



**KTH Arkitektur
och samhällsbyggnad**

DAMMBINDNINGSMEDEL FÖR NORDISKA GRUSVÄGAR
SVENSK SAMMANFATTNING AV LICENTIATAVHANDLING



Karin Oscarsson
Maj 2007

FÖRORD

Den licentiatavhandling som sammanfattas här är delresultatet av doktorandprojektet CDU:T43 "Dammbindning av grusvägar". Projektet har varit knutet till Institutionen för Bygghvetenskap, inriktning Vägteknik vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH). Huvuddelen av arbetet har dock utförts vid Högskolan Dalarna.

Syftet med projektet har varit dels att utvärdera egenskaper och effektivitet hos material och dammbindningsmetoder för grusslitlager och dels att utveckla och utvärdera laboriemetoder för analys av material till grusslitlager.

Resultaten förväntas bidra med bättre metoder för analys av material till grusvägar och underlag för nya tekniska beskrivningar för förstärkning och underhåll av grusvägar. Resultaten förväntas också ge minskade livscykelkostnader för grusvägar och bidra till en bättre miljö genom minskad dammbildning och mindre utsläpp av kemikalier i naturen.

Projektet har finansierats av Vägverket genom Centrum för forskning och utbildning i drift och underhåll av infrastruktur (CDU).

Till projektet har varit knuten en styrgrupp med följande medlemmar:

Håkan Westerlund, CDU
Ulf Isacsson, KTH
Rolf Magnusson, Högskolan Dalarna
Hossein Alzubaidi, Vägverket
Pontus Gruhs, Vägverket
Göran Gabrielsson, Vägverket Produktion
Robert Karlsson, Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)
Rolf Löfvenholm, Vägverket
Lars-Erik Holmström, Vägverket
Kent Enkell, VTI
Håkan Arljung, Vägverket
Alf Gustafsson, Vägverket Produktion
Ronny Bengtsson, Vägverket Produktion

Borlänge, maj 2007

KARIN OSCARSSON

BAKGRUND

Av det totalt 540 000 km långa svenska vägnätet utgör ungefär 400 000 km grusvägar. Uppemot 100 000 km av det svenska vägnätet är statliga vägar och av dessa är 20 % grusvägar. Trafikmängden på dessa grusvägar är mycket begränsad, eg. mindre 125 fordon per årsmedeldygn. Dessa vägar anses dock av stor betydelse regionalt och är ofta en förutsättning för överlevnad av glasbefolkade landsorter samt för de skogstransporter som utgör Sveriges största exportmarknad. Det har konstaterats, i tidigare undersökningar, att dammbindning av grusvägarna inte är ekonomiskt försvarbart förrän mer än 125 fordon per dygn använder vägarna (Addo och Sanders, 1995). Den svenska väghållartraditionen och synen på trafiksäkerhet motiverar dock dammbindning av alla statliga grusvägar, oavsett trafikmängd, som en del av det årliga vägunderhållsarbetet. Förhöjda partikelhalter i luften kan ge upphov till minskad trafiksäkerhet, tilltäppning av vattendrag, luftförorening, skador på jordbruk samt ha skadliga hälsoeffekter. Å andra sidan kan de dammbindningsmedel som används, i synnerhet kloriderna, också ha en negativ miljöpåverkan, t.ex. orsaka korrosion på bilar eller uttorkning av vägnära vegetation.

Om finjorden i grusslitlagret försvinner kommer detta troligen att föranleda förlust även av större materialfraktioner. Denna materialbrist hos grusslitlagret föranleder ofta tätare underhållsarbeten och krav på tillsats av kompletterande material, vilket i sin tur leder till ökande kostnader. Dammbindningsmedel reducerar inte enbart dammet som orsakas av passerande fordon utan minskar också den totala kostnaden för grusvägsunderhåll (Kirchner, 1988). Denna kostad uppgår årligen till ungefär 370 miljoner kronor för det statliga grusvägnätet. Dammbindningen är dock också förenad med stora kostnader. Kostnaden uppgår till 30 % av den totala kostnaden för drift och underhåll under barmarkperioden (Bergström och Grebacken, 1995). Denna kostad påverkas givetvis av valet av dammbindningsmedel, givan av applicerat dammbindningsmedel samt antalet erfordrade behandlingar.

Det är många faktorer som bör beaktas om dammbindningen skall ske så kostnadseffektivt och miljövänligt som möjligt. Åtgärder ska sättas in vid rätt tidpunkt i rätt omfattning. Onödig användning av dammbindningskemikalier skall undvikas. Det råder idag en otillräcklig kunskap vad gäller effektivitet, beständighet, livscykelkostnader och miljöpåverkan för de dammbindningsmedel som finns på marknaden.

SYFTE OCH AVGRÄNSNINGAR

Syftet med denna studie är att utvärdera dammbindningsmedel för grusslitlager, beträffande effektivitet, livslängd, urlakning, nedträngande förmåga, fukthållande egenskaper samt undersöka optimal kornstorleksfördelning hos slitlagret. Metoder som använts inkluderar litteraturstudier samt laboratorieförsök och fältstudier. Resultatet förväntas ge minskade livscykelkostnader för grusvägar och miljövinster genom minskad dammbildning och minskad användning av kemikalier. Studien är begränsad till nordiskt klimat, konstruktionspraxis, grusmaterial samt tradition beträffande vägunderhållsarbete.

LITTERATURSTUDIE

Somliga dammbindningsmedel verkar genom sina fuktabsorberande egenskaper för att binda dammet. Andra fungerar på basis av att klibba samman kornen i grusmaterialet. Hygroskopiska salter, som kalcium- och magnesiumklorid, fungerar på det förstnämnda sättet medan lignosulfonat och bitumenemulsion huvudsakligen på det senare. Oavsett funktionssätt är resultatet temporärt och kräver således minst årligen förnyat underhåll (U.S. Department of Transportation, 2001).

Kalciumklorid är av tradition det vanligast använda dammbindningsmedlet i Sverige, följt av, i turordning, magnesiumklorid, lignosulfonat och bitumenemulsion. Både klorid och lignosulfonat sägs ha en livslängd på ungefär sex månader (Lohnes och Coree, 2002). Klorid sägs ha bäst effektivitet tillsammans med slitlager med måttlig finjordshalt medan lignosulfonat fungerar bäst i kombination med slitlager med hög finjordshalt (Gillies et al, 1999). Bitumenemulsion, BE, beskrivs ha en livslängd på ungefär tolv månader (Gillies et al, 1999) och vara mest effektivt i kombination med grövre kornfraktioner eftersom

produkten då har mindre partikelyta att täcka (Bergström och Grebacken).

Den största nackdelen med kloriderna är att de är mycket lösliga i vatten och tenderar således att vandra nedåt i vägkroppen. De urlakas snabbt av nederbörd vilket vanligen medför att endast ett dammbindningstillfälle per år inte är tillräckligt (Foley et al, 1996). Ett annat problem med kloriderna är att de bidrar till att metaller rostar.

Kalciumklorid och magnesiumklorid har flera gemensamma egenskaper och fungerar som dammbindningsmedel på samma basis. Det finns dock indikationer på att uppemot 20 viktprocent mer magnesiumklorid än kalciumklorid behövs för att uppnå ett likvärdigt dammbindningsresultat (Reyier, 1972). Detta kan bero på att kalciumkloriden inte höjer ytspänningen lika mycket som magnesiumkloriden och därför väter och tränger ned i grusmaterialet bättre (Epps och Ehsan, 2002). Dessutom har magnesiumkloriden ett högre ångtryck vid 25°C, vilket förväntas leda till att vattnet är mer benäget att förångas och således kan tänkas vara effektivt under en kortare tid.

Lignosulfonat kallas också sulfitulut eller lignin. Lignin är en av de största beståndsdelarna i trä, eg. 33 - 40 % av torrvikten (McDougall, 1986). Det fungerar som naturens eget klister och binder samman träfibren. Lignosulfonat erhålls som en restprodukt under kokningen av trä för pappersmassaproduktion. Det finns flera olika sorters lignosulfonater, eg. kalcium-, natrium- och ammoniumlignosulfonat, av vilka kalciumlignosulfonaten är den vanligast använda (Roads and Transportation Association of Canada, 1987). Erfarenheter, från Kanada, antyder att natrium- och kalciumlignosulfonat är lika effektiva (Chichak, 1991).

Lignosulfonat skapar en hård skorpa på vägytan men produkten är mycket vattenlös och tenderar därför att urlakas från vägen vid kraftig nederbörd, något som indikerar att produkten är mer effektiv i ett torrt klimat än i ett fuktigt (Jones, 1999).

Det verkar som om kornstorleksfördelningen är synnerligen betydelsefull när man dammbinder med lignosulfonat medan BE och kloriderna inte tycks lika känsliga för variationer i kornstorlek. Lera förhindrar lignosulfonaten från att urlakas vid regn (Svensson, 1997). Det har tidigare också konstaterats att om lignosulfonaterna, och kloriderna, blandas in i grusslitlagret ökar livslängden (Hoover, 1981).

Mängden damm som emitteras från grusvägar är en funktion av flera olika faktorer. Dessa inkluderar: antalet fordon, fordonsvikt, fordons hastighet, antalet hjul per fordon, kornstorleksfördelning hos grusslitlagret, packning och bundenhet hos vägytan, fukthalt i slitlagret samt topografi (Bolander och Yamada, 1999). Det finns indikationer, i tidigare publicerad litteratur, på att dammbindningsbehandlingar kan reducera damning med så mycket som 80 % jämfört med en obehandlad väg (Hoover, 1973). I de fall behandlingen varit mindre lyckad tillskrivs detta ofta brist på dammbindningsmedel beroende på urlakning till följd av riklig nederbörd. Klimat, grusslitlagermaterial, trafik samt koncentration av dammbindningsmedel, kommer att påverka effektiviteten och livslängden av dammbindningen.

Undersökningar av vägdamm kan delas in i två kategorier; laborietester, som kan användas för att bestämma vilken giva som erfordras eller huruvida ett dammbindningsmedel fungerar under bestämda, kontrollerade betingelser, samt fältstudier, vilka ger realistiska betingelser och ofta inkluderar statiska dammuppsamlare eller portabla mätutrustningar (Lohnes och Coree, 2002). Mätresultaten från de senare kan dock påverkas av fordonens aerodynamik, hastighetsvariationer samt vägojämnheter.

DAMMBILDNING PÅ TESTSTRÄCKOR

Metod

I syfte att jämföra effektiviteten hos olika dammbindningsmedel och att studera hur ändrade koncentrationer liksom nya kombinationer av olika dammbindningsmedel påverkar denna, gjordes fältförsök på fyra olika geografiska platser i Sverige: Umeå, Rättvik, Hagfors och Halmstad. På varje ställe märktes en grusväg upp i ett antal 1000 meters teststräckor med skyltar i båda ändar. Magnesiumkloridlösning, kalciumkloridlösning, magnesiumklorid flingor, kalciumklorid flingor, lignosulfonat (produktnamn Dustex) och en stärkelselösning testades på alla platser. Dessutom testades bitumenemulsion och en biomassaprodukt i Hagfors samt rapsolja i Halmstad. Mesa, ett material som används för att öka finjordshalten i grusslitlagret, testades i kombination med kalciumkloridlösning, magnesiumkloridlösning respektive lignosulfonat.

För att bedöma mängden damm som emitterats från de olika teststräckorna användes dels en TSI DustTrak-utrustning, dels visuella besiktningar. DustTrak-utrustningen innehåller en 90° ljusbrytningssensor. Andelen ljus som bryts är proportionellt mot volymskoncentrationen av partiklar i luften, i området 0,001 – 100 mg m⁻³ för partiklar i storleksordning mellan 0,1 till 10 µm (Hitchins, 2002; Wu, 2002; Veranth et al, 2003). Koncentrationen av denna partikelfraktion skulle dock kunna vara ett mindre bra mått för att bedöma de optiska egenskaperna hos alla de partiklar som faktiskt skymmer sikten. Nedsättning av sikten orsakas huvudsakligen av ljusbrytning från svävande partiklar där både fina och grova partikelfraktioner bidrar (Moosmüller et al, 2005).

För mätningarna med DustTrak användes en Volvo av kombimodell. Det första året monterades två DustTraks på fordonets takräcke; en med partikelinsuget fäst vid den främre, vänstra sidospiegeln; och den andra med partikelinsuget fäst vid den bakre vindrutetorkaren (fig. 1). DustTrak-utrustningarna var inställda för att ge medelvärden för volymskoncentrationen av luftburna PM₁₀ med sekundupplösning. Utrustningen med partikelinsug på främre delen av fordonet registrerade bakgrundshalten av luftburna partiklar, d.v.s. damm som redan svävar i luften och som således inte påverkades av fordonets framfart, t.ex. partiklar från andra källor än grusvägen så som pollen etc. Det visade sig dock att detta bidrag var mycket litet samt relativt konstant. Därför användes bara den utrustning som registrerade partikelhalten bakom fordonet under den nästföljande försöks säsongen. Fordonet framfördes i en konstant hastighet av 40 km/h över hela väglängden med teststräckor. Körmonstret begränsades i möjligaste mån till de befintliga hjulspåren. En handdator, kopplad till en GPS, var programmerad att varje sekund registrera tidpunkt, aktuell teststräcka samt färdhastighet. Dessa data kombinerades sedan med erhållna data från DustTrak-utrustningen.



Figur 1. Montage av DustTrak-utrustningarna på testfordon. Dammsugerna är markerade med pilar.

Resultat och diskussion

Vid varje mättillfälle, med DustTrak-utrustningen, togs slitlagerprover för bestämning av fukthalt. Ingen korrelation mellan fukthalt i grusslitlagret och partikelhalt i luften kunde dock upptäckas. Skillnaden, i partikelkoncentration, mellan dammbunden och en icke-dammbunden grusväg var dock anmärkningsvärd stor. Dammbindningsmedel som skapar en hård hinna på vägytan, så som lignosulfonat och bitumenemulsion gav godtagbara resultat till en början men började relativt snart att spricka sönder och blev då i stort sett verkningslösa. Ligosulfonat var i allmänhet det minst effektiva utav de dammbindningsmedel som testades. I Umeå var det dock var ett av de mest effektiva, eller t.o.m. det mest effektiva. Genom grundämnesanalys med ett svepelektronmikroskop, SEM, kunde konstateras att den välpresterande lignosulfonaten som använts i Umeå var natriumlignosulfonat medan den sprödare, mindre effektiva lignosulfonaten som användes på övriga platser var kalciumlignosulfonat. Natriumlignosulfonaten hade, förutom den uppenbara skillnaden i relativa natrium- och kalciumhalter, högre relativa halter av grundämnet svavel, medan kalciumlignosulfonaten hade högre halter av kol och syre. Detta skulle kunna förklara den märkbara skillnaden i sprödhet och dammbindingseffektivitet. De sträckor som dammbundits med stärkelseslösning dammade också mycket, liksom den teststräcka som erhållit biomassa, troligen beroende på snabb urlakning och nedbrytning av dessa produkter. Den senare sträckan blev faktiskt snabbt i så dåligt skick att man tvingades avbryta försöket och dammbinda sträckan konventionellt. Rapsoljan som testades i Halmstad bildade en hård skorpa som också utsattes

för sprickbildning och så småningom nöttes bort men denna produkt hade längre livslängd än lignosulfonat och gav så länge den fanns kvar ett utmärkt resultat. Koncentrationen som användes var dock relativt hög, vilket ytterligare ökar den redan höga kostnaden för dammbindning med rapsolja.

Kalciumkloridflingor är 10 – 40 %, eller som medelvärde av alla observationer; 19 % mer effektiva än magnesiumkloridflingor. Detta stämmer väl överens med en tidigare uppskattning på 18 % bättre effekt (Reyier, 1973). Vidare pekar resultat, från alla geografiska platser, på att saltlösningar är det effektivaste dammbindningsmedlet på marknaden. Kalciumklorid och magnesiumklorid, i fallet lösningar, verkar vara lika effektiva. Att lösningar är effektivare än sin fasta motsvarighet tros bero på att en mer homogen fördelning av klorider, i kombination med en bättre förmåga att tränga ned i slitlagermaterialet, erhålls med kloridlösningar. Resultaten tyder på att det kan vara möjligt att använda mindre mängd klorid och ändå erhålla samma, eller t.o.m. bättre, dammbindningseffekt genom att använda lösningar istället för flingor. Detta skulle ha stor betydelse både miljömässigt och ekonomiskt. Dessa resultat behöver dock säkerställas med resultat från ytterligare någon mätsäsong. Även om en något högre kloridkoncentration kan erhållas om man köper en färdig saltlösning är det troligen mer energi- och kostnadseffektivt att, om det är praktiskt möjligt, bereda lösningen, från fast produkt, på plats.

Tillsättningen av mesa, och därmed finmaterial, till grusslitlagret tycks inte ge någon effektivitetsvinst beträffande salterna. Resultaten är dock svårtolkade på grund av olika koncentrationer vid försökets inledning. Salt i kombination med mesa erhöi en lägre koncentration jämfört med salt utan mesatillsats. Mesan gav dock en positiv dammbindningseffekt i kombination med lignosulfonat och minskade möjligen också urlakningen av lignosulfonaten.

Samband mellan visuella bedömningar och PM₁₀-halter

Visuella bedömningar av varje teststräcka utfördes var fjortonde dag enligt Vägverkets metodbeskrivning för bedömning av grusväglag, VV Publ 2005:60. Vid dessa tillfällen bedömdes fyra olika tillstånd: jämnhet, förekomst av löst grus, tvärfall samt mängden damm, i fyra tillståndsklasser där tillståndsklass 1 indikerar att sträckan är bra och den högsta tillståndsklassen, 4,

indikerar att vägen är dålig och behöver hyvlas och eventuellt också dammbindas på nytt.

Tidigare publicerad litteratur indikerar att om finjorden i grusslitlagret dammar bort kommer också det allmänna tillståndet på grusvägen att försämrats, d.v.s. en mer ojämn och obunden vägyta kommer att föreligga (Moosmüller et al, 2005). I så fall borde en korrelation mellan dammbildning och ojämnhet respektive dammbildning och löst grus erhållas. Resultaten från fältstudierna visar på en korrelation mellan visuellt bedömd dammbildning och obundenhet samt en möjlig korrelation mellan visuellt bedömd dammbildning och ojämnhet.

I avsikt att utvärdera den objektiva metoden för att registrera dammbildning, och undersöka möjligheten av att ersätta den befintliga subjektiva metoden för tillståndsbedömning av damm på grusväg, jämfördes resultaten från den objektiva mätutrustningen med resultat från den subjektiva, visuella bedömningen. Resultatet visar på en relativt god korrelation vid de mätillfällen när samtliga tillståndsklasser var representerade i den visuella bedömningen men en svag, eller obefintlig korrelation när det endast dammade mindre enligt den visuella bedömningen, motsvarande klass 1 och 2.

Följande grova samband mellan den visuella bedömningen och PM₁₀-mätningarna kan identifieras:

- Klass 1, "inget damm rörs upp av trafiken längs vägen", motsvarar PM₁₀-värden, baserade på korrelationen mellan de objektiva mätningarna och de subjektiva bedömningarna, på mellan 0 mg/m³ och 0,5 mg/m³.
- Klass 2, "mindre dammoln uppstår längs vägen", motsvarar PM₁₀-värden mellan 0,5 mg/m³ och 1,5 mg/m³.
- Klass 3, "dammoln nedsätter sikten", är jämförbar med PM₁₀-värden mellan 1,5 mg/m³ och 4 mg/m³.
- Klass 4, "sikten är kraftigt försämrad", motsvarar PM₁₀-masskoncentrationer högre än 4 mg/m³.

DAMMBILDNING VID SIDAN AV VÄGEN

Bakgrund

EU-direktiv 1999/30/EC fastslår gränsvärden för svaveldioxid, kvävedioxid, bly och PM₁₀ i luften. Direktivet som gäller fr.o.m. 1 januari 2005, fastslår

att dygnsmedelvärdet av partiklar mindre än 10 µm, PM₁₀, inte får överstiga 50 µg/m³ mer än 30 gånger per år och det totala årsmedelvärdet inte får överstiga 40 µg/m³. Fr.o.m. 1 januari 2010 gäller att 50 µg/m³ per 24 timmar inte får överskridas mer än sju gånger per år samt ett maximalt årsmedelvärde på 20 µg/m³. Direktivet uppger vidare att partikelhalten skall uppmätas minst 4 m från mitten av närmaste vägbana, med partikelinsuget 1,5 till 4 m över marken och med sådan placering att resultatet är representativt för luftkvaliteten hos ett större område.

Metod

Genom att placera DustTrak-mätutrustningar vid olika avstånd vid sidan av vägen (fig. 2) har förhållandet mellan volymkoncentration av PM₁₀ och avståndet från grusvägen undersökts. Mätutrustningarna placerades i vindriktningen från vägen på ett öppet fält bredvid en rak grusvägsträcka. Den valda vägsträckan hade en partikelkoncentration motsvarande klass 4, enligt Vägverkets metodbeskrivning, eller PM₁₀-halter högre än 4 mg/m³.



Figur 2. Uppställning av mätutrustningar bredvid vägen.

Syfte

Syftet med studien var att undersöka ett slags "worst case scenario" som kan råda på en grusväg och se hur långt de hälsoskadliga partiklarna, PM₁₀, kan färdas, med luftströmmar från vägen, samt att undersöka huruvida dessa volymkoncentrationer av partiklar överskrider gränsvärdena enligt ovannämnda EU-direktiv.

Resultat och diskussion

Det tycks finnas ett samband mellan medelvärdet för volymkoncentrationen av PM₁₀ och avståndet från vägen. Extrapolering av det beräknade linjära sambandet indikerar att partiklarna från vägen inte sprids längre än 45 m, från väggkant, i vindriktningen vid en vindhastighet på mellan 0 och 7 m/s. Det verkar inte sannolikt att större partiklar än dessa, PM₁₀, skulle färdas längre.

Högsta medelpartikelkoncentration, något över 0,5 mg/m³, erhöles på ett avstånd av 5 m från väggkant och motsvarar en tio gånger högre partikelkoncentration än den, enligt EU-direktivet, tillåtna medelvolympkoncentrationen av PM₁₀ under 24 timmar. Eftersom detta värde erhöles under en knapp timme med en trafikmängd på uppemot ett fordon per minut, verkar det ändå osannolikt att EU-direktivets gränsvärden skall kunna överskridas på platser vid sidan av vägen. Eftersom dessa resultat erhöles från ett tillfälle med kraftig dammbildning, är det sannolikt att resultaten visar vilken dammbildning som kan uppstå i extremfall, vilket också var syftet med studien. Det finns därför anledning att tro att volymkoncentrationen av PM₁₀ längs nordiska grusvägar knappast kommer att överstiga direktivets gränsvärden.

URLAKNING I FÄLT

Syfte och hypotes

I syfte att observera dammbindningsmedlens avtagande koncentrationer, med tiden, i teststräckornas grusslitlager, utvecklades och användes analytiska laboriemetoder för att kvantifiera resthalter av klorid samt lignin. Hypotesen var att mindre dammande teststräckor skulle ha högre resthalter av applicerat dammbindningsmedel. Eftersom olika koncentrationer av kalciumklorid respektive magnesiumklorid påförts borde de sträckor som erhöles en lägre ursprungskoncentration också ha en lägre resthalt inledningsvis under studien varefter resthalterna torde utjämnas med tiden. Fast kalciumklorid har ett vatteninnehåll på 23 viktsprocent medan fast magnesiumklorid har ett vatteninnehåll på 49 viktsprocent. Magnesiumjoner har dock en lägre atomvikt än kalciumjoner, vilket medför att fast magnesiumklorid innehåller mer klorid, vilket anses som den aktiva delen av produkten, än samma massa av fast kalciumklorid. Sammantaget medför

skillnaderna i vatteninnehåll och atomvikt att 1 kg levererad mängd kalciumklorid innehåller ca 30 viktsprocent mer klorid än 1 kg levererad magnesiumklorid. Detta borde medföra att teststräckorna som behandlats med 1,0 kg/löpmeter kalciumklorid har samma resthalt av klorid som de sträckor som erhållit 1,3 kg/löpmeter magnesiumklorid och analogt för andra koncentrationer. Slutligen är hypotesen att resthalten av de vattenlösliga dammbindningsmedlen håller sig relativt konstant under torrt väder men urlakas snabbt ur vägen vid regn.

Metod

Grusprover togs från hela djupet av grusslitlagret på respektive sträcka, från en kvadrat om 150 x 150 mm, och placerades i återförslutningsbara plastpåsar. Proverna togs alltid från en plats utmärkt i mitten av varje teststräcka, dock inte från exakt samma ställe utan alldeles bakom föregående provområde. Proverna togs också alltid från höger hjulspår under färd på sträckorna i numerisk ordning. Teststräckor som dammbundits med klorid eller lignosulfonat analyserades med avseende på med tiden avtagande resthalter av dammbindningsmedel. Totalt analyserades åtta olika sträckor: 0,7 respektive 1,0 kg/löpmeter kalciumklorid, 1,0 respektive 1,3 kg/löpmeter magnesiumklorid, kalciumkloridlösning, magnesiumkloridlösning, lignosulfonat och lignosulfonat i kombination med mesa.

50 ml destillerat och avjonat vatten påfördes 50 g slitlagergrus i en glasbägare. Eventuellt innehåll av upptorkat dammbindningsmedel löstes upp genom att sänka ned bägaren med grus i ett ultraljudsbad under 10 minuter. Denna lösning filtrerades sedan ned i en ren glasbägare. Filtrat innehållande klorid överfördes till eppendorphör och centrifugerades för att möjliggöra separation av finjord från vätskelösningen. Filtrat innehållande lignosulfonat filtrerades istället ytterligare en gång, med ett PTFE-filter, av samma anledning.

Resultat och diskussion

Kloridhalten analyserades kolorimetriskt med kvicksilver (II) tiocyanatmetoden. Ett orangefärgat järntiocyanatkomplex erhålls när kloridjoner löser upp kvicksilverjonerna i kvicksilvertiocyanat under närvaro av järn i överskott. Den resulterande färgen uppmättes med en jonspecifik fotometer.

Resultaten indikerar att kloridkoncentrationen i sommarsaltade grusvägar avtar snabbt under sommarmånaderna. Det kan därför fastslås att dammbindning med salt måste ske minst en gång varje år eftersom det efter sommaren inte finns tillräckligt mycket klorid kvar i vägen för att klara att binda finjorden ytterligare en sommar. Dessa resultat sammanfaller väl med tidigare erfarenheter, nämligen att kalcium- och magnesiumklorid inte kan förväntas ge tillfredställande dammbindning ett andra år p.g.a. okontrollerbara faktorer som regn och urlakning (Mulholland, 1972). Dessutom kommer eventuellt underhållsarbete på grusvägen gradvis att minska effektiviteten av dammbindningsmedlen. Det är också uppenbart att hyvling av vägen påverkar kloridkoncentrationen olika på olika punkter av vägen, också inom varje teststräcka, vilket gör det svårt att tolka och dra slutsatser från resultaten. Det är också tydligt att kloridkoncentrationen i grusslitlagret vanligen ökar under några veckor efter själva dammbindningstillfället. Anledningen till detta är ännu inte känd eller tillräckligt utredd men kommer att vara föremål för framtida studier.

En möjlig förklaring är att kloriderna följer med regnvattenströmmar nedåt i vägen under den relativt blöta väderlek som i allmänhet råder inledningsvis under säsongen och då inte kommer att kunna detekteras vid provtagning på slitlagergruset. Vid torra, som vanligtvis infaller en till ett par månader efter dammbindningstillfället, förångas ytfukten vilket leder till att djupliggande fukt sugts mot vägytan med hjälp av kapillärkrafter. Detta i sin tur genererar en förhöjd kloridkoncentration i slitlagergruset eftersom kloriderna finns lösta i vattnet som färdas uppåt och eftersom kloriderna inte kommer att kunna avdunsta från vägytan.

Som förväntat fortsatte de sträckor som erhållit högre ursprungshalter av klorid att ha högre resthalter under hela säsongen och vice versa. Resultaten visar också att saltlösningarna hade de lägsta kloridkoncentrationerna under hela sommaren. Eftersom dessa sträckor var de bäst dammbundna tyder resultatet på att inte bara resthalten av klorid är av betydelse för en god dammbindning. En homogen fördelning, av kloriderna, i vägen vertikalt och horisontellt är lika betydelsefull som en hög koncentration av klorider. Det vore därför intressant med en teststräcka där en tensid tillsats en kloridlösning. En sådan blandning förväntas kunna

underlätta spridningen av saltet, så att spridningen i slitlagret blir mer homogent och saltet mer djupverkande, eftersom tensiden minskar ytspänningen mellan vattenmolekylerna.

Resthaltsanalyserna från Rättvik, för vilka det finns störst statistiskt underlag, visar att kloridhalterna för sträckan med 1,0 kg löpmeter magnesiumklorid flingor per löpmeter sammanfaller med halterna för sträckan med 0,7 kg kalciumklorid flingor per löpmeter och att halterna för sträckan med 1,3 kg magnesiumklorid flingor per löpmeter sammanfaller med kloridhalterna för teststräckan med 1,0 kg kalciumklorid flingor per löpmeter. Dessa likheter är signifikanta, vid 5 % nivån, vid åtminstone två av provtagningstillfällena under 2006. Detta stämmer väl överens med hypotesen att 30 viktprocent mer magnesiumklorid erfordras för att uppnå samma kloridkoncentration och således dammbindningsförmåga. Det föreligger dock ingen signifikant skillnad, vid 5 % nivån, mellan kalciumklorid lösning och magnesiumkloridlösning enligt en variansanalys.

För att bedöma resthalten av lignosulfonat, i prover tagna från grusslitlagret på de teststräckor som behandlats med produkten, användes en uv/vis-spektrofotometer. En kalibrering av metoden tyder på att lignosulfonat kan kvantifieras vid våglängden 280 nm, vilket motsvarar den våglängd vid vilken lignin absorberar ljus. Prover som innehåller en hög koncentration av lignosulfonat behöver spädas innan mätningen kan utföras.

Lignosulfonat tycks också urlakas snabbt under sommarmånaderna, möjligen t.o.m. snabbare än kloriderna, med undantag för teststräckan i Umeå. Som tidigare nämnts var detta den enda lignosulfonatsträckan som var effektivt dammbunden, enligt de mätningar som utförts. I motsats till de sträckor som erhöll salt i fast form, där koncentrationen ökade under en period efter dammbindning, minskade koncentrationen av lignosulfonat snabbt efter dammbindningstillfället.

INLEDANDE LABORATORIEFÖRSÖK: VÄTNINGSFÖRMÅGAN HOS EN TENSID

Salter höjer ytspänningen hos vatten och därmed den adhesiva kraften mellan olika partiklar. Detta gör att både gruset och saltet självt binds hårdare samman. Detta skulle teoretiskt kunna öka effektiviteten hos

dammbindningen ytterligare. En minskad ytspänning skulle dock kunna gynna effektiviteten hos dammbindningen genom att dammbindningsmedlet då istället erhåller en bättre förmåga att väta och tränga ned i slitlagergruset. Tensider har egenskapen att minska ytspänningen hos vatten. En anjonisk tensid, eg. SDS, tillsattes en saltlösning i ett laborieförsök med syftet att underlätta vätningen av grusmaterialet. Ingen signifikant skillnad i vätning kunde dock konstateras, från denna tillsats. Däremot konstaterades att vid fortsatta försök bör en katjonisk tensid i stället för en anjonisk tensid användas, eftersom den anjoniska tensiden reagerade med metalljonerna och bildade en glatt, vit fällning.

URLAKNING I LABORATORIUM

Metod

Experiment för att studera hur urlakningen av dammbindningsmedel påverkas av olika sammansättning av grusslitlagret har också utförts i laboratorium. Dessutom undersöktes olika dammbindningsmedels förmåga att tränga ned i slitlagret, eftersom detta verkar ha stor inverkan på ett dammbindningsmedels effektivitet och livslängd. Till urlakningsförsöken användes mätglas i plast, i vilka små hål i botten hade borrats. Olika grusfraktioner; 0-0,5 mm, 0-2 mm, 0-8 mm, 0-16 mm samt en 0-16 mm fraktion, hållandes en finjordshalt på 4 viktsprocent, med en tillsats av 10 viktsprocent lera, placerades sedan i dessa mätglas. Proverna packades för hand innan dammbindningsmedel i form av lösning påfördes och proverna slutligen utsattes för vatten och således urlakning.

Resultat och diskussion

Variansanalys för urlakningen av klorid visar en signifikant skillnad, vid 5 % nivån, i medelvärde mellan prover med olika grusfraktioner men visar ingen skillnad beträffande 0-16 mm fraktionen med eller utan tillsatsen av lera. Av de testade fraktionerna, gav fraktionen 0-2 mm minst urlakning av klorid varefter urlakningen ökar med ökande fraktionsstorlek, vilket gäller både kalciumklorid och magnesiumklorid. Resultaten tyder också på att kloriden ansamlas mot botten av behållaren. Detta betyder att kloriderna i en verklig grusväg snabbt färdas nedåt i jorden tillsammans med regnvattenströmmar och då troligen ansamlas i

grundvattnet. I en riktig grusväg, i motsats till laborietestetets förutsättningar, kan dock vatten, och således också de lösliga kloriderna, också färdas uppåt till följd av kapilläruppsugning av grundvatten. Detta gör det, om möjligt, ännu svårare att förutsäga punktkoncentrationer av klorid. Inga urlakningsskillnader med avseende på typ av katjon och koncentration kunde konstateras med denna metod. Alla eventuella skillnader är inom metodens variationsområde.

För undersökningar avseende urlakning av lignosulfonat, användes en 43 % lignosulfonatlösning, d.v.s. den kalciumlignosulfonatlösning som användes i Halmstad. Resultaten indikerar att lignosulfonaterna är minst lika benägna att urlakas som kloriderna är. Försöket med 0-0,5 mm grusfraktionen avslutades redan efter första tillsatsen av 35 ml destillerat och avjonat vatten, eftersom denna vattenvolym åtta timmar senare fortfarande inte runnit av ytan. Resultaten visar också, i likhet med urlakning av klorid, att ju grövre fraktionen är desto högre koncentration av lignosulfonat kommer att finnas i lakväsken efter urlakningen. Det är också uppenbart att en tillsats av 10 viktprocent lera till 0-16 mm fraktionen, vid en 5 % signifikansnivå, signifikant minskar urlakningshastigheten av lignosulfonat jämfört med samma fraktion utan tillsats av lera. Det konstaterades dock under dessa experiment att vattnet, som tillsattes som regnsimulering, kvarstannade längre på ytan i de fall lera tillförts. Därför skulle tillsats av lera kunna leda till att vatten stannar kvar på vägytan i alltför hög utsträckning, något som i sin tur skulle kunna leda till en våt, smetig och hal vägbana.

Det tycks råda ett omvänt förhållande mellan nedträngning i slitlagermaterialet och förmåga att skapa en skorpa på vägytan. D.v.s. det dammbindningsmedel som sämst tränger ned i grusmaterialet skapar den märkbaraste ythinnan. Lignosulfonaten som användes i Umeå var, av de testade dammbindningsmedlen, det dammbindningsmedel som minst trängde ner i ytan, följt av lignosulfonaten som användes i Hagfors. Stärkelselösningen trängde ned längre än lignosulfonaterna och vattenglaslet ytterligare en bit. Det var svårt att se någon skillnad i nedträngningsförmåga hos magnesium- respektive kalciumklorid eftersom den lägre vattengränsen upprepade gånger var ojämn och svår att nivåbestämma. Kloriderna trängde dock ned klart

längst av alla testade dammbindningsmedel och möjligen trängde magnesiumkloriden ned något fortare än motsvarande mängd kalciumklorid.

LABORATORIEUNDERSÖKNING AV VATTENGLASETS LÄMPLIGHET I FÄLT

Natriumsilikat (vattenglas), är en produkt som bedömts som intressant för dammbindning eftersom den binder till mineralpartiklar hos grusmaterialet och skapar ett lackartat skikt som kapslar in dammpartiklarna. En mindre laboratorieundersökning gjordes för att bedöma om det kan vara intressant att testa produkten i fält. Det framkom att denna produkt är svårslöslig i vatten och därför svår att tvätta bort när den väl härdat; en stelningsprocess som endast tar ett fåtal timmar i anspråk, beroende på koncentration. Denna egenskap är gynnsam när produkten väl kommit på vägen men medför problem när dammbindningsmedlet någon gång hamnar på ett förbipasserande fordon.

UPPTORKNING AV GRUSMATERIAL I LABORATORIUM

Bakgrund och metod

Vatten kallas ofta naturens eget bindemedel. Ett grusmaterial med goda fukthållande egenskaper är därför en bra investering. Salters verkan som dammbindningsmedel bygger på deras hygrokopiska, d.v.s. fukthållande, egenskaper. Kornstorleksfördelningen sägs också påverka fukthalten hos ett gruslager, eftersom mindre kornfraktioner håller fukten effektivare. Av den anledningen undersöktes upptorkningsprocessen, i laboratorium med avseende på kornstorleksfördelning samt koncentration och typ av salt. Grusmaterialet torkades i en ugn och vattenavgången bestämdes genom vägning av materialet.

Eftersom klorider binder vatten kan det förväntas att en högre koncentration av klorid kommer att minska upptorkningshastigheten hos grusmaterialet. Kalciumkloridens lägre ångtryck vid rådande temperatur i ugnen, 55°C, och de relativt höga saltkoncentrationerna som valdes till försöket bör innebära att kalciumklorid visar sig vara något mer hygrokopiskt, d.v.s. ha en långsammare upptorkningshastighet, än magnesiumkloriden.

Uptorkningshastigheten hos grusmaterialet definieras som vattenförlusten (g) per tidsenhet (h). Eftersom studien endast ämnade ge relativa jämförelser, och alla prover hade identisk ytarea, beaktades aldrig ytarean vid beräkningarna av uptorkningshastigheten. Experimentet utfördes på grusmaterialfraktionerna 0-0,5 mm, 0-2 mm, 0-4 mm, 0-8 mm, 0-16 mm och 2-16 mm. Torkningen genomfördes först utan tillsats av salt och därefter med tillsats av 30 g kalcium- respektive magnesiumklorid.

Resultat och diskussion

Resultaten visar att uptorkningshastigheten av ett grusmaterial sjunker kraftigt i närvaro av salt och att ett tjockare lager håller fukten bättre än ett tunnare lager eftersom det tar längre tid för kapillärkrafterna att transportera vattnet mot ytan för ångbildning. Dessutom upphettas underliggande material långsammare och materialet i ett tjockare lager utsätts också för ett högre ytryck, vilket ytterligare minskar avdunstningen.

På grund av en mer utspridd fördelning av vattenmolekyler har finare material fraktioner, oavsett lagertjocklek, en högre uptorkningshastighet. För samma materialfraktion torkar det prov som tillförts minst vatten procentuellt sett snabbare men en något större mängd vatten per tidsenhet försvinner från det material som erhållit mest vatten. Större vattensamlingar, vilka kan ansamlas till följd av en rikligare tillsatt mängd vatten alternativt en större andel grövre korn vilka medför att utrymmet för vattenmolekylerna ökar, förångas långsammare än de tunna vattenfilmer som omringar varje enskilt finjordskorn. Vattenmättade grusslitlagerprover som innehåller grövre kornfraktioner har därför en högre uptorkningshastighet, i viktsprocent, eftersom dessa vattenmättas snabbare och binder mindre vatten.

I det koncentrationsintervall som är rimligt med avseende på ekonomin ökar den vattenhållande förmågan för både magnesium- och kalciumklorid med en förhöjd salt giva. Båda produkterna når så småningom en topp, vid vilken en ökad koncentration inte ger någon högre hygroskopicitet. Kalciumklorid tycks dock hålla fukten något bättre än magnesiumklorid vid denna högsta koncentration.

UTVECKLING AV EN LABORATORIEMETOD FÖR ATT TESTA OLIKA DAMMBINDNINGSMEDEL

Syfte

Inledande försök har gjorts för att utveckla en snabb, relativt enkel och tillförlitlig laboriemetod för att undersöka effektiviteten hos olika dammbindningsmedel. Metoden ska kunna utvärdera hur dammbindningen beror av mängden och typen av dammbindningsmedel, kornstorleksfördelningen hos grusmaterialet, nederbörd och temperaturförhållanden samt trafikintensitet. Avsikten är att i relativt liten skala i laboratorium under kontrollerade förhållanden kunna urskilja dammbindningsmedel som det kan vara anledning att undersöka vidare i fält.

Metod och bakgrund

Utlakning, uptorkning och övriga laborieanalyser planeras ske med ovan beskrivna metoder. En utrustning (fig. 3) med högtrycksluft konstruerades i syfte att simulera luftturbulensen kring ett fordon, som kastar upp damm i luften. Ett antal preliminära kriterier för metoden ställdes upp; ett kriterium var att ett grusmaterial med högre finjordshalt skulle avge mer damm, och följaktligen generera mer damm i utrustningens uppsamlingsfilter, i enlighet med tidigare litteratur (Jones, 1999). Ett annat kriterium var att ett grusmaterial med högre tillsats av salt skulle avge mindre damm. Slutligen förväntades också att alla dammbindningsmedel skulle minska mängden damm som genereras jämfört med obehandlat grusmaterial.



Figur 3. Laborietrustning för generering och uppsamling av damm

Endast ett tidigare försök att konstruera en handhållen utrustning för att mäta mängden damm på vägen har hittats i tidigare publicerad litteratur (Brown och Elton, 1994). Denna utrustning består av en dammsugarlåda som används för att dammsuga ett tvärsnitt av vägen och som samlar upp dammet på filterpapper placerade vid ett utsug inuti lådan. Detta försök misslyckades dock eftersom erhållna resultat inte korrelerade med subjektiva tillståndsbedömningar och inte heller var reproducerbara. Huruvida utrustningen lyfte partiklar som inte motsvarar de som lyfts av trafiken eller om dammhalten varierade kraftigt i olika punkter på provytan är inte känt.

Resultat och diskussion

I den nu aktuella utvecklingen användes en Proctor-packningsutrustning för att packa grusmaterialet och tvinga finjorden uppåt mot ytan, samt krossa grövre material, och således öka finjordshalten. Det är uppenbart att denna behandling utsatte kornen för nötning och därför orsakade en högre finjordshalt liksom att packningen tvingade finjorden uppåt mot ytan, medan motsatsen gällde för kontrollprover som inte erhölet packning. På så sätt kan det tänkas att metodiken i viss mån också simulerar trafiknötning. Resultaten indikerar att packningen också åstadkom en välbunden finjordsfraktion som genererade betydligt mindre damm än samma material som inte erhölet någon packning gjorde. Vidare förorsakade t.o.m. den lägsta använda koncentrationen av salt, motsvarande 3,75 g CaCl₂ till 2700 g grusmaterial, att inget damm kunde samlas upp i filtren. Detta motsvarar ungefär 60 g/ m² provyta, vilket kan jämföras med den normalt tillsatta mängden på ungefär 200 g/m² vid dammbindning på väg med MgCl₂.

Grusmaterial med högre finjordshalt ger upphov till mer damm. Detta stämmer väl överens med vad som tidigare konstaterats, nämligen att en av de dominerande faktorerna beträffande dammmission är finmaterialhalten (Jones, 1999).

Gruslitteralmaterial från åtta av de teststräckor som ingick i fältstudien i Rättvik samlades in och placerades i laboratorielådor i syfte att jämföra dammmission i fält med dammmission i laboratorium. Den största fördelen med laboratorieutrustningen gentemot DustTrak-utrustningen, som användes för analys av damm i fält, är att denna apparat, förutom att möjliggöra relativt

enkla laboratorieundersökningar, samlar upp den emitterade dammfraktionen och således möjliggör kompletterande analyser av denna fraktion. Resultaten ger inga statistiska bevis, vid 5 % nivån, för någon skillnad mellan provernas medelvärden för de olika sträckorna. Det är mycket möjligt att det faktiskt inte föreligger någon skillnad i dammmission mellan dessa provsträckor, eftersom proverna togs i slutet av säsongen när hyvling av hela vägen redan hade utförts och koncentrationen av dammbindningsmedel sannolikt var låg. I likhet med resultaten från mätningarna av damm i fält erhålls stora standardavvikelser vid jämförelse mellan olika prov på samma sträcka, vilken kan indikera att dammmissionen kan variera kraftigt på olika platser i vägen eller att metoden inte ger reproducerbara resultat.

REFERENSER

- Addo, J. Q. and Sanders, T.G. (1995). "Effectiveness and environmental impact of road dust suppressants". Mountain-plains consortium. U.S. Department of Commerce. Colorado. Report.
- Bergström, I. and Grebacken, R. (1995). "Studie av olika dammbindningsmetoder på grusvägar". Stockholm, KTH. M.Sc thesis.
- Bolander, P. and Yamada, A. (1999). "Dust Palliative Selection and Application Guide". U.S. Department of Agriculture. Report Number 9977 1207-SDTDC.
- Brown, D. A. and Elton, D. J. (1994). "Guidelines for Dust Control on Unsurfaced Roads in Alabama". Highway Research Center. Harbert Engineering Center. Auburn University. Alabama. Final Report 36849-5337.
- Chichak, M. (1991). "Draft Specification for the Supply of Lignosulphonate". ABTR/Rd/R-90/30. Edmonton.
- Epps, A. and Ehsan, M. (2002). "Laboratory study of dust palliative effectiveness." *Journal of Materials in Civil Engineering* 14(5). ISSN 08991561.
- "European Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air." (1999). Official Journal of the European Communities. L163/41.
- Foley G., Cropley S., Giummarra G. (1996). "Road Dust Control Techniques - Evaluation of chemical dust suppressants' performance". ARRB Transport Research. Victoria, Australia. Special report No 54.
- Gillies J. A., Watson J. G., Rogers C. F., DuBois D., Chow J.C. (1999). "Long-Term Efficacies of Dust Suppressants to Reduce PM₁₀ Emission from unpaved roads." *Journal of the Air & Waste Management Association* 49. ISSN 1047-3289.
- Hitchins J., Morawska L., Wolff R., Gilbert D. (2000). "Concentrations of submicrometre particles from vehicle emissions near a major road." *Atmospheric Environment* 34(1): 51-59.
- Hoover, J. M. (1973). "Surface improvement and dust palliation of unpaved secondary roads and streets". Iowa State University, Engineering Research Institute. Report ISU-ERI-AMES-72316. Ames.
- Hoover, J. M. (1981). "Mission-oriented dust control and surface improvement processes for unpaved roads". Final report. Iowa State University, Engineering Research Institute, Dep. of Civ. Eng. Ames.
- Jones, D. (1999). "Holistic approach to Research into Dust and Dust Control on unsealed Roads." *Transportation Research Record* 1652: 3-9.
- Kirchner, H. W. (1988). "Road Dust Suppressants Compared". Michigan.
- Lohnes, R. A. and Coree, B. J. (2002). "Determination and evaluation of alternate methods for managing and controlling highway-related dust". Final report. Department of Civil and Construction Engineering, Iowa State University.
- McDougall, J. I. (1986). "Field trials of Lignosulphonate Dust palliative". MSP Report No 86-01. Ontario Ministry of Transportation and Communications, Research and Development Branch. Downsview.
- Moosmüller H., Varma R., Arnott P.W., Kuhn H.D., Etyemezian V., Gillies J.A. (2005). "Scattering Cross-Section Emission Factors for Visibility and Radiative Transfer Applications: Military Vehicles Traveling on Unpaved Roads." *Journal of the Air & Waste Management Association* 55: 1743-1750.
- Mulholland, R. W. (1972). "Evaluation of selected dust palliatives on secondary highways". Technical report 18. Department of Highways. Saskatchewan.
- Reyier, J. E. (1972). "En jämförelse mellan kalciumklorid och magnesiumklorid som dammbindningsmedel på grusvägar". Stockholm, KTH. M.Sc thesis.
- Roads and Transportation Association of Canada. (1987). "Guidelines for cost effective use and application of dust palliatives".
- Svensson, C. (1997). "Litteraturöversikt Dammbindning av grusvägar". VTI notat Nr 24. Statens Väg- och trafikinstitut. Linköping.
- U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration. (2001). "Dust Control on Low Volume Roads". Report Number FHWA-LT-01-002.
- Veranth J. M., Pardyjak E. R., Seshadri G. (2003). "Vehicle-generated fugitive dust transport: analytic models and field study." *Atmospheric Environment* 37: 2295-2303.
- Wu. Ye, Hao Jiming, Fu Lixin, Wang Zhishi, Tang Uwa (2002). "Vertical and horizontal profiles of airborne particulate matter near major roads in Macao, China." *Atmospheric Environment* 36(31): 4907-4918.