
	MgCl ₂	Särskilt stor nedsättning av friktion då MgCl ₂ övergår från fast till flytande form (sk. "slurry"). Spridd som lösning är effekten motsvarande de övriga dammbindningsmedlen. Upptorkning kan ge kristaller som sänker friktionen.
	CaCl ₂	I en studie av "slurry-fasen" beskriven ovan sjönk friktion till lägsta notering av alla undersökta dammbindningsmedel. Friktionsproblem i Finland har begränsat utspridd konc. till 10 g/m ² .
	Socketlösning	Försök i tunnel gav friktionsnedsättning från 0,7 till 0,35-0,41. Den kraftiga sänkningen gjorde att försök med ytterligare spridning av medlet avbröts.
	Kaliumformiat	Visst belägg för att friktionsnedsättningen är liten.
Korrosion	CMA	Väsentligt mindre korrosion på metall och plåt än NaCl; lägst påverkan av jämförda medel i undersökning. Mindre skillnad mellan CMA och NaCl avseende korrosiv förmåga på armeringsjärn.
	MgCl ₂	MgCl ₂ mest aggressivt på betong i relation till NaCl och CaCl ₂ . Däremot är effekten lindrig på metall i jämförelse med och CaCl ₂ .
	CaCl ₂	Mindre aggressivt på betong i jämförelse med MgCl ₂ , men mer aggressivt än NaCl. Likartad effekt på stål som NaCl.
	Socketlösning	Troligen små effekter i flytande form, dock har även rent vatten viss korrosiv verkan.
	Kaliumformiat	Korrosion på metall och betong väsentligt mindre än för kloridbaserade salter. Däremot har beläggningsbindemedel mjuknat. Korrosion av förzinkad plåt har observerats i liknande omfattning som för NaCl och CMA i en studie.

Forts. tabell 1.

Effekt	Medel	Huvudsakliga slutsatser
Miljö	CMA	Biologiskt nedbrytbart och därmed syreförbrukande i jord och vatten. Högre förmåga att mobilisera metaller i jord i jämförelse med NaCl. I princip harmlöst för vegetation.
	MgCl ₂	Innehåller skadlig kloridjon (liksom NaCl och CaCl ₂): påverkar permeabilitet och stabilitet hos jordar, upptag av näringsämnen av växter. Särskilt barrträd påverkas negativt. Bidrar till ökad salthalt i grund- och ytvatten.
	CaCl ₂	Se ovan.
	Socketlösning	Biologiskt nedbrytbart och därmed syreförbrukande i jord och vatten. Extremt lättnedbrytbart i jämförelse med t.ex. CMA. Vilt kan lockas till vägområdet. Spridning kan ge odör liknande mögelost.
	Kaliumformiat	Mindre påverkan på grundvatten än NaCl. Biologiskt nedbrytbart och därmed syreförbrukande i jord och vatten. Mindre mängd tungmetaller går i lösning i mark i jämförelse med kloridbaserade salter.

9.2 Kostnadsjämförelse

Att jämföra kostnaderna för utläggning av de medel som tas i denna rapport är inte helt enkelt. De flesta produkterna har i dammbindningsförsök spridits i 20–25 %-iga lösningar, utom CaCl₂, som i Finland sprids i 10 %-ig lösning. Huruvida dessa är de optimala lösningarna är oklart, varför det kan ifrågasättas om det är relevant att jämföra kostnader för spridning av samma koncentration. Idealt borde kostnadseffektiviteten i form av dammbindningseffekt per krona jämföras vilket i nuläget kunskap saknas för att genomföra.

MgCl₂ och CaCl₂ säljs i granulat med olika vattenhalt, vilket innebär att blandningsförhållandena blir olika för att uppnå samma halt i lösning. Socker är nytt och ännu oprövat. De material som använts i olika projekt har tillverkats på olika sätt och skiljer sig något från varandra. Kaliumformiat säljs under varubeteckningen "Meltium" i 50 %-ig lösning.

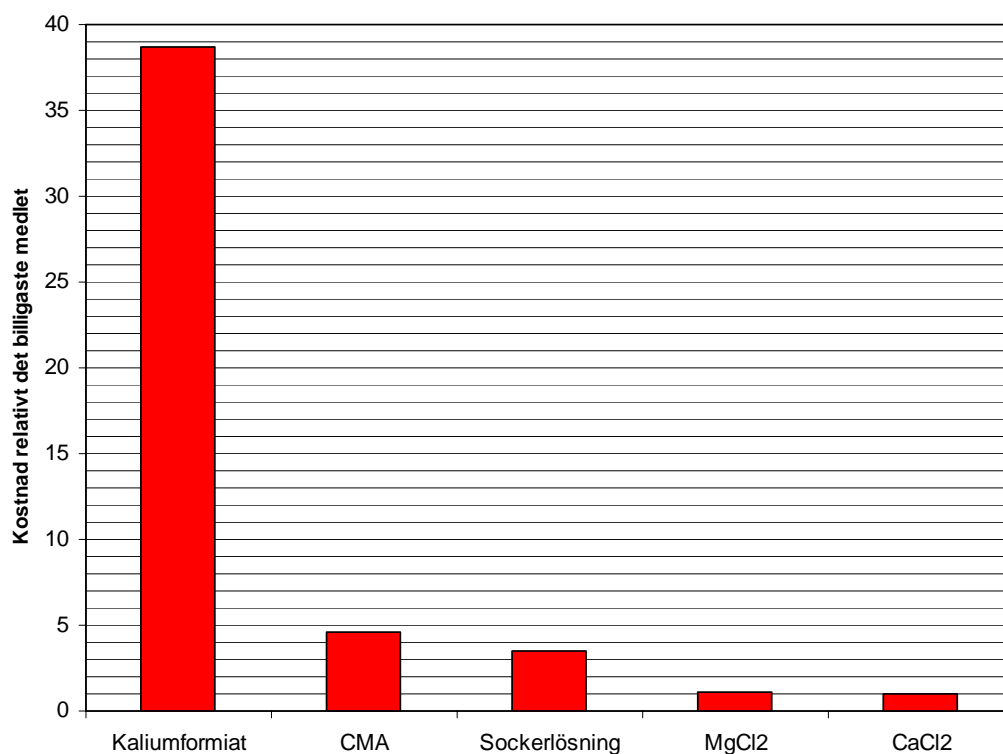
I följande jämförelse utgår vi från de kostnader, som beräknats för CMA och socker i försöken i Göteborg under våren 2007 (Sjöstedt och Derneryd, 2007). Där har kostnaden beräknats för spridning av 20 g/m² av 25 %-iga lösningar per km körfält (4x1 000 m). Motsvarande har beräknats för CaCl₂ och MgCl₂ utifrån kostnader för inköp av dessa medel i granulat från Lantmännen hösten 2007. Kostnader för arbetstid och utläggningsteknik ingår ej i kostnadsuppgifterna. Detta kan spela roll om behoven för olika medel skiljer sig mycket åt, vilket inte är troligt då samtliga medel kan spridas som lösning och rimligen med samma typ av utrustning.

Tabell 2 Kostnad i kr för olika medel i 25 %-ig lösning för spridning per km körfält (4x1 000 m). 25 % är normal koncentration för CMA, MgCl₂ och sockerlösning.

25 %	Giva (g/m ²)			
	10	20	30	40
Kaliumformiat	1 344	2 688	4 032	5 376
CMA	160	320	480	640
Sockerlösning	120	240	360	480
MgCl ₂	37	74	111	148
CaCl ₂	35	69	104	139

Tabell 3 Kostnad i kr för olika medel i 10 %-ig lösning för spridning per km körfält (4x1 000 m). 10 % är normal koncentration för Kaliumformiat (för halkbekämpning) och CaCl₂.

10 %	Giva (g/m ²)			
	10	20	30	40
Kaliumformiat	537,6	1 075,2	1 612,8	2 150,4
CMA	64	128	192	256
Sockerlösning	48	96	144	192
MgCl ₂	14,8	29,6	44,4	59,2
CaCl ₂	14	27,6	41,6	55,6



Figur 2 Relativ kostnad för materialåtgång per km körfält (4x1 000 m) jämfört med det billigaste medlet, CaCl₂.

Referenser

- Alatypö, V. (2006): Nya avisningsmedel och asfaltbeläggningar. NVF 333 FoU, Tekniska Högskolan, Väglaboratoriet, Finland. 9 pp.
- Aldrin, M., Hobæk Haff, I., Rosland, P. (2007): The effect of salting with magnesium chloride on the concentration of particular matter in a road tunnel, manuscript inskickat till Atmospheric Environment i oktober 2007.
- Alzubaidi, H. (1999): Miljöeffekter av dammbindning av grusvägar. VTI notat 18-1999, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping. 15 pp.
- Aronsson, A., Barklund, P., Ehnström, B., Karlman, M., Lavsund, S., Lesiński, J.A., Nihlgård, B. & Westman, L. (1995) Skador på barrträd, Skogsstyrelsen, 304 s.
- Attrup, P. (2004): Brug av tømidler på Storebælt. Dansk Vejtidskrift, oktober 2004. 3 pp.
- Berthelsen, BO. (2003): Bruk av magnesiumklorid som akuttiltak for støvdemping på E6 gjennom Trondheim. Rapport nr. TM2003/03, Miljøavdelingens rapporter, Trondheim. 24 pp.
- Blomqvist, G. (1998): Impact of de-icing salt on roadside vegetation, VTI rapport 427A, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, 35 pp.
- Blomqvist, G. (2001): De-icing salt and the roadside environment: Air-borne exposure, damage to Norway spruce and system monitoring, Doktorsavhandling, TRITA-AMI-PHD 1041, Avdelningen för mark- och vattenresurser, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Brod, H.G. (1993): Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- Bäckman, L. och Folkesson, L. (1997): The influence of de-icing salt on vegetation, groundwater and soil along two highways in the south-western parts of Sweden during 1994. VTI särtryck 280, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping. 50 pp.
- Chang, NY., Pearson, W., Chang, J.J., Gross, A., Meyer, M., Raamot, T., Samour, H. (1994): First quarterly report on environmentally sensitive sanding and deicing practices. ESSD Research Group, Department of Civil Engineering, University of Colorado, USA. 75 pp.
- Clarke, M., Dravitzki, V., Cenek, P. (2002): Development of the safe application and usage of calcium magnesium acetate as an anti-icing agent under New Zealand conditions. XIth international winter road congress, Sapporo, Japan. 10 pp.
- Danner, DQ. och Wood, TM. (2000): The effect of calcium magnesium acetate (CAM) deicing material on the water quality of Bear creek, Clackamas County, Oregon, 1999. Water Resources Investigations Report 00-4092. US Department of the Interior och US Geological Survey, Portland, Oregon, USA. 22 pp.
- Dobson, M.C. (1991): De-icing salt damage to trees and shrubs, Forestry Commission Bulletin, 101, Department of the Environment Arboriculture Contract, London, 64 s.
- Edwards, Y., Rollén, J., Lamge, G., Aurstad, J., Nilsen, TN. (1999): Beständighetsproblem på nordiska flygfält – inverkan av banavisningsmedel på asfaltbetong. Ett samarbete mellan norska och svenska luftfartsverket, VTI, SINTEF och Bygghforsk. VTI notat 24, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, 51 pp.

- Finlands miljöcentral (2004): Kaliumformiat belastar grundvattnet mindre än vägsalt. Pressmeddelande 2004-02-10. Tillgänglig 2007-10-05 på <http://www.ymparisto.fi/print.asp?contentid=60488&lan=sv&clan=sv>.
- Finlands miljöcentral (2007): Transport av alternativa halkbekämpningsmedel i grundvatten (MIDAS). Tillgänglig 2007-10-05 på <http://www.ymparisto.fi/print.asp?contentid=216406&lan=en&clan=sv>.
- Fischel, M. (2001). Evaluation of selected deicers based on a review of the literature, Colorado Dept. of Transportation: 117.
- Franzén, L.G. (1990): Transport, deposition and distribution of marine aerosols over southern Sweden during dry westerly storms, *Ambio*, Vol 19, No 4, s 180–188.
- Fu, W., Mathews, A.P. (2005): Two-stage fermentation process for the production of calcium magnesium acetate and propionate road deicers. *Enzyme and Microbial Technology* 36 (7), pp. 953–959.
- Goetzfried, F. och Badelt, H. (2002): The effectiveness of different de-icing agents. *New Challenges for Winter Road Service. PIARC XIth International Winter Road Congress*, Sapporo, Japan.
- Granato, GE. (1996): Deicing chemicals as source of constituents of highway runoff. *Transportation Research Record* 1533, 50–58.
- Gustafsson, M. (2001) Icke-avgasrelaterade partiklar i vägmiljön. VTI meddelande 910.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Jonsson, P. (2007): PM Linköpings kommun: Effekt av CMA-spridning i centrala Linköping. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping. 10 pp.
- Gustafsson, M., Blomqvist, G., Dahl, A., Gudmundsson, A., Ljungman, A., Lindbom, J., Ryudell, B., Swietlicki, E. (2005): Inandningsbara partiklar från interaktion mellan däck, vägbanan och friktionsmaterial. Slutrapport av WearTox-projektet. VTI rapport 520, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Gustafsson, A. och Gabrielsson, G. (2006): Vinterdrift. Sockerprodukter i kombination med NaCl. *Vägverket Produktion*, Borlänge. 54 pp.
- Hellstén, P., Kivimäki, AL., Miettinen, IT., Mäkinen, RP., Salminen, JM., Nystén, TH. (2005): Degradation of Potassium Formate in the Unsaturated Zone of a Sandy Aquifer. *Journal of Environmental Quality*, 34:1665–1671.
- Holmström, P. *Stainless Engineering*, muntlig kontakt, 2007.
- Högnadóttir Steinbakk, G., Aldrin, M. (2003): Effekt av salting på svevestøv. En analyse basert på data for vinteren 2001 /2002 og 2002/2003. NR-notat SAMBA/19/2003, Norsk Regnecentral, Oslo. 61 pp.
- Ihs, A (2004): Friktionsegenskaper hos CMA vid dammbindning på barmark, VTI, PM.
- Ihs, A. (2006): Friktionsmätning på belagda ytor behandlade med dammbindningsmedel, VTI, PM.
- Ihs, A., Gustavsson, (1996)
- Jin, F., Zhou, Z., Kishita, A., Enomoto, H., Kishida, H., Moriya, T. (2007): A new hydrothermal process for producing acetic acid from biomass waste. *Chemical Engineering Research and Design* 85 (2 A), pp. 201–206.

Jacobson, T. 1994

Johansson, C., Norman, M., Westerlund, K.-G., 2005. Försök med dammbindning längs E4-Vallstanäs och i Norrmalm i Stockholms innerstad. SLB 10:2005, SLB analys, Stockholm.

Karlsen, M. och Ousland, E. (2005): Bruk av magnesiumklorid som støvdempende tiltak. Avdeling for ingeniørdanning, Høgskolen i Oslo. 58 pp.

Knutsson, G. (1974): Influence of roads on the surrounding nature – A literature survey, Statens Naturvårdsverk, Solna.

Knutsson, G. och Morfeldt, C.-O. (1993): Grundvatten, teori och tillämpning, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 304 s.

Leggett, TS. (1999): Temperature and humidity effects on the co-efficient of friction value after application of liquid anti-icing chemicals – final report. Forensic Dynamics Inc., Vancouver, Kanada. 35 pp.

Luftfartsverket (2005a): Redovisning av miljödata inom LFV 2005. Tillgänglig 2007-10-05 på http://193.181.1.85/upload/Tjanster/Dokumentbank/miljodata_2005.pdf.

Luftfartsverket (2005b): Miljörapport 2005. Tillgänglig 2007-10-05 på http://www.lfv.se/upload/Flygplatser/Arlanda/PDF/milj%C3%B6/Milj%C3%B6rapport_ARN_2005.pdf.

Lindh, E. (1981): Dammbindning på grusvägar. VTI meddelande 307, Statens väg- och trafikforskningsinstitut. Linköping, 57 pp.

Meyer, F. och Nygaard, H. (2001): Statusrapport: Alternative tømidler. Fase 1. Egenskaber, data og prøvningsmetoder. Carl Bro as. 72 pp.

Mussato, BT., Gepreags, OK., Farnden, G. (2004): Relative importance of sodium chloride and magnesium chloride on reinforced concrete – state of the art. Transportation Research Record no. 1866, 59-66.

Möller, S. (2007): Nya tekniker och metoder inom vinterväghållning. En litteraturgenomgång. VTI rapport 569. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping. 58 pp.

Norman, M. och Johansson, C. (2007): Försök med dammbindning längs E4/E20 vid L:a Essingen 2007. SLB analys, Stockholm. 28 pp.

Pedersen, LB. och Ingerslev, M. (2007): Alternativer til vejssalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen – litteraturundersøelse over miljøeffekter, med særligt henblik på jord og planter. Arbejdsrapport Skov og Landskap nr. 36-2007. Center for Skov, Landskap og Planlægning. Københavns Universitet, København. 50 pp.

Räisänen, M., Kupiainen, K., Tervahattu, H. (2003): The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti-skid and asphalt aggregates on urban dust. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 62, 359–368.

Salminen, J. (2007): Biodegradation of formate, an alternative de-icing agent, in subsurface in the Kauriansalmi aquifer at Soumenniemi. Finnish Environment Institute, Research Programme for Environmental Technology, Helsingfors. 7 pp.

Sanda, J. E. (1976): Virkninger av NaCl och CaCl₂ på jord og vegetasjon langs veier. Meldin gno. 62, Institutt for dendrologi planteskoledrift, Norges landbrukshøgskole. 16 pp.

- Simini, M. och Leone, I.A. (1986): The response of dormant Norway and sugar maples to simulated de-icing spray, *Journal of Arboriculture*, Vol 12, No 1, pp. 1–5.
- Sjöstedt, S. (2006): Effekter på partikelhalten vid sockerspridning och högtrycksvätt. Försök i Lundbytunneln 2006. Göteborgs Stad Miljöförvaltningen, uppdragsrapport 2006:8. 20pp.
- Sjöstedt, S. och Derneryd, A. (2007): Partikeldämpande åtgärder i Göteborg 2007: underlag för spridning av dammbindande medel. Utvärdering av hastighetssänkning på Friggagatan och CMA-spridning. Uppdragsrapport 2007:4, Miljöförvaltningen Göteborg. 57 pp.
- Snow, P. (2007): Magnesium chloride as a road deicer: a critical review. Burns Concrete, Inc., Idaho Falls, USA. Tillgänglig på <http://www.pcei.org/MagchlorideWhitePaper.pdf> 2007-10-03.
- Suga, H. och Suzuki, T. (2002): Development of New Chloride Group Deicing/Anti-Freezing Agents. Proceedings of the XIth International Winter Road Congress, 2002 Japan. 10 pp.
- TFRHC (2007): Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Highway Administration, US Department of Transportation. Tillgänglig 2007-04-20 på <http://www.tfrc.gov/pubrds/novdec99/cmaupdate.htm>.
- Thenoux, G. och Vera, S. (2003): Evaluation of Hexahydrated Magnesium Chloride Performance as Chemical Stabilizer of Granular Road Surfaces. *Transportation Research Record II* 1819, 44–51.
- Vaze, J., Chiew, F.H.S. (2002). Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface. *Urban Water* 4, 379–389.
- Viinanen, J. (2007): Helsingfors stads beredskapsplan för episoder med höga halter av luftföroreningar. Tillgänglig 2007-08-21 på <http://www.hel.fi/wps/wcm/connect/resources/file/eb61070c0695265/Svensk%20Hki%20ilmanlaadun%20varautumissuunnitelma%202007-ru.pdf?MOD=AJPERES>.

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE

LINKÖPING

POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING

TEL +46 (0)13 20 40 00

www.vti.se

BORLÄNGE

POST/MAIL BOX 920

SE-781 29 BORLÄNGE

TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM

POST/MAIL BOX 55685

SE-102 15 STOCKHOLM

TEL +46 (0)8 555 770 20

GÖTEBORG

POST/MAIL BOX 8077

SE-402 78 GÖTEBORG

TEL +46 (0)31 750 26 00