

Damning från flygaskstabiliserade grusvägar

Göran Blomqvist, Karin Edvardsson, Mats Gustafsson och Ola Wik

Damning från flygaskstabiliserade grusvägar

Dust emissions from gravel roads built with fly ash

Göran Blomqvist, Karin Edvardsson, Mats Gustafsson och Ola Wik

Q9-710

Abstract

Projektet har resulterat i ny kunskap kring damningsegenskaperna hos flygaskstabiliserade grusvägar. Försökssträckorna stabiliserade med flygaska dammade mindre än de konventionellt byggda sträckorna. Orsaken tycktes vara att grusslitlagrets vattenkvot var högre och andelen finkornigt material i det lösa vägdammet i hjulspåren var lägre längs asksträckorna. Dammbindning av grusvägar är den viktigaste parametern för att påverka damningsegenskaperna, men det kan fordras olika strategier för olika konstruktionstyper med potential till miljövinster för askvägar.

Sammanfattning

Obundna vägar dammar genom trafikens framfart över dem. Sådan damning kan leda till trafiksäkerhets- och hälsorisker, olägenheter för närboende och ett accelererat nedbrytande av grusvägens slitlager. Det har funnits misstanke om att grusvägar där bärlagret stabiliserats med inblandning av flygaska skulle damma mer än konventionella grusvägar. Därför undersöktes damningen vid två fältlokaler där både asksträckor och konventionellt byggda sträckor fanns. Forskningsuppgiften var att jämföra damningen och svara på frågan om askvägar dammar mer än de konventionellt byggda vägarna. Dessutom skulle spridningen av damm till omgivningen kartläggas och förekomsten av aska i det uppvirvlade dammet detekteras.

Projektet genomförs som ett samarbetsprojekt mellan VTI, SGI och Högskolan Dalarna, men även IVL har varit med i projektgruppen. Resultaten riktar sig till planerare och drift- och underhållsansvariga hos väghållare, entreprenörer och myndigheter. Fältmätningarna har innefattat såväl väletablerade som innovativa mätmetoder för bestämning av damning och sådana faktorer som påverkar damning som grusslitlagrets vattenkvot och kornstorleksfördelning.

Resultaten visar att vid det ena fältobjektet spelade vidtagna dammbekämpningsåtgärder en mycket avgörande roll för damningens omfattning, varför slutsatser om vilken vägtyp som dammade mest inte kunde dras. Vid det andra fältobjektet framkom att asksträckorna dammade mindre än de konventionellt byggda delsträckorna och att detta sannolikt var kopplat till grusslitlagrets vattenkvot (som var högre längs askvägen) och till det lösa materialets kornstorleksfördelning (som visade att andelen finmaterial var lägre längs askvägen). Hur orsakssambandet ser ut är inte klarlagt, men en föreslagen hypotes är att askinblandningen i bärlagret hållit detta fuktigare vilket avspeglat sig i fuktighetsgraden i grusslitlagret som lett till att det finkorniga materialet inte blivit damningsbenäget utan fortsatt hålls fastlagt i grusslitlagret i högre grad längs asksträckorna än längs de konventionellt byggda sträckorna.

Analysen av uppvirvlat damm kunde inte finna att aska spridits genom grusslitlagret.

Det nya i resultaten är att grusvägar konstruerade med aska i bärlagret tycks damma mindre än konventionellt konstruerade vägar, men att dammbindning av grusslitlagret kan vara den viktigaste parametern. Möjligen kan en askväg fordra en annan dammbindningsstrategi än en konventionell grusväg, med möjligheter till reducerade insatser och därmed minskad miljöbelastning.

Projektet har uppnått relativt god måluppfyllelse, men innan resultaten kan anses giltiga och allmänt generaliserbara bör mätningar på objekt av olika ålder och vid fler tider under året genomföras.

Executive Summary

Unpaved gravel roads will emit dust when trafficked. Such dust emissions might lead to traffic safety and health issues as well as nuisance to the neighborhood and accelerated deterioration of the gravel surface course. It has been suspected that gravel roads with fly-ash stabilized base courses might cause larger dust emissions than conventionally constructed gravel roads. Therefore two field sites with both ash stretches and conventional stretches were investigated. The task was to compare the dust emissions and answer the question whether ash roads emit more dust than conventional gravel roads. Further, the emissions of dust to the surrounding were to be monitored and the occurrence of ash in the suspended dust was to be detected.

The project was conducted in cooperation between VTI, SGI and Högskolan Dalarna and with the Swedish Environmental Institute as part of the research group.

The results show that at one of the field sites, the dust-binding actions taken had a major role in governing the amount of dust emission taking place, why that field site could not be used in order to answer which type of road led to the most dust formation. At the second field site it was found that the ash stretches were emitting less dust than the conventional stretches and that this probably was related to higher moisture and smaller share of small particles in the loose material in the wheel paths. The causal chain of these findings is not yet established, but it could be hypothesized that the ash mixture in the base course has kept that road stretch moister, which is reflected in the surface course higher moisture levels, and that this has led to less dust formation, and hence, the fine part of the dust is still kept in the surface course rather than in the loose dust in the wheel tracks as in the conventionally constructed road stretches.

The analyses of suspended dust did not show any traces of ash particles available to form dust on the road surface.

The new in these results is that gravel roads with ash in the base course seems to be emitting less dust than conventional gravel roads when trafficked, but that dust-binding might be the most important parameter in regulating dusting from gravel roads, regardless of type of construction. Possibly ash roads will need a different dust binding strategy than conventional gravel roads, with a potential to reduce the amounts with environmental benefits following.

It must be understood that these results, however, need to be affirmed at more field sites, for instance at ash roads of different ages and under different seasons before they can be generalized to any higher degree.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET	1
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.4	MÅL OCH MÅLGRUPP	2
1.5	PROJEKTETS GENOMFÖRANDE	2
2	METODIK	3
2.1	FÄLTLOKALER	3
3	RESULTATREDOVISNING	11
3.1	BÖRJE	11
3.2	SÖRKRÅNGE	11
4	RESULTATANALYS	19
5	SLUTSATSER	21
6	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	22
7	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBE	23
8	LITTERATURREFERENSER	24

Bilagor

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vägar vars slitlager inte är bundna, så kallade obundna vägar, grusvägar, dammar genom krafter som uppkommer då trafik färdas över dem. Sådant trafikgenererat damm kan vara en trafiksäkerhetsrisk samtidigt som dammpartiklarna även kan vara hälsovådliga om de kommer ner i luftvägarna [1]. Dessutom är det av stor betydelse för vägens kvalitet och hållbarhet att det finkorniga materialet finns kvar i slitlagret och inte dammar bort då detta kraftigt förkortar ett slitlagers livslängd, med stora ekonomiska konsekvenser som följd. Grusvägar som stabiliserats med flygaska i bärlagret har visat sig ha förhöjda kvaliteter, med bland annat förbättrad bärighet under höstperioden [2]. Frågan är huruvida sådana askvägar dammar mer eller mindre än konventionella grusvägar och om askpartiklar sprids med dammet.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Damning av askvägar har tidigare undersökts vid en pilotstudie i fält genom insamling av deposition i profiler tvärs ut från vägen, samt haltmätning och filterprovtagning av luftburna partiklar intill vägen [3]. Undersökningen visade att damm emitterades från vägen och spreds i dess omgivning, ca 90 % av dammet deponerades inom en zon 2–20 meter från vägkanten. Askhalten i det deponerade dammet uppskattades uppgå till hela 30 %. Den väg som undersöktes var dock inte i bästa skick då det askinblandade bärlagret fläckvis föreföll ligga i dagen. Dessutom var provvägen väldigt lågtrafikerad varför trafiken fick lov att genereras på egen hand: en lastbil gjorde 165 överfarter och en personbil 103 [3]. Undersökningar av damning från askvägar i gott skick saknas dock, även om det enligt Munde med flera [4] finns finska erfarenheter som indikerar att grusvägar med flygaska kan damma mer än konventionella grusvägar, då slitlagret misstänks bli torrare på grund av lägre permeabilitet i bär- och förstärkningslager.

Damningspotentialen hos askor utifrån askans fukthalt har utförts under kontrollerade former på laboratorium [5]. Undersökningen genomfördes med en utrustning ”Duster” som utvecklats gemensamt mellan VTI och Högskolan Dalarna i syfte att kunna provta uppvirvlat damm från vägytor [6]. Undersökningen visade att damningspotentialen var exponentiellt beroende av vattenkvoten hos den fuktade askan.

Då utrustningen ”Duster” vid mätningar av damningspotentialen visserligen visat sig ge reproducerbara resultat, men med låg precision [5], har den sedermera vidareutvecklats i linje med en motsvarande utrustning utvecklad av ”*Desert Research Institute*” i Kalifornien [7] och finns nu i form av ”DusterII”. Den utrustningen används i föreliggande Värmeforskningsprojekt i syfte att uppskatta damningsbenägenheten samt provta uppvirvlade partiklar som är mindre än 10 μm i diameter (så kallade inandningbara partiklar, PM_{10}) på filter för vidare analys i elektronmikroskop.

När det gäller att kunna identifiera askpartiklar i damm har svavel, kvicksilver, kadmium och kvoten mellan magnesium och aluminium föreslagits som indikatorer [5].

För att minimera damning behöver grusvägar dammbindas [6]. Dammbindning kan göras med ett antal olika medel, vanligen kalcium- eller magnesiumklorid, lignosulfat eller bitumenemulsion, men även mindre konventionella produkter som stärkelse, socker och vegetabiliska oljor testas [1].

I syfte att kunna bestämma damning från grusvägar har en mobil mätteknik utvecklats, där partikelhalter mäts framtill och baktill på en personbil [1]. Mätningen framtill representerar bakgrundshalten och mätningen baktill det fordonsuppvirvlade dammet. Då bakgrundshalterna konstant visat sig vara väldigt låga och halterna i det uppvirvlade dammet ofta höga, har metoden förenklats till att bara mäta baktill på fordonet (se Figur 5). Metoden har därefter vidareutvecklats genom att mätvärdena numera positioneras under färd med hjälp av en GPS och datalogger, vilket förenklar handhavandet och förbättrar den geografiska precisionen.

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Projektet syftar till att jämföra damningen från en grusväg konstruerad med flygaska i bärlagret med en konventionell grusväg utan aska. Damningen kartläggs med hjälp av mobila mätningar längs både askvägen och den konventionella vägen samt genom punktvisa mätningar av damningsbenägenheten. Uppvirvlat damm analyseras med hjälp av elektronmikroskopiering där såväl storlek, form och partiklarnas innehåll av grundämnen bestäms. Spridningen av damm till omgivningen kvantifieras med hjälp av passiva filter i vägens omgivning.

1.4 Mål och målgrupp

Projektet ska resultera i en jämförelse av damningsegenskaperna hos en askstabiliserad grusväg och en konventionell grusväg och på så vis svara på huvudfrågan om en askstabiliserad grusväg dammar mer än en konventionell grusväg. En underfråga gäller spridningen av damm till omgivningen samt om aska kan detekteras i det damm som virvlas upp från vägytan. Projektet riktar sig till planerare och drift- och underhållsansvariga hos väghållare, entreprenörer och myndigheter.

1.5 Projektets genomförande

Projektet genomförs som ett samarbetsprojekt mellan VTI och SGI där huvudansvariga forskare är Göran Blomqvist, VTI (projektledare), Karin Edvardsson, VTI och Högskolan Dalarna, Mats Gustafsson, VTI samt Ola Wik, SGI. Med i projektgruppen har även varit forskarna Martin Ferm, IVL och Rolf Magnusson, Högskolan Dalarna.

Till projektet tillsattes en referensgrupp bestående av:

- Claes Ribbing, Ecoloop (tidigare Sv Energiaskor)
- Karsten Håkansson, Vectura
- Per-Erik Persson, PE Betongteknik AB

2 Metodik

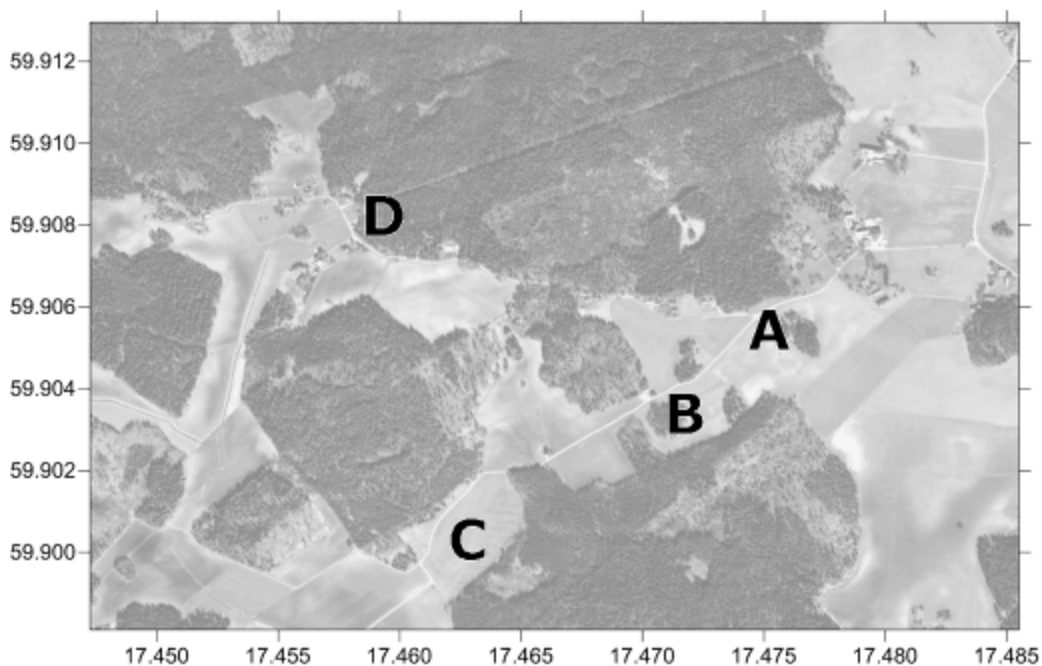
Projektet genomförs i form av fältstudier där ett antal mät- och analysmetoder kombineras för att uppnå projektets syfte.

2.1 Fältlokaler

En fältstudie ställer stora krav på de fältlokaler där studien ska bedrivas. Provsräckan (askvägen) måste vara jämförbar med referenssträckan (den konventionella grusvägen), och om man ska kunna generalisera resultaten behöver de båda sträckorna också vara representativa för sin typ av väg. En grusvägs damningsegenskaper varierar också över säsongen varför tidpunkten för mätningen är av stor betydelse för resultatet. Projektgruppen har fått goda råd från referensgruppen samt Värmeforsk vad gäller förslag på lämpliga fältlokaler till projektet.

2.1.1 Börje, Uppsala

Den första fältlokalen som undersöktes var Börje (Figur 1) strax utanför Uppsala (59,90541 17,47379, WGS84 decimalgrader). Den finns utförligt beskriven i Värmeforskrapporten ”Flygaska som förstärkningslager i väg” [2]. Vägkroppen är uppbyggd med flygaska från Vattenfall Värme i Uppsala som blandats med grus.



Figur 1 Fältlokalen i Börje, utanför Uppsala. Sträckan A–C valdes till provsträcka då den är en del av den väg som är konstruerad med flygaska i vägkroppen. Sträckan A–D valdes till referenssträcka då den utgjorde en konventionellt konstruerad grusväg.

The field site in Börje, west of Uppsala. The road stretch A–C was chosen to be the test road, since that is part of a road constructed with fly ash in the base course. The road stretch A–D was chosen to be the reference, since it is a conventionally constructed gravel road.

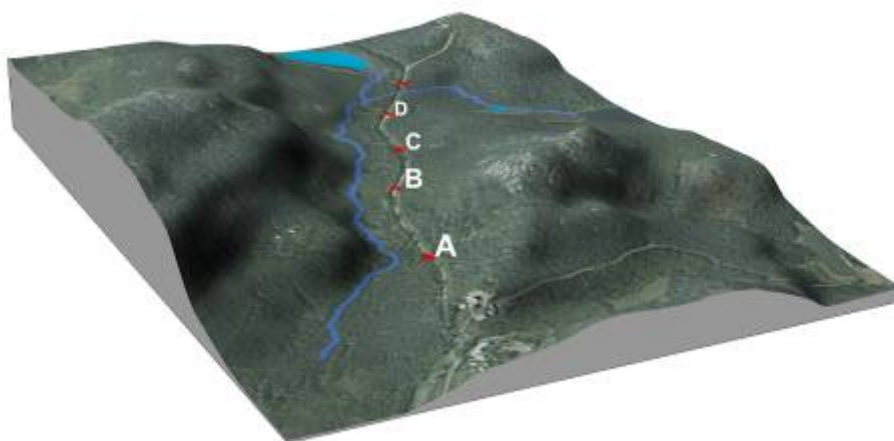
Efter inledande studier visade det sig dock att fältlokalen i Börje inte var idealisk som mätplats för projektet, dels för att grusslitlagren på provsträckan och referenssträckan inte var likadant behandlade, dels för att de hade olika trafikvolym. Trots detta finns det ändå en hel del kunskap att dra nytta av från det fältförsöket, varför även resultaten från Börje redovisas i denna rapport.

2.1.2 Sörkrånge, Timrå

Den fältlokal som valdes att ersätta Börje var Sörkrånge (Figur 2) utanför Timrå (62,56542 17,61528, WGS84 decimalgrader). Sörkrånge finns utförligt beskrivet i Värmeforskrapporten "Effektivt askutnyttjande i vägar" [8].

Sörkrånge ligger ungefär mitt emellan Sundsvall och Härnösand, inte långt från E4:an. Det är en skogsbilväg som under juni 2009 uppgraderats på en ca 1,5 km lång sträcka som är indelad i fyra referenssträckor och två provsträckor. Provsträckorna är uppgraderade genom att flygaska frästs in i det befintliga bärlagret till förhållandet 3:7. Provsträcka 1 (B–C i Figur 2) har efter packningen resulterat i ett ca 16 cm tjockt askinblandat gruslager och provsträcka 2 (C–D i Figur 2) har resulterat i ett ca 20 cm tjockt askinblandat gruslager under det ca 7 cm tjocka grusslitlagret (0/18) som är samma på båda provsträckorna samt referenssträcka 1 och 2. Referenssträcka 0 och 3 är dock inte uppgraderade med grus [8].

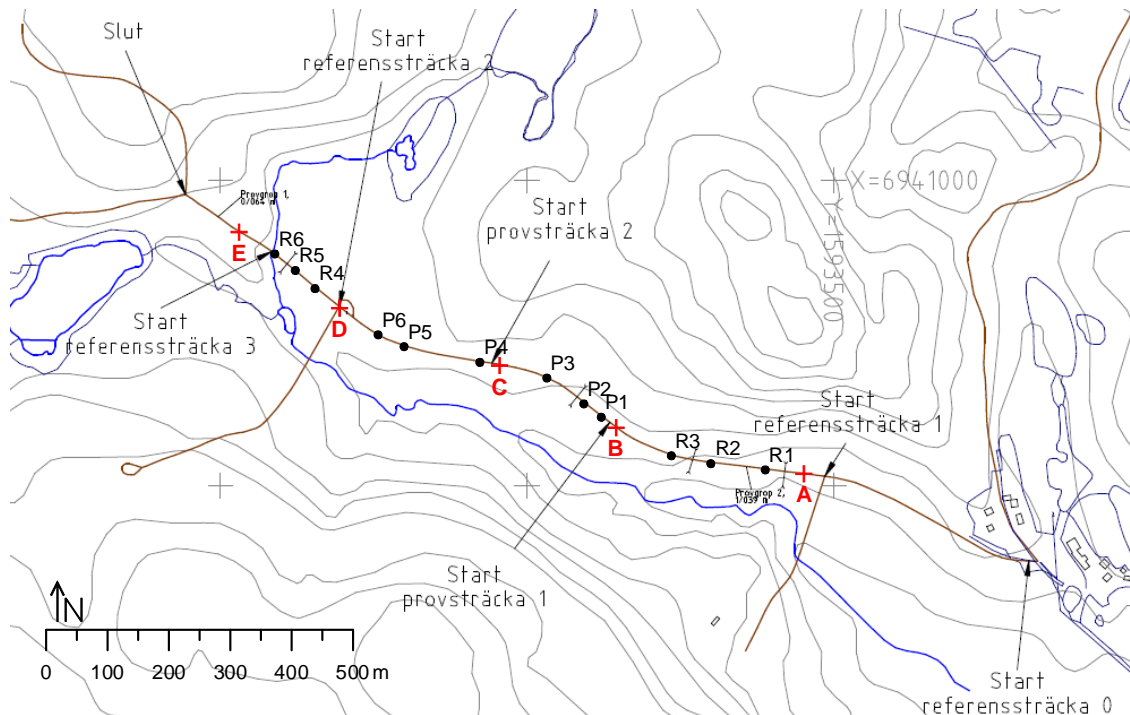
De uppgraderade sträckorna är alltså väl jämförbara med varandra förutom askstabiliseringen då trafiken, undergrunden och omgivningen är i stort samma. Vägen ägs av SCA skog och är en primärväg för ett skogsområde på ca 700 hektar. Vägen är dock inte särskilt hårt trafikerad, förutom när timmer körs ut, utan används mestadels av boende i området.



Figur 2 Provvägen i Sörkrånge löper längs kanten på en dalgång och omgivningen är beskogad.

The test road in Sörkrånge is situated along a forested valley.

Fältmätningarna i Sörkrånge genomfördes 2010-09-08–09.



Figur 3 Fältlokalen i Sörkrånge. Plustecknen (A–E) är referensmarkeringar för de mobila partikelhaltmätningarna. Punkterna (R1–R6 samt P1–P6) är mätpunkter där punktvisa insatser utförts (se Tabell 1).

The test road in Sörkrånge. Plus-signs are references for the mobile dust measurements. The dots (R1–R6 and P1–P6) are test-spots where spot-wise measurements and samplings are made.

Som nollpunkt för att kunna ange referensmått längs vägen i Sörkrånge valdes den bom som ligger 38 meter från korsningen vid startpunkten för referenssträcka 1. Nollpunkten är markerad med 'A' i Figur 3. Därefter placerades referensmarkeringarna 'B', 'C', 'D' och 'E' ut i syfte att underlätta inmätning av övriga provpunkter och öka precisionen hos de mobila damningsmätningarna. Inom varje delsträcka valdes tre representativa positioner ut. Urvalskriterierna var att de skulle likna varandra så mycket som möjligt med avseende på vägens orientering och omgivningens karaktär som vägnära vegetation och skuggning (se bilaga A.1). Positionerna för respektive referenspunkt och mätpunkt framgår ur Tabell 1.

Tabell 1 Sammanställning över mätkampanjen i Sörkrånge, Timrå, 2010-09-08–09
The field campaign in Sörkrånge, Timrå, 2010-09-08–09

Avstånd (m)	Mätpunkter och referensmarkeringar:	Mätinsatser:					SEM
		Filter	DT	DII	DIIp	TS	
-38	Korsning						
0	Vägbom, VTI:s ref. "A"		x				
62	Mätpunkt R1	x	x			x	
159	Mätpunkt R2	x	x	x	x	x	
216	Mätpunkt R3	x	x			x	
322	VTI:s referens "B"		x				
349	Mätpunkt P1	x	x			x	
389	Mätpunkt P2	x	x	x	x	x	x
457	Mätpunkt P3	x	x			x	
531	VTI:s referens "C"		x				
552	Mätpunkt P4	x	x			x	
709	Mätpunkt P5	x	x	x	x	x	x
751	Mätpunkt P6	x	x			x	
822	Korsning, VTI:s ref. "D"		x				
878	Mätpunkt R4	x	x			x	
916	Mätpunkt R5	x	x	x	x	x	
975	Mätpunkt R6	x	x			x	
1030	VTI:s referens "E"		x				
1137	Korsning						
ca 815	"Askfläck" vid vändplan				x		x

Filter = IVL:s passiva provtagare.

DT = mobil mätning av partikelhalten med DustTrak.

DII = mätning av damningsbenägenheten med Duster II.

DIIp = provtagning av uppvirvlat damm i Duster II.

TS = provtagning av grusslitlager för bestämning av torrs substans (TS).

SEM = analys med svepelektronmikroskopi och EDX

2.1.3 Passiva filter

I syfte att kvantifiera spridningen av damm från den askinblandade vägen och den konventionella grusvägen placerades 24 stycken passiva filter ut längs sträckan. Filtren är orienterade vertikalt och riktade mot vägen. Filtren var fördelade på tre provpunkter per delsträcka och vid varje provpunkt placerades ett filter på vardera sidan om vägen. Filtren var skyddade från regn genom att de placerades under ett regnskydd (Figur 4). Avståndet från vägskuldran till filtret var 160 cm och höjden över vägytans tänkta förlängning var också det 160 cm. De 24 filtren var förinvägda hos IVL och analyserades efter exponering hos IVL i Göteborg. Den deponerade massan räknades sedan om till mängd deponerade partiklar per yt- och tidsenhet och anges i enheten " $\mu\text{g cm}^{-2} \text{månad}^{-1}$ " [9]. Exponeringstiden var ett dygn. Trafiken längs vägen var mycket liten, majoriteten av fordonspassager utgjordes av mätfordonet som utförde de mobila damningsmätningarna beskrivet i kapitel 2.1.4 kompletterat med extrakörningar i syfte

att öka exponeringsgraden samt enstaka privata passerande, totalt bedöms trafiken till ca 50 fordonspassager under exponeringsdygnet.



Figur 4 Ett av de 24 passiva filtren för analys av damningens omfattning. Filtren placerades vertikalt, vinkelrätt mot vägen, 160 cm över vägytan och 160 cm från vägskuldran.

One of the 24 passive filters for sampling the dust formation. The filters were placed vertically, aiming towards the road, 160 cm above the road surface and 160 cm from the road shoulder.

2.1.4 Mobila mätningar av uppvirvlat damm

Längs hela sträckan ('A'-'E' i Figur 3) mättes partikelhalten med det optiska partikelmätinstrumentet DustTrak (TSI Inc.) placerat på ett mätfordon enligt Figur 5. Mätinstrumentet mäter PM₁₀, det vill säga luftburna partiklar med en aerodynamisk diameter mindre än 10 µm. Mätningarna görs med sekundupplösning, vilket leder till en rumslig upplösning på ca 11,1 meter då fordonets måthastighet var 40 km/h. Mätningarna genomfördes med fem repetitioner vid två mättillfällen under mätdygnet vilket innebär att varje mätplats passerades av mätfordonet 20 gånger. Mättillfällena var vid 13-tiden samt vid 17-tiden, vilket medger tolkning av resultaten under olika solinstrålningsförhållanden.



Figur 5 Damning bakom det mobila mätfordonet som registrerar PM_{10} med DustTrak. På båda sidorna om vägen syns de passiva partikelprovtagnarna. Till höger: A) insuget till DustTrak, B) notera damnmängden på bakrutan, C) partikelmätinstrumentet DustTrak:s montering på taket.

Dust formation behind the vehicle measuring PM_{10} with a DustTrak (TSI Inc.) To the right: A) DustTrak inlet, B) note the amount of dust deposited on the vehicle, C) DustTrak positioned on the roof.

2.1.5 Mätning av damningspotentialen på grusvägsytan (DUSTERII)

Damningspotentialen¹ mättes på grusvägsytan med en mätutrustning som utvecklats i samarbete mellan VTI och Högskolan Dalarna (DUSTERII). Utrustningen utvecklades ursprungligen i syfte att användas för provtagning av uppvirvlat damm från grusvägar i samband med Karin Edvardssons doktorandprojekt [1, 6]. Utrustningen består av en cylindrisk kammare (innerdiameter = 290 mm, höjd = 270 mm) med öppen botten som placeras på provytan (se Figur 6). En ring av slitstarkt cellgummi nederst på cylindern tätar mot marken och förhindrar dammpartiklar från att ta sig ut ur kammaren nedtill. En horisontellt roterande platt metallring (ytterdiameter = 240 mm, innerdiameter = 177 mm), uppspänd på tre armar, som ställs in på en viss höjd över provytan (ca 15 mm vid dessa mätningar), skjuvar upp dammet i luften inuti kammaren, varvid halten kan mätas. Den roterande ringen styrs av en steglös varvtalsregulator och drivs av en elmotor. På ovansidan av kammaren sitter ett luftutlopp där ett filter kan samla upp uppvirvlat damm och ett partikelmätinstrument (TSI, DustTrak) mäter masskoncentrationen av PM_{10} varje sekund i kammaren.

DusterII-mätningarna i Börje utfördes 2010-08-06 ca kl 12 och i Sörkrånge 2010-09-08 ca kl 16.

¹ *Damningspotentialen* är den mängd damm i det totala dammförrådet som finns tillgängligt för damning, vilket bland annat är beroende av materialets *damningsbenägenhet* som visar hur lätt ett visst material dammar.

I Sörkrånge gjordes DusterII-mätningar och -provtagningar vid den mittersta mätpunkten inom varje delsträcka, alltså mätpunkterna R2 och R5 för den konventionella grusvägen och P2 och P5 för askvägens delsträckor. Mätningarna och provtagningarna gjordes i det norra hjulspåret. Varje mätning består av cirka etthundra haltbestämningar och upprepades på fyra positioner i hjulspåret vid varje provpunkt. Mätproceduren bestod i att först ökades varvtalet från 0 till 1500 varv per minut under 20 sekunder, därefter behölls varvtalet under en minut, och slutligen sänktes varvtalet till noll igen under 20 sekunder.



Figur 6 Tekn. Dr. Karin Edvardsson genomför mätning och provtagning med DusterII i hjulspåren.

PhD Karin Edvardsson is measuring and sampling dust with the DusterII-equipment.

Filterproverna analyserades med elektronmikroskop (SEM/EDX) vid Linköpings Universitet för karaktärisering av uppvirvlade partiklars storlek och form samt kemisk bestämning av deras innehåll. Filtren fästes med koltejp och belades med guld. EDX-instrumentet kalibrerades mot kobolt.

Gustafsson med flera [5] undersökte i ett tidigare Värmeforskprojekt egenskaperna hos flygaska i syfte att kunna identifiera aska i prov av luftburna partiklar. De resultaten används som bedömningsgrund för analys av de i detta projekt insamlade partikelproven.

2.1.6 Gruslitagelets fuktighetsgrad

Gruslitagelets fuktighetsgrad undersöktes genom att bestämma dess vattenkvot (%) gravimetriskt vid SGI:s laboratorium enligt svensk standard för bestämning av torrsubstans och vattenkvot – gravimetrisk metod (SS-ISO 11465). I samtliga provpunkter (P1–P6 och R1–R6, se karta i Figur 3) togs vardera två ytliga prov på löst

gruslitage (kornstorlek < 4 mm) och ett djupare prov (nivå 0–3 cm) för bestämning av vattenkvot. Samtliga prov togs från hjulspår (Figur 7).



Figur 7 Insamling av löst gruslitage i hjulspåret.

Sampling of loose material from the surface course of the gravel road wheel track.

Syftet med mätningen av torrsubstansen är att kunna relatera fuktighetsgraden till potentialen att uppvirvla damm hos gruslitage. Gustafsson mfl [5] visade att damningspotentialen var exponentiellt beroende av vattenkvoten hos aska.

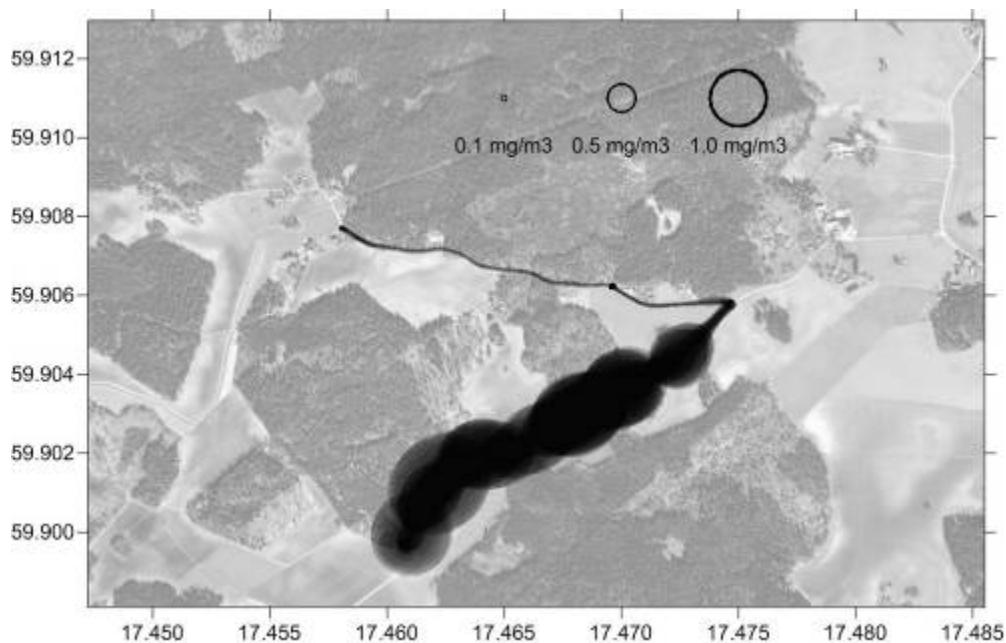
2.1.7 Gruslitageets kornstorleksfördelning

Kornstorleksfördelningen hos det löst liggande materialet på vägen bestämdes på ett av de insamlade proven från varje mät punkt av Håkan Arvidsson vid VTI med hjälp av lasergranulometri. Analysen syftade till att undersöka andelen PM10 i det lösa materialet ovanpå gruslitageet (Figur 7).

3 Resultatredovisning

3.1 Börje

Fältlokalen i Börje visade sig, som tidigare nämnts, inte vara idealisk för studien då referenssträckan och askprovsträckan egentligen inte var jämförbara. I grunden kan man dela in provområdet i tre delsträckor. En konventionellt konstruerad grusväg som hålls dammbunden (A–D i Figur 1) genom regelbundna dammbindningsåtgärder av den lokala väghållaren som bor på platsen och därigenom kan hålla god översikt över grusslitlagrets tillstånd. Sen är det askgrusvägen som i sin tur kan delas in i två delsträckor, en delsträcka som dammbinds sporadiskt (A–B i Figur 1) och en delsträcka som inte dammbinds alls (B–C i Figur 1). Resultatet av uppdamningen visas i Figur 8. En statistisk analys över de mobila mätningarna av uppvirvlat damm visar att delsträckorna förhåller sig signifikant skilda (95 %-nivån) vad gäller deras uppdamning, i ordningen ej dammbunden askväg >> något dammbunden askväg >> väl dammbunden konventionell grusväg (se bilaga A.7). Detta resultat är intressant i sig, men det säger ingenting om askvägars damningsegenskaper i förhållande till konventionella grusvägars damningsegenskaper, utan framhäver sannolikt endast vikten av att grusslitlagret dammbinds väl, oavsett vilken typ av konstruktion som underlagrar det.



Figur 8 Mobila damningsmätningar i Börje utanför Uppsala.

Mobile dust measurements in Börje west of Uppsala.

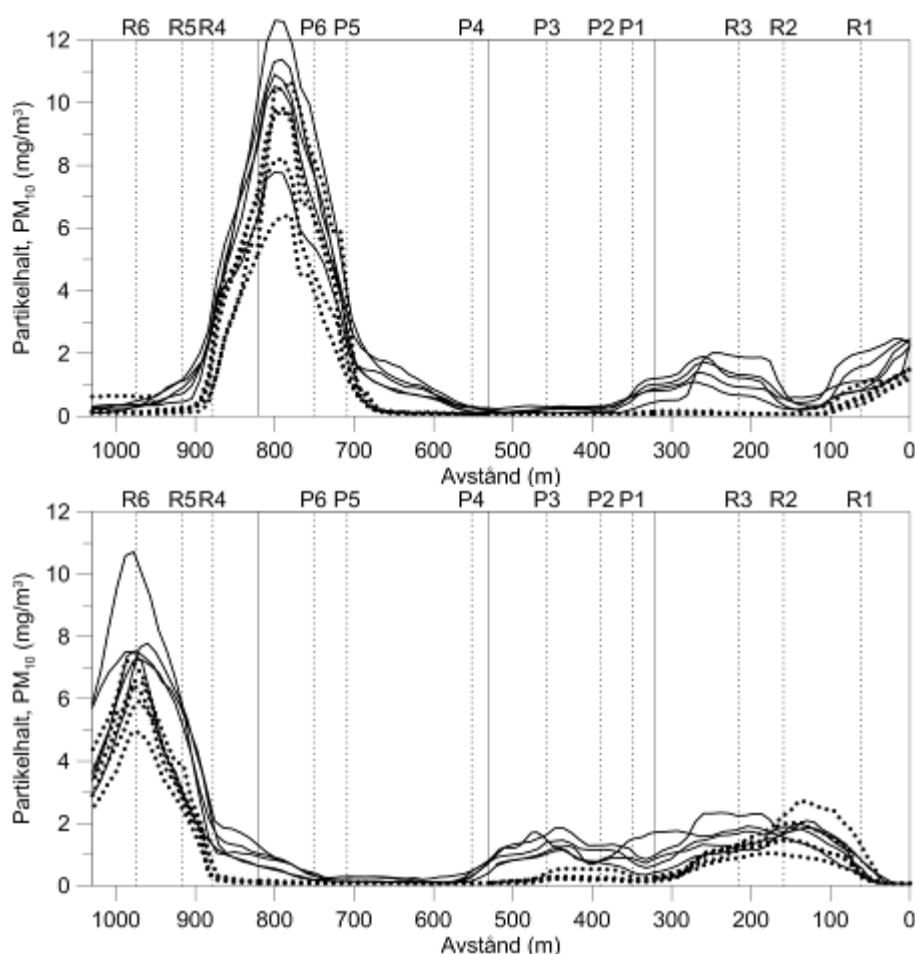
3.2 Sörkrånge

Fältlokalen i Sörkrånge var väl lämpad för studierna då samma vägsträckning innehöll såväl provsträckor som referenssträckor. Fältmätningarna i Sörkrånge genomfördes

2010-09-08–09. Väderbetingelserna under mätningen var goda (se foton i bilaga A.1 och väderdata i bilaga A.6).

3.2.1 Mobila mätningar

De mobila mätningarna gav tydliga resultat med förvånansvärt hög repeterbarhet (Figur 9). Mätningarna i respektive körriktning gav även snarlika resultat med ett stort undantag, de är förskjutna i förhållande till varandra med ca 180 m. Detta fenomen förklaras sannolikt av två separata orsaker. Det ena är att det sker en viss fördröjning innan mätutrustningen registrerar värdet beroende på längden på slangen från insuget till mätinstrumentet. Det andra är att det sannolikt finns en fördröjning från det att fordonet passerar ett visst område till dess att just det dammet når insuget. En viss korrigering av mätvärdena längs x-axeln kan alltså vara motiverad, men till dess att fenomenet är djupare utrett behålls mätresultaten okorrigerade.



Figur 9 Mobila mätningar av partikelhalten (PM_{10}) uppvirvlat bakom mätfordonet längs mätsträckan. Heldragen linje är utförd ca kl. 13 och prickad linje ca kl. 17. För referens finns även provpunkterna R1–R6 och P1–P6 angivna i grafen. Överst: körning i östlig riktning. Nederst: körning i västlig riktning.

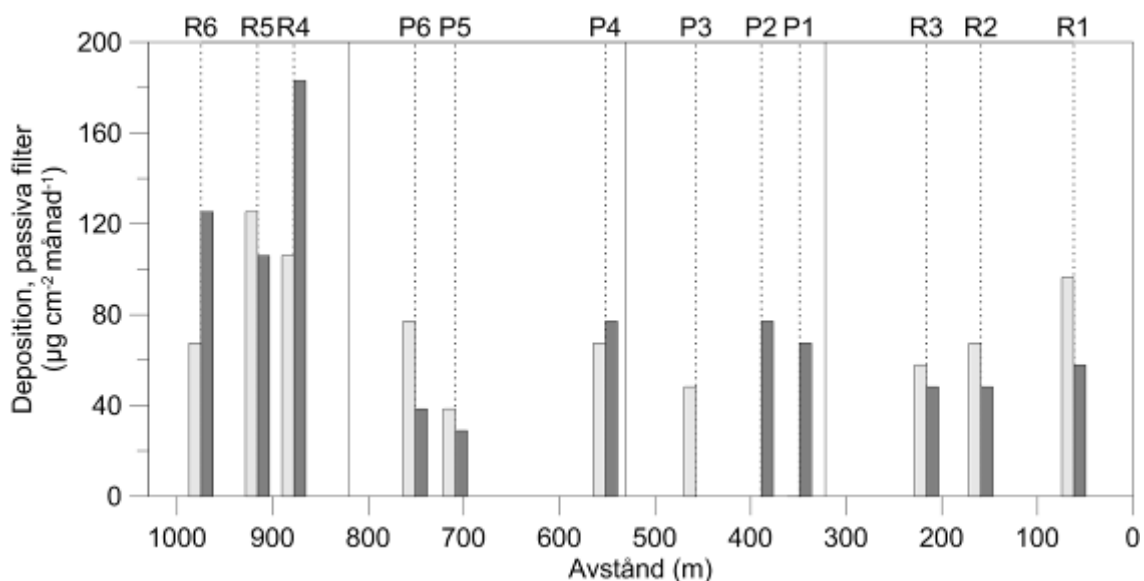
Concentration of particulate matter (PM_{10}) in the air behind the measuring vehicle along the test stretch. Continuous line is from around 1 PM and dotted line around 5

PM. As a reference the sampling sites R1–R6 and P1–P6 is outlined in the figure. Top: eastbound driving, Bottom: westbound driving.

En närmare analys av mätningarna visar att mätsträckans västra del uppvisar betydligt högre partikelhalter än resten av sträckan, även om den östra delen även den uppvisar förhöjda halter. Allra lägst partikelhalter uppvisar mittendelen av sträckan som samstämmer med provsträckorna med aska. Jämför man middagsmätningarna (heldragen linje) med eftermiddagsmätningarna (prickad linje) så finner man att halterna är lägre på eftermiddagen, möjligen orsakad av fuktutfällning på gruslagret. Sammantaget tyder i alla fall de mobila mätningarna på att provsträckorna med aska inblandat i bärlagret är mindre damningsbenägna än de konventionellt uppbyggda referenssträckorna.

3.2.2 Passiva filter

Depositionen på de passiva filtren visar låga halter på grund av den låga exponeringen. Att exponera dem endast ett dygn med endast ca 50 fordonspassager är på gränsen för vad metoden klarar av. Anledningen att det ändå givit mätbara resultat är sannolikt att filtren placerats så nära vägen som 160 cm horisontellt och vertikalt från vägskuldran.



Figur 10 Depositionen på de 24 passiva filtren uppställda längs mätsträckan. Ljusa staplar, södra sidan om vägen och mörka staplar, norra sidan.

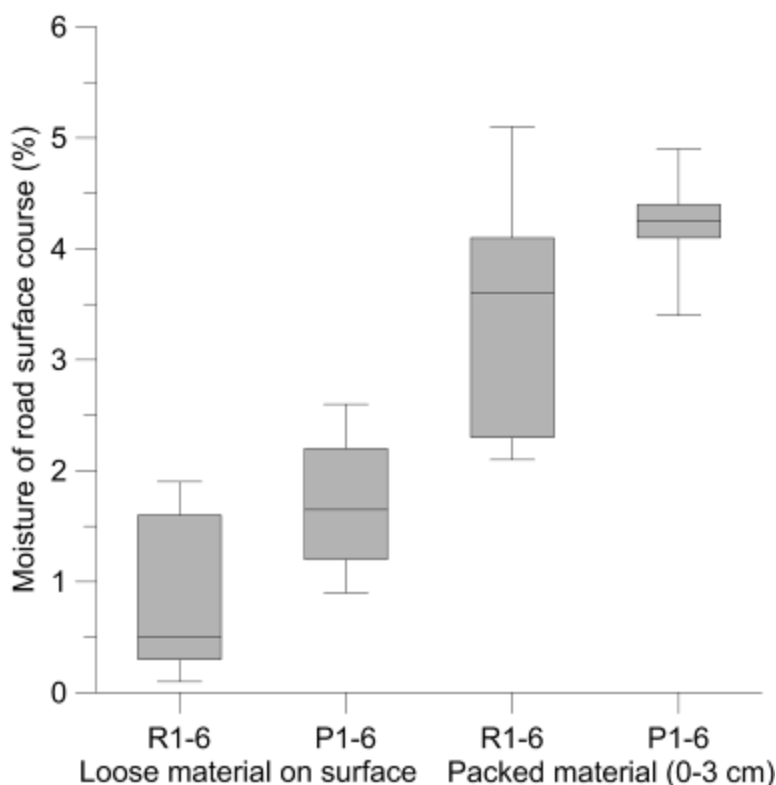
Deposition on the 24 passive filters along the test stretch, light bars were situated on the south side of the road and dark bars were situated on the north side of the road.

Även de passiva filtren visar att dammissionen inklusive spridningen till omgivningen i stort sett är högre längs de konventionellt byggda referenssträckorna (R1–R3 och R4–R6) än de askinblandade provsträckorna (P1–P6). Notera att ett filter på södra sidan om vägen vid mätpunkt P1 uppvisar noll deposition och att två filter (P2, södra sidan och P3, norra sidan) uppvisar negativa värden. Det finns naturligtvis ingenting som heter negativ deposition utan de proven säger snarare någonting om

osäkerheten hos metoden. De negativa värdena var -67 respektive -48, vilket är i storlekordningen som många av de positiva värdena.

3.2.3 Gruslitagelets fuktighetsgrad

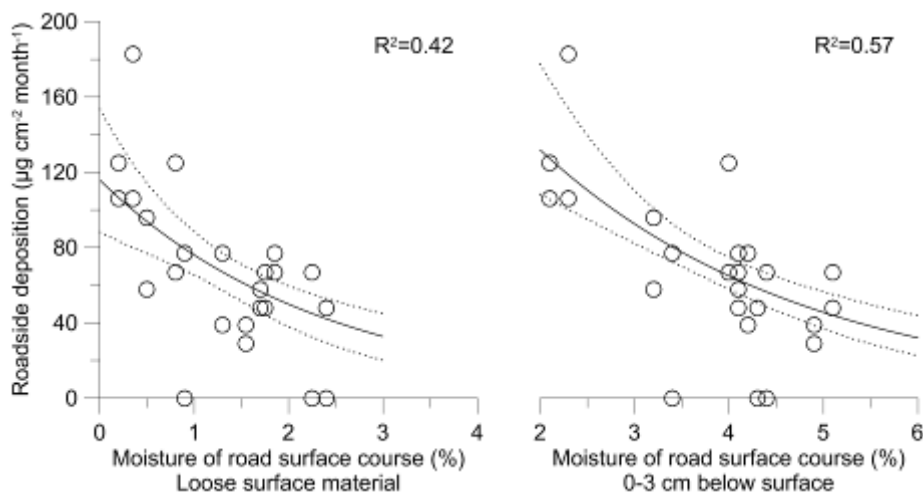
Gruslitagelets fuktighetsgrad bestämdes både på det lösa materialet ovanpå den packade vägytan samt på material från nivån 0–3 cm från vägytan i samtliga 12 provpunkter (Figur 11).



Figur 11 Boxplot över gruslitagelets fuktighetskvot (TS). Varje grupp av data representeras av en "låda" som rymmer den mittersta hälften av mätdata, ovanför och under "lådan" markeras max- och minvärdena och tvärs genom lådan anges medianvärdet med en linje.

Boxplot of the moisture of the surface course. Each group of data is represented of a "box" which contain the center half of the measured population. Above and below the "box" are the maximum and minimum values marked, and within the box is the median value marked with a line.

Fuktighetsgraden i både det lösa materialet (de två vänstra staplarna i Figur 11) och i gruslitagelets övre fasta lager 0–3 cm från ytan (de två högra staplarna i Figur 11) visar att gruslitagelet längs asksträckorna är mer fuktiga än motsvarande prov från de konventionellt byggda referenssträckorna. Relaterar man sedan fuktighetsgraden i gruslitagelet till depositionen i de passiva filtren finner man tydliga samband mellan såväl fukten i det lösa materialet på vägen som fukten i det packade gruslitagelet och massan av deponerat damm på de passiva filtren (Figur 12). Ju torrare väg, desto mer damm sprids det.



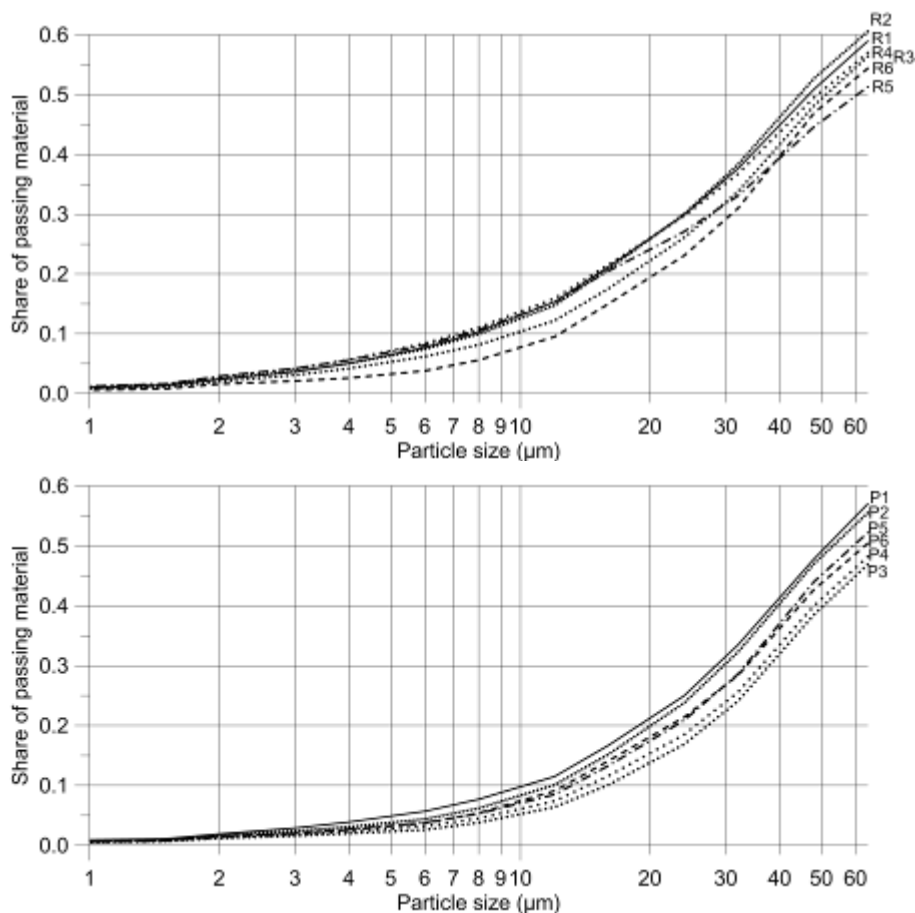
Figur 12 Gruslitagegens fuktighetsgrad och depositionen på de passiva provtagarna. Till vänster fuktighetsgraden hos det ytliga lösa gruslitageget och till höger fuktighetsgraden 0–3 cm från vägytan. Till respektive data har en exponentialfunktion kurvanpassats (heldragen linje). Prickad linje anger funktionens 95-procentiga konfidensintervall.

The roadside deposition as a function of the moisture of the road surface course. To the left, the moisture of the loose surface material on the road surface, to the right the moisture of the surface course material from 0 down to 3 cm depth. An exponential function is fitted to each data set (continuous line). The dotted line marks the 95% confidence interval of the functions.

När flygaskors damningsegenskaper testades [5], visade det sig att emissionspotentialen var exponentiellt beroende av vattenkvoten i askan. I det här fallet jämförs det material som dammats upp från vägen och avsatts på passiva filter intill vägen med gruslitagegens fuktighetsgrad, men även här tycks beroendet vara exponentiellt. Determinationskoefficienten (R^2) för funktionen som beskriver förhållandet mellan depositionen på de passiva filtren och vägens fukt är 0,42 för det lösa materialet och 0,57 för det packade (Figur 12). Anpassar man i stället en rät linje till respektive datamängd uppnår man R^2 -värden på 0,43 respektive 0,40.

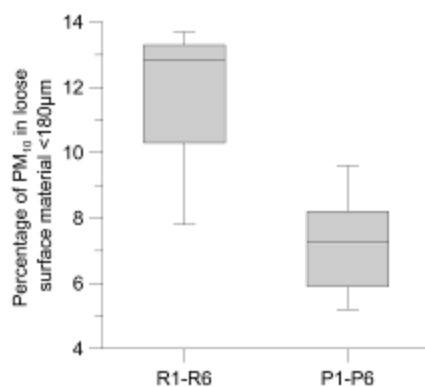
3.2.4 Gruslitagegens kornstorleksfördelning

Kornstorleksfördelningen bestämdes på ett av de insamlade proven från det löst liggande materialet i hjulspåren från alla tolv provpunkter, samt från ett prov taget ur en askhög vid vändplanen (nära 'D' i Figur 3). Fullständiga kornstorlekskurvor finns redovisade i bilaga A.2, men en inzoomning på storleken 1–64 μm finns i Figur 13.



Figur 13 Kornstorleksfördelningskurva $<180 \mu\text{m}</math> (inzoomad på 1–64 $\mu\text{m}</math>). Överst: provpunkterna R1–R6 från de konventionellt byggda provsträckorna, Nederst: provpunkterna P1–P6 från asksträckorna.$$

Det visar sig vid jämförelse av kornstorlekskurvorna (Figur 13) att provpunkterna längs referenssträckorna (övre diagrammet) håller en högre finkornshalt än provpunkterna längs asksträckorna (nedre diagrammet). Tar vi ut värdena vid $10 \mu\text{m}</math> och jämför dem (Figur 14) ser vi en tydlig skillnad som antagligen till stor del förklarar varför damningen är större längs referenssträckorna än längs asksträckorna.$



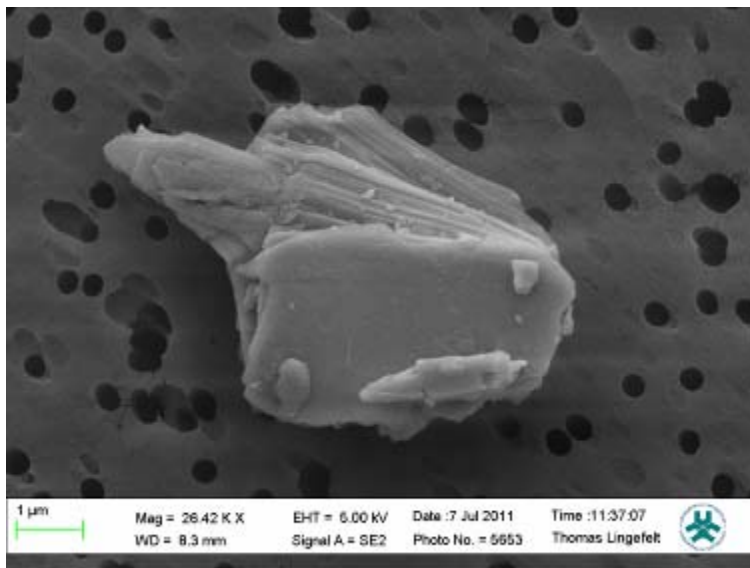
Figur 14 Andelen PM_{10} i det lösa materialet i hjulspår. R1–R6 är provpunkterna längs de konventionellt byggda sträckorna och P1–P6 är provpunkterna längs de sträckor som är byggda med aska i bärlagret.

3.2.5 Mätning och provtagning med DUSTERII

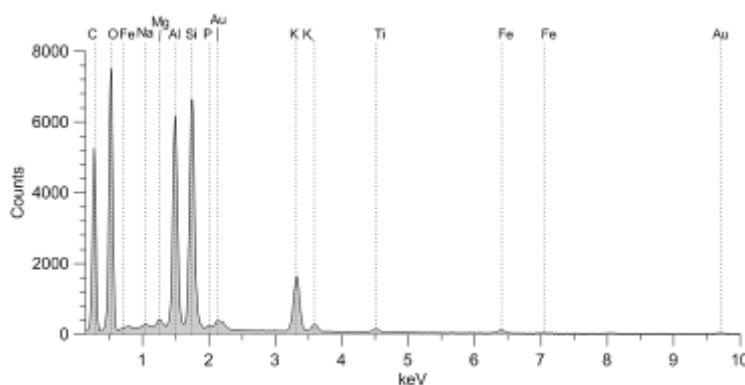
Även de punktvisa mätningarna med DUSTERII som genomfördes i respektive delsträckas mittpunkter (R2, P2, P5, R5) uppvisar högst dammhalt i punkten R5 (se bilaga A.8).

De insamlade filterproven från mätpunkt P2 och P5 samt från en askfläck vid vändplanen (vid 'D' i Figur 3) analyserades med elektronmikroskopiering (SEM & EDX) vid Linköpings Universitet. De eftersökta indikatorerna som föreslagits för att identifiera askpartiklar i damm är svavel, kvicksilver, kadmium och kvoten mellan magnesium och aluminium [5].

Filterproverna från mätpunkterna P2 och P5 innehöll inga partiklar som kunde tas för askrelaterade. Typiska partiklar uppvirvlade och insamlade med DusterII på asksträckornas grusslitlager (se exempel i Figur 15) innehåller kisel, aluminium, kalium, ibland kalcium och ibland järn (se vidare SEM-bilder och EDX-spektrum i bilaga A.3). De är ofta platta, flakiga och något kantiga till formen.

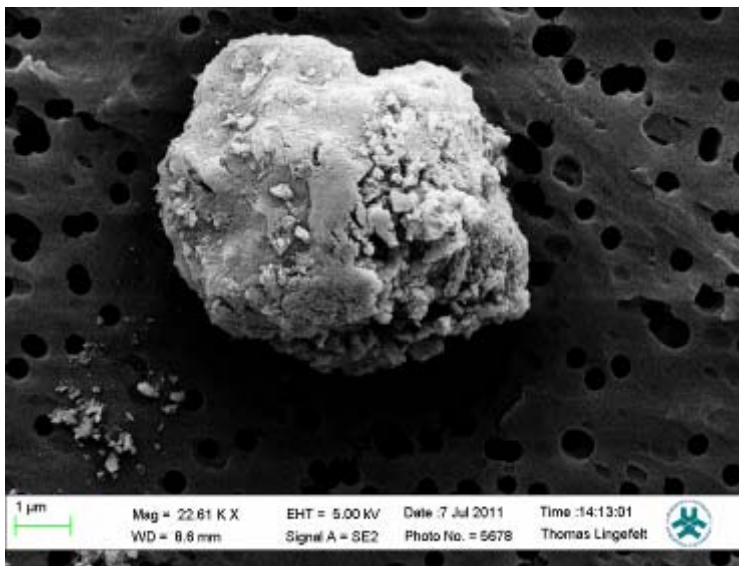


Figur 15 Exempel på en vanligt förekommande partikel i vägdammet på grusslitlagret, uppvirvlat och insamlat med DusterII.

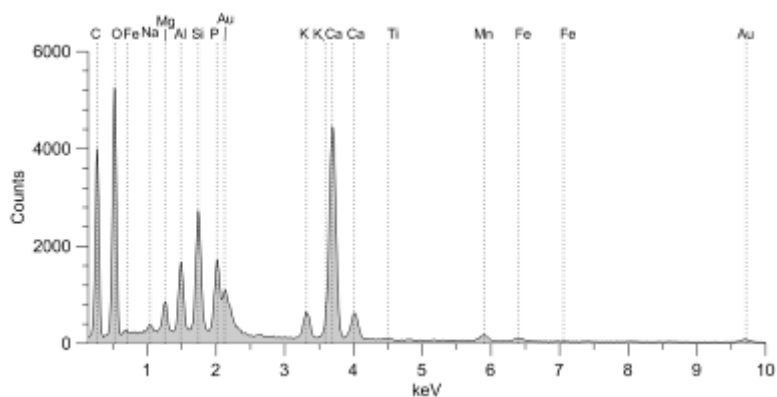


Figur 16 Exempel på ett typiskt EDX-spektrum, i detta fall från partikeln i Figur 15.

Typiska partiklar som är uppvirvlade och avsatta på filter från askfläcken vid vändplanen i Sörkrånge är mer rundade och aggregerade (se exempel i Figur 17). De innehåller liksom partiklarna från referenssträckorna ofta kisel, aluminium, kalcium, kalium och järn, men dessutom även fosfor och magnesium i en högre grad än partiklarna från referenssträckorna (se vidare SEM-bilder och EDX-spektrum i bilaga A.3).



Figur 17 Exempel på partikel uppdammad från askfläck vid vändplanen.



Figur 18 EDX-spektrum från partikeln i Figur 17

4 Resultatanalys

Forskningsprojektet bygger på fältstudier av damning från dels en konventionellt konstruerad grusväg, dels en grusväg där bärlagret är konstruerat med aska. För att få trovärdiga resultat gäller det att de båda sträckningarna är så jämförbara som möjligt. Detta var inte fallet med den första fältlokalen som valdes, men däremot var den andra fältlokalen, i Sörkrånge utanför Timrå, väl lämpad som studieobjekt då den utgörs av en och samma skogsbilväg som är uppdelad i olika delsträckor som konstruerats olika, men därefter är lika behandlade. Det gör att det handlar om samma trafikbelastning på alla delsträckor, samma väderförhållanden och även omgivningen är någorlunda likartad längs hela sträckningen. Dessutom skiljer sig inte drift och underhållsåtgärderna längs delsträckorna, något som visat sig vara avgörande för damningsresultaten, vilket framkom mycket tydligt vid den första fältlokalen i Börje utanför Uppsala.

De provsträckor som preparerats med flygaska i bärlagret uppvisar i det här projektet upp mindre damning än referenssträckorna som bestod av konventionell grusvägskonstruktion, utom i det fall där vägarna behandlats olika vad gäller dammbindning. En väl dammbunden grusväg dammar mindre än en dåligt dammbunden grusväg som dammar mindre än en icke dammbunden grusväg, sannolikt helt oberoende av den underliggande konstruktionen.

Damningsegenskaperna, såväl från de mobila mätningarna som från de passiva filtren vid sidan om vägen, visade sig, icke förvånande, vara korrelerat till fuktighetsgraden i slitlagret, såväl det lösa materialet ovanpå slitlagret, som de översta tre centimetrarna av grusslitlagrets packade del. Dessutom visade det sig andelen partiklar under $10\ \mu\text{m}$ i det lösa materialet vara större på de konventionellt konstruerade sträckorna än på asksträckorna. Hur orsakssambanden ser ut är inte lätt att avgöra utifrån den här studien, men det är nog en tänkbar hypotes att askinblandningen i bärlagret hållit detta fuktigare vilket avspeglar sig i fuktighetsgraden i grusslitlagret och därför har det finkorniga materialet inte lösgjorts och blivit damningsbenäget längs asksträckorna, så som det blivit längs referenssträckorna. Å andra sidan vet vi inte om fukten i slitlagret är påverkat av fukt uppifrån atmosfären eller fukt nerifrån vägkroppen, eller både och.

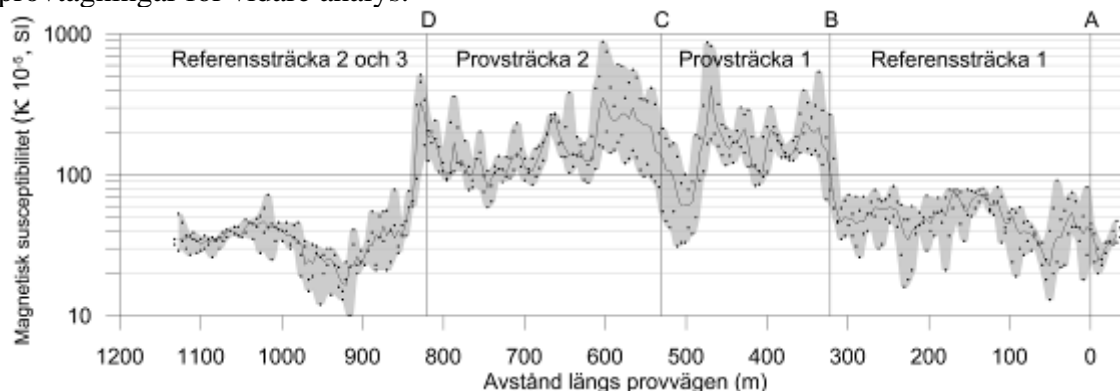
Mätpunkterna längs prov- och referenssträckorna valdes utifrån att de skulle vara så lika varandra som möjligt (se terrängmodellen i Figur 2 och jämförande foton i bilaga A.1), trots detta finns förstås risken att solinstrålning och vindförhållanden ändå har varierat längs sträckningen och påverkat grusslitlagrets upptorkningsförhållanden.

Fältmätningarna genomfördes under hösten (8–9 september) vilket kan ha betydelse för resultaten då betydelsen av fuktutfällning från luften på grusslitlagret kan vara av annan storleksordning än under vår och försommar, då även kvarvarande fukt i vägkroppen från vintersäsongen sannolikt spelar in i grusslitlagrets fuktighetsmönster.

Ett annat förhållande av vikt för tolkningen av resultaten är att den utvalda provvägen i Sörkrånge är relativt nykonstruerad. Försöken utfördes endast drygt ett år efter att vägen färdigställts. Det är inte osannolikt att resultaten skulle komma att se annorlunda ut efter ett antal års trafikering och drift- och underhållsåtgärder. Asklagrets fukthållande

egenskaper kommer troligen att förändras allteftersom det härdar och vägen åldras. Vilken betydelse det kommer att ha för den framtida damningen är okänd, men bör följas. Sannolikt motverkas en eventuell ökad risk för damning relativt enkelt med hjälp av en väl avvägd dammbindningsstrategi.

Ingen spridning av askpartiklar kunde spåras med hjälp av filterprov från uppvirvlat damm från grusslitlagret vid asksträckorna. Att stickproven som filterprovtagningen representerar inte kunde påvisa aska uppvirvlat från grusslitlagret kan inte anses förvånande för en så här pass ung konstruktion med en så låg trafikarbetsbelastning som vägen i Sörkrånge har. Frågan är hur processerna med grusslitlagrets nedbrytning och askans eventuella upptransport genom grusslitlagret ser ut, och hur lång tid de tar. En mätning av magnetiserbarheten längs provvägen i Sörkrånge (Figur 19) antyder att mäktigheten hos grusslitlagret som överlagrar (det mer magnetiserbara) asklagret är ojämn, alternativt att det har blandats upp med askan i olika grad längs sträckningen. Mätning av grusslitlagrets magnetiserbarhet kan sannolikt användas i syfte att finna punkter/sträckor där aska riskerar ha nått upp till vägytan [10] och där utföra gängse provtagningar för vidare analys.



Figur 19 Magnetiserbarheten längs vägen i Sörkrånge, mätt från vägytan (figuren ur [10])

The magnetic susceptibility of the test road in Sörkrånge (from [10]).

Slutligen måste konstateras att denna studie i stort sett bygger på endast ett fall där man inte vet hur representativt det är för askvägar i allmänhet, i synnerhet inte för mogna askvägar som stabiliserat sig och uppnått den härdningsgrad de ska ha.

5 Slutsatser

Man kan från den här undersökningen inte dra slutsatsen att grusvägar konstruerade med aska i bärlagret dammar mer än konventionella grusvägar. Resultaten tyder på att askvägar dammar mindre än konventionella grusvägar och att detta antagligen är en följd av att det lösa materialet i hjulspåren innehåller mindre andel PM10 vilket i sin tur kan vara orsakat av att grusslitlagret över det askinblandade bärlagret hållits fuktigare än över det konventionella bärlagret utan aska.

6 Rekommendationer och användning

Resultaten från detta projekt tyder på att aska i bärlagret hos grusvägar snarare förbättrar än försämrar damningsegenskaperna hos grusvägen. Viktigare än konstruktionstypen tycks dock dammbindning av grusslitlagret vara, varför en dammbindningsstrategi rekommenderas för grusvägen, oavsett om den är konstruerad med aska eller inte. Möjligen kan en askväg fordra en annan dammbindningsstrategi än en konventionell grusväg, med möjligheter till reducerade insatser och därmed följande minskad miljöbelastning.

7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Kopplingen mellan damning, grusslitlagrets fuktighetsgrad och andelen uppvirvingsbara partiklar i grusslitlagrets lösa material är uppenbar utifrån resultaten i denna undersökning. Hur orsaksambanden ser ut dem emellan är däremot inte självklart. En hypotes kan vara att askinblandningen i bärlagret hållit detta fuktigare vilket avspeglar sig i fuktighetsgraden i grusslitlagret och därför har det finkorniga materialet inte lösgjorts och blivit damningsbenäget längs asksträckorna, så som det blivit längs referenssträckorna. Detta är dock endast en hypotes och behöver testas i fortsatt forskning.

Då detta projekt endast utfört mätning av damning under hösten rekommenderas att jämförelser görs med damning under fler årstider, vår/försommar och högsommar. Det mobila mätsystemet som nu är uppgraderat med koppling till koordinater har effektiviserat arbetssättet vilket gör det lämpligt som verktyg för övervakning av damningsomfattningen.

Då detta projekt bygger på resultat från en relativt ung anläggning rekommenderas att jämförelser görs med objekt av varierande åldrar.

Då dammbindningsåtgärder indikerats vara av större vikt för damningsegenskaperna än konstruktionstypen i sig, men

8 Litteraturreferenser

1. Edvardsson, K.; "Evaluation of Dust Suppressants for Gravel Roads: Methods Development and Efficiency Studies", Doctoral Thesis in Civil and Architectural Engineering, TRITA-VBT 10:05, KTH Architecture and the Built Environment, Stockholm, 2010.
2. Mácsik, J.; "Flygaska som förstärkningslager i grusväg", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 949, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Januari 2006.
3. Gustafsson, M., Blomqvist, G. och Wik, O.; "Damning från grusväg delvis uppbyggd av aska", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 963, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Mars 2006.
4. Munde, H., Svedberg, B., Mácsik, J., Maijala, A., Lahtinen, P., Ekdahl, P. och Néren, J.; "HANDBOK Flygaska i mark- och vägbyggnad, Grusvägar", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 954, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Januari 2006.
5. Gustafsson, M., Wik, O. och Frogner-Kockum, P.; "Partikelspridning vid byggnation av väg med aska - modellöversikt, undersökning av fuktighetsgradens betydelse för damning och karaktärisering av partiklar från flygaska", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 1100, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Mars 2009.
6. Oscarsson, K.; "Dust Suppressants for Nordic Gravel Roads", Licentiate Thesis in Highway Engineering, TRITA-VT FR 07:02, KTH Architecture and the Built Environment, Stockholm, 2007.
7. Etyemezian, V., Nikolich, G., Ahonen, S., Pitchford, M., Sweeney, M., Purcell, R., Gillies, J. och Kuhns, H., 2007 "The Portable In Situ Wind Erosion Laboratory (PI-SWERL): A new method to measure PM₁₀ windblown dust properties and potential for emissions". Atmospheric Environment, 2007. 41(18): p. 3789-3796.
8. Vestin, J., Arm, M., Nordmark, D., Hallgren, P., Tiberg, C., Lagerkvist, A. och Lind, B.; "Effektivt askutnyttjande i vägar", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 1169, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Januari 2011.
9. Ferm, M.; "Use of passive samplers in connection with atmospheric corrosion studies", International workshop on atmospheric corrosion and weathering steels, Cartagena de Indias, Colombia, Sept 27-Oct 1 2004.

10. Blomqvist, G., Bertilsson, R. och Wik, O.; "Magnetiserbarhet - avgränsning och tillståndskartering för askkonstruktioner", Askprogrammet, Rapport (under produktion), Värmeforsk Service AB, Stockholm, 2011.
11. Bjurström, H., Grönstedt, S. och Shamsa, S.; "Förvaltning av databasen Allaska under 2009", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Orientering 129, Värmeforsk Service AB, Stockholm, November 2010.

Bilagor

A Fältlokalen i Sörkrånge

A.1 Fotobilaga

De tolv mätplatserna där prov togs enligt Tabell 1 illustreras i följande figurer. Viktiga faktorer som påverkar damningsförhållandena är omgivande vegetation och skuggningsgrad.



Mätpunkt R1 (kl 13.43, mot väster). Vägen sträcker i 87° orientering vid mätplatsen.



Mätpunkt R2 (kl 13.52, mot väster). Vägen sträcker i 91° orientering vid mätplatsen.



Mätplats R3 (kl 14.00, mot väster). Vägen sträcker i 113° orientering vid mätplatsen.



Mätplats P1 (kl 14.07, mot väster). Vägen sträcker i 136° orientering vid mätplatsen.



Mätplats P2 (kl 14.15, mot väster). Vägen sträcker i 110° orientering vid mätplatsen.



Mätplats P3 (kl 14.28, mot väster). Vägen sträcker i 83° orientering vid mätplatsen.



Mätplats P4 (kl 14.35, mot väster). Vägen sträcker i 121° orientering vid mätplatsen.



Mätplats P5 (kl 14.46, mot väster). Vägen sträcker i 99° orientering vid mätplatsen.



Mätplats P6 (kl 14.51, mot väster). Vägen sträcker i 124° orientering vid mätplatsen.



Mätplats R4 (kl 15.09, mot väster). Vägen sträcker i 132° orientering vid mätplatsen.



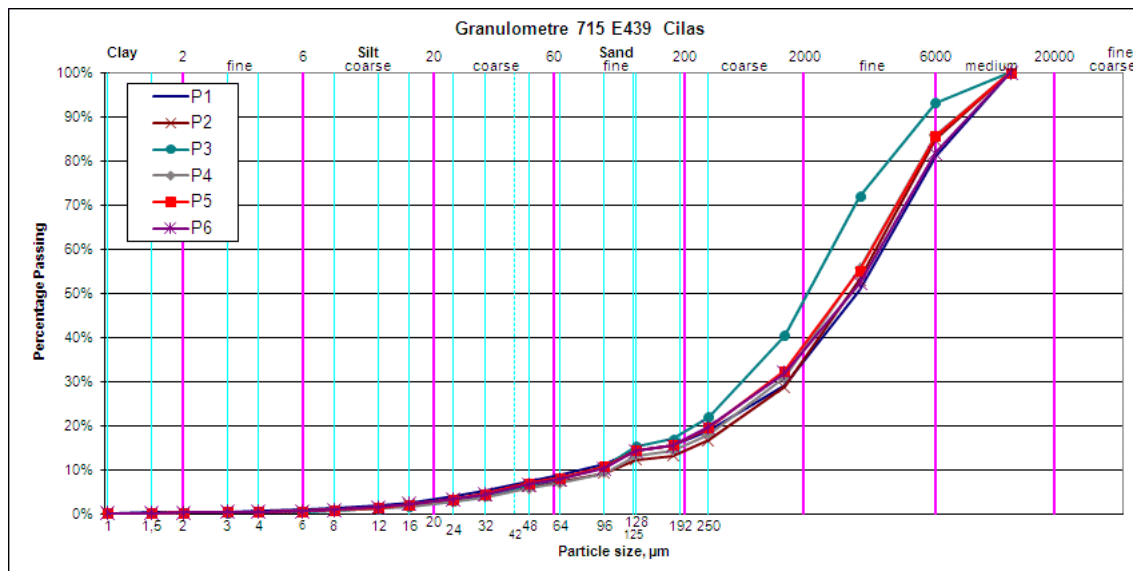
Mätplats R5 (kl 15.23, mot öster). Vägen sträcker i 129° orientering vid mätplatsen.



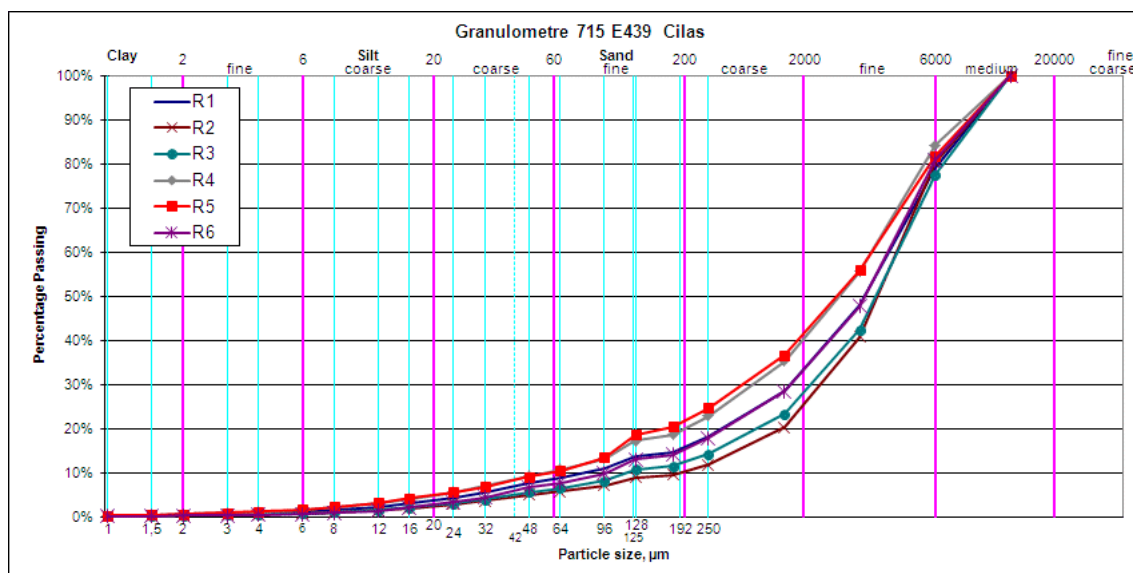
Mätplats R6 (kl 15.21, mot öster). Vägen sträcker i 132° orientering vid mätplatsen.

A.2 Kornstorleksfördelningar hos grusslitlagret och askan

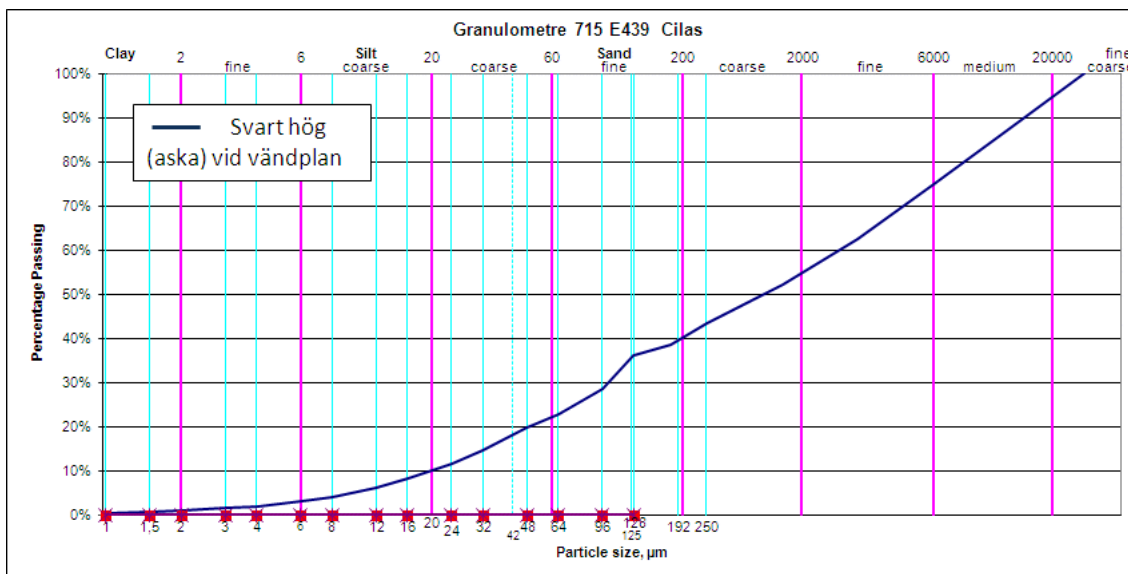
Proven av det lösa grusslitlagret (se kapitel 2.1.7) analyserades med avseende på materialets kornstorleksfördelning med hjälp av lasergranulometri. Profilerna redovisas nedan.



Kornstorleksfördelning för proverna tagna längs askvägen (P1–P6).



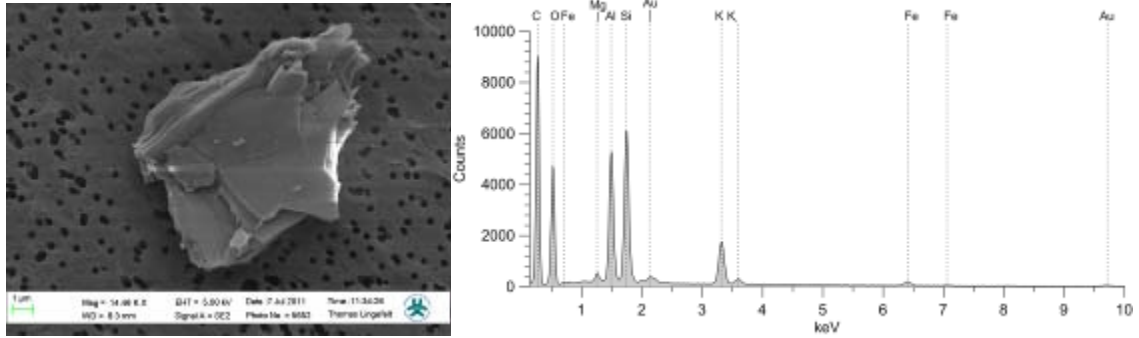
Kornstorleksfördelning för proverna tagna längs referenssträckorna (R1–R6).



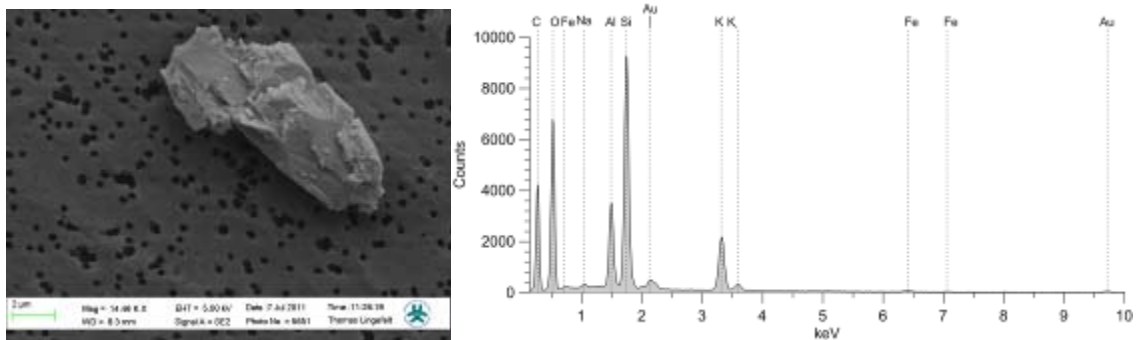
Kornstorleksfördelning för prov ur "askhögen" vid vändplanen längs Sörkrånge provväg.

A.3 Elektronmikroskopiering

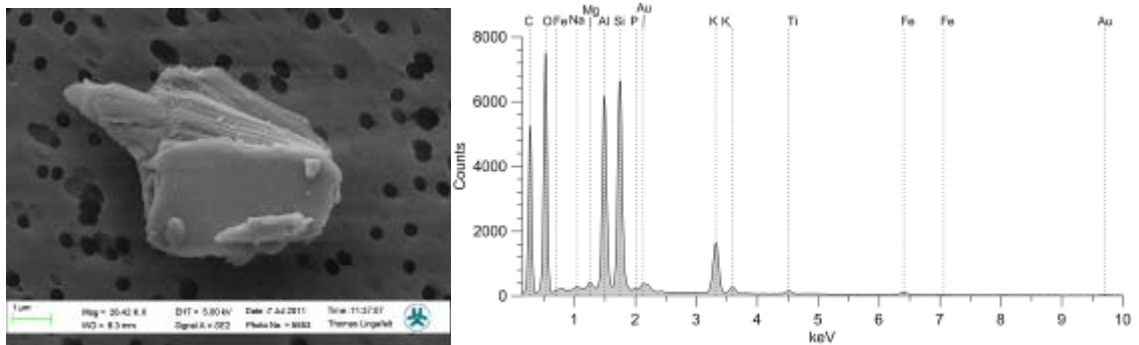
Partiklar från provyta P2 i Sörkrånge



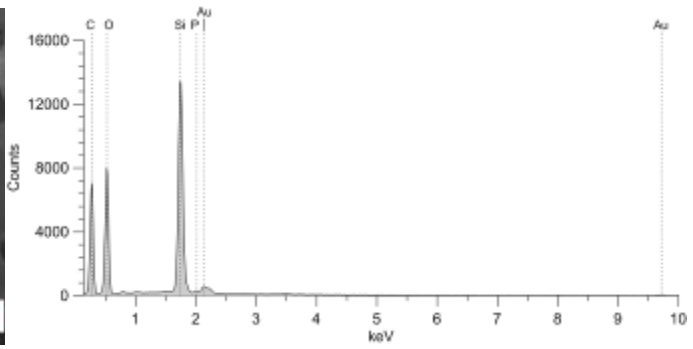
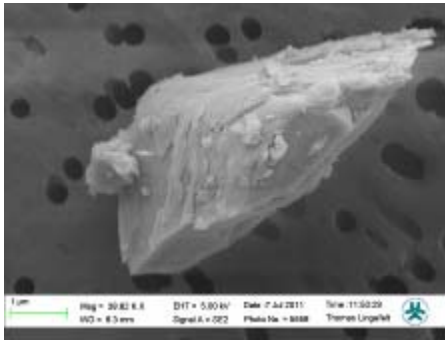
Spektrum 58



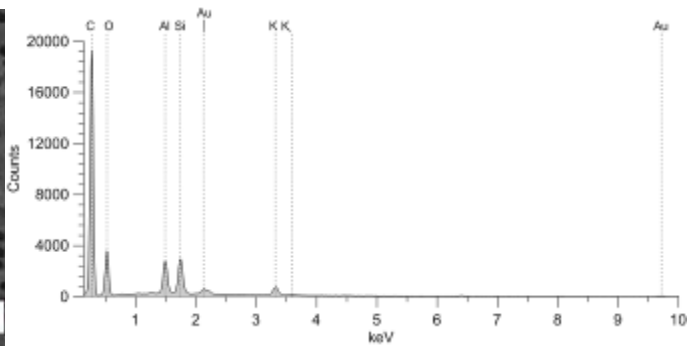
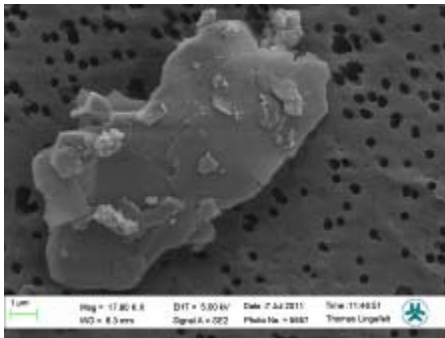
Spektrum 59



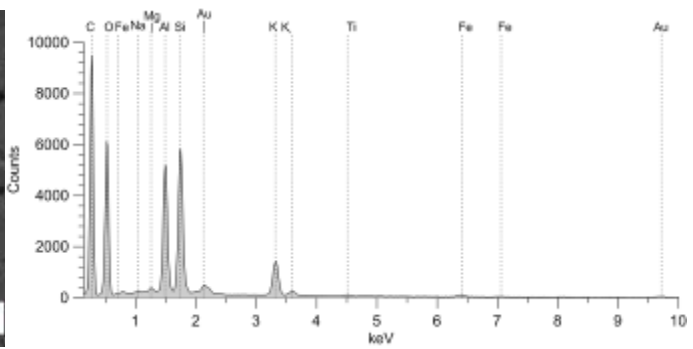
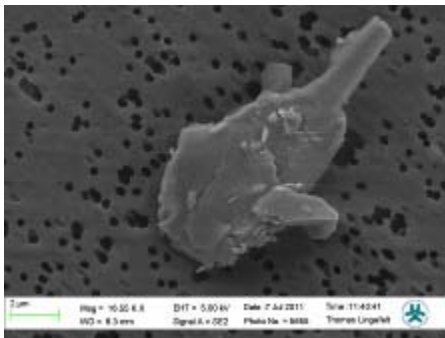
Spektrum 60



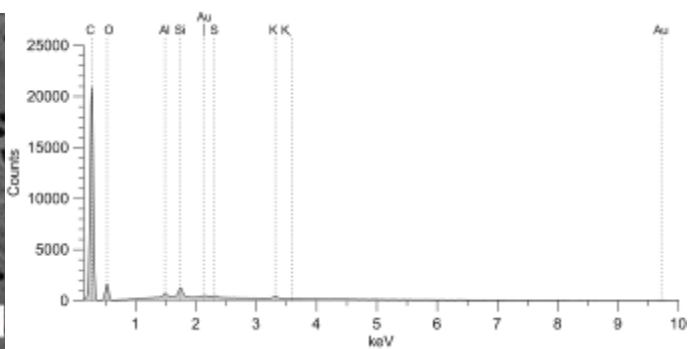
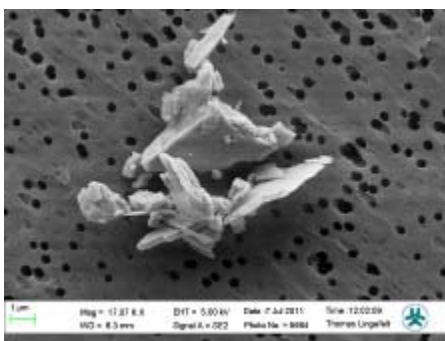
Spektrum 61



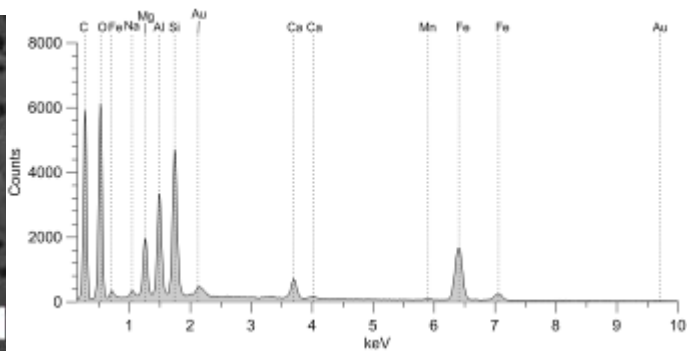
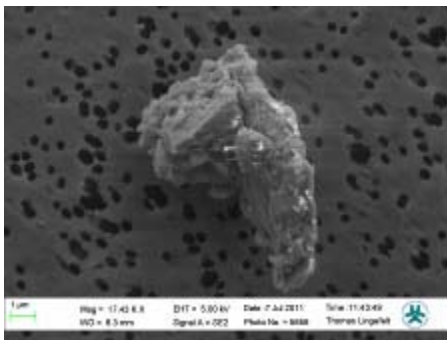
Spektrum 62



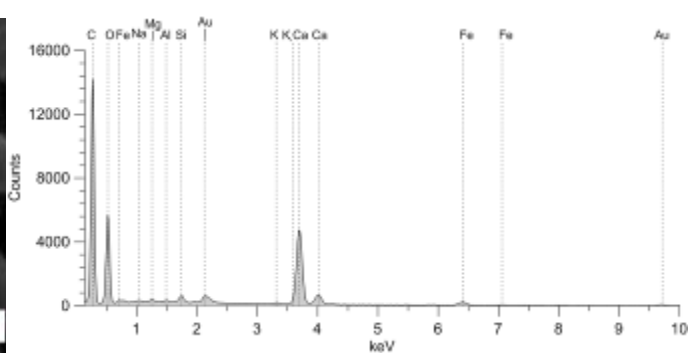
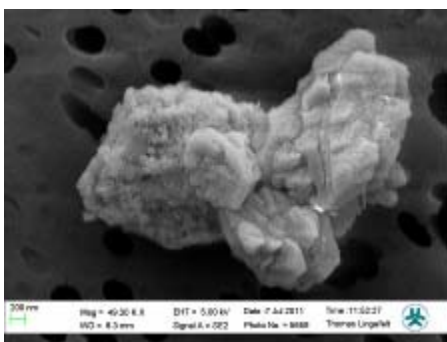
Spektrum 63



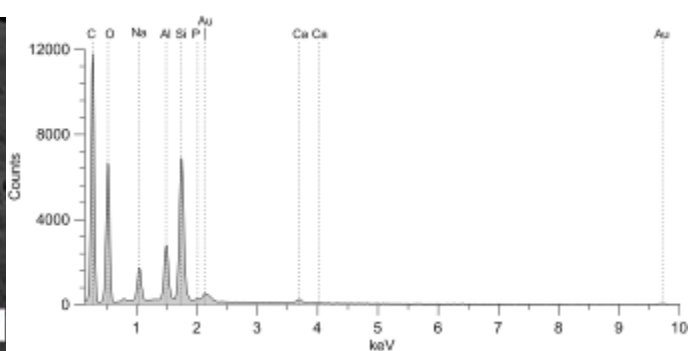
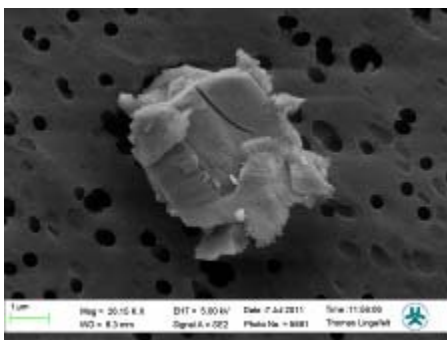
Spektrum 64



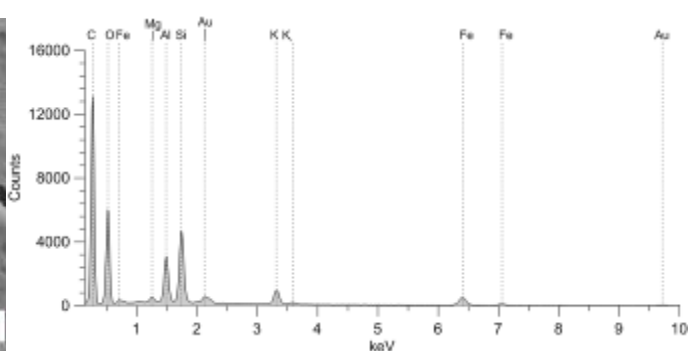
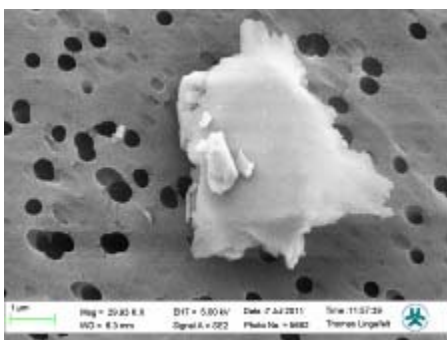
Spektrum 65



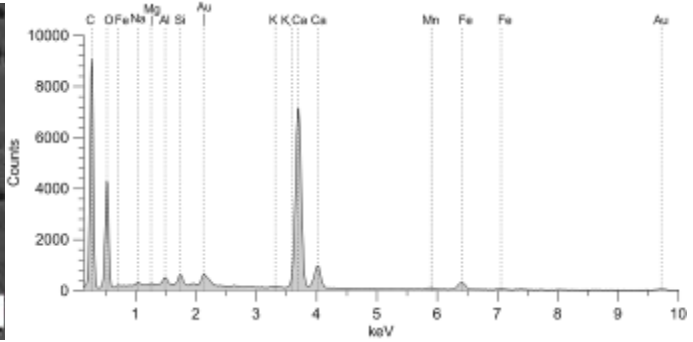
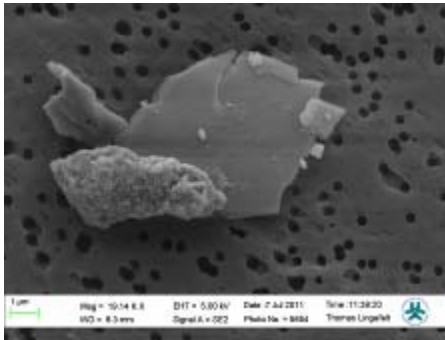
Spektrum 66



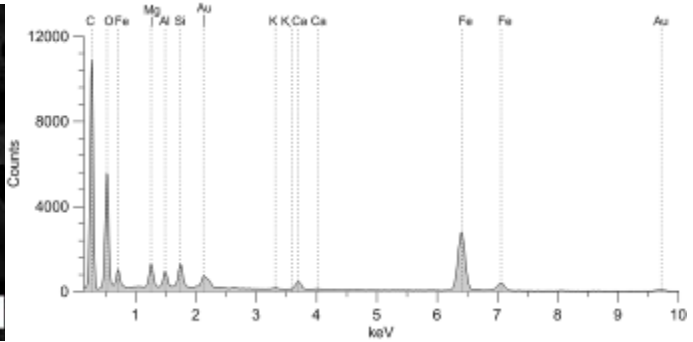
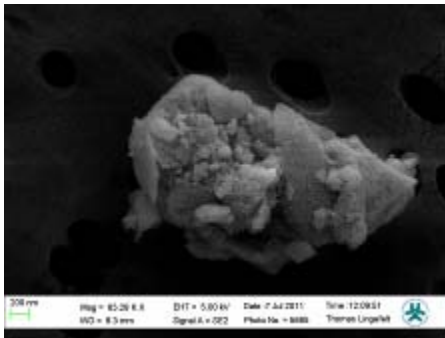
Spektrum 67 (Kolla efter kobolt ca 0.77)



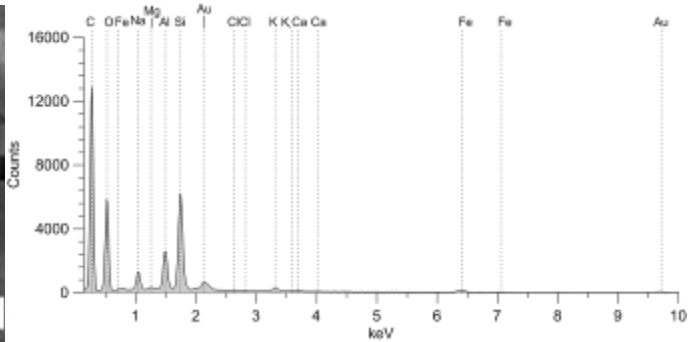
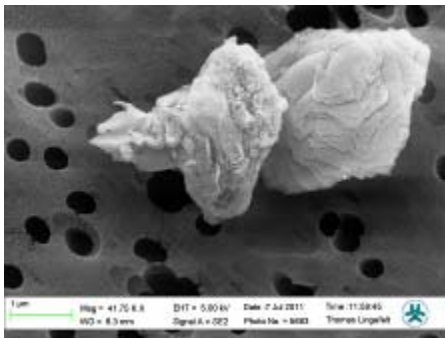
Spektrum 68



Spektrum 69

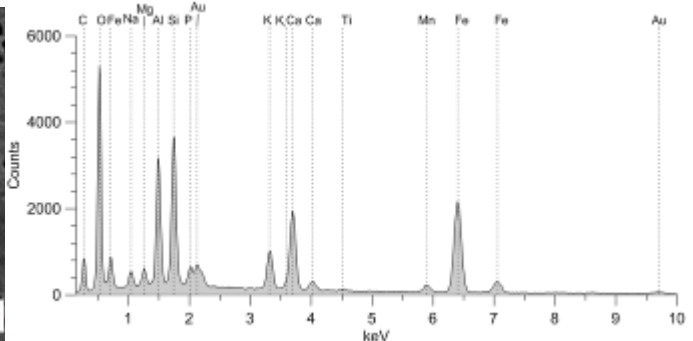
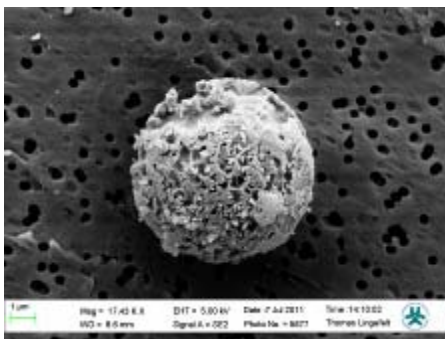


Spektrum 70

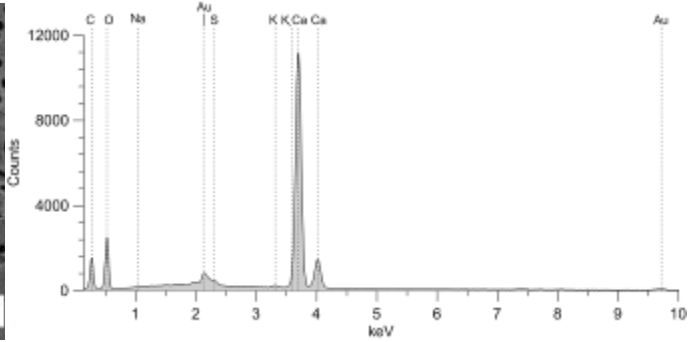
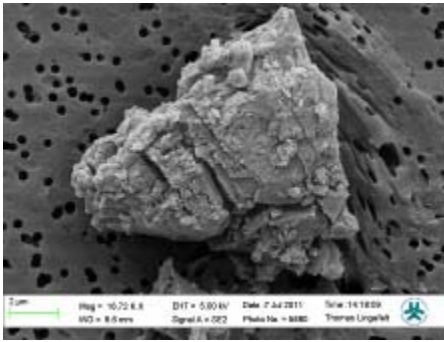


Spektrum 71

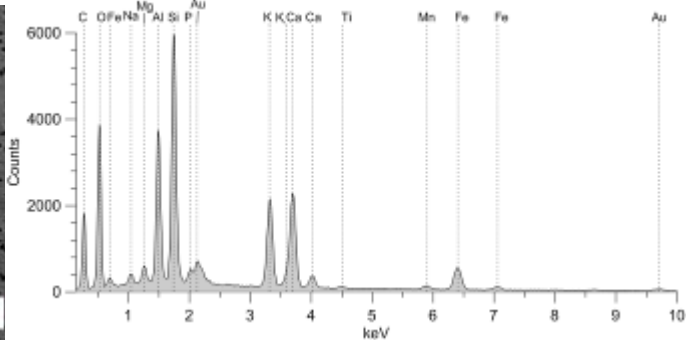
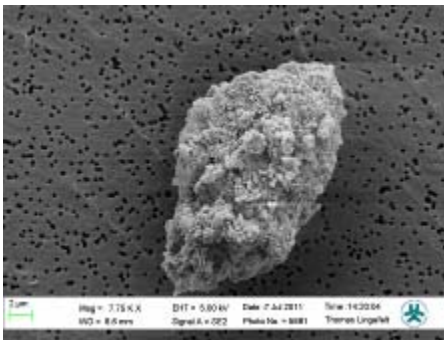
Partiklar från en misstänkt askfläck vid vändplan



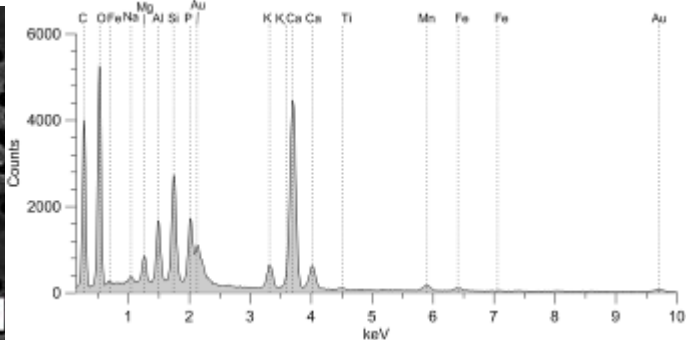
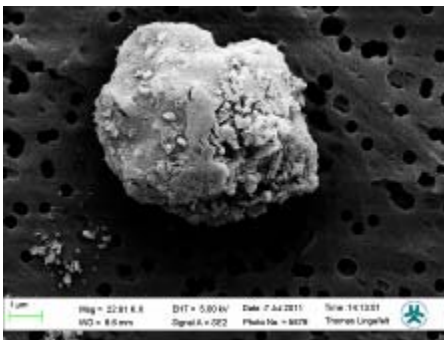
Spektrum 114



Spektrum 119



Spektrum 120



Spektrum 115

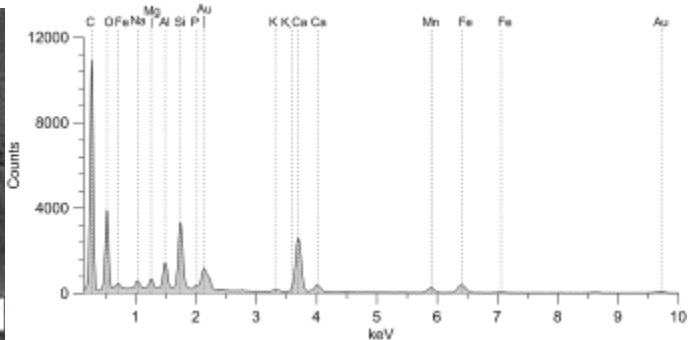
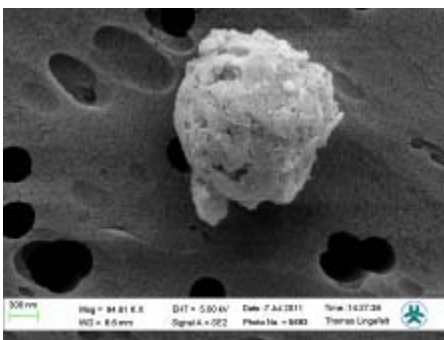


Bild 17, spektrum 144

A.4 Flygaskornas egenskaper, fältlokal Börje

Askan i Börje fältlokal kommer från Uppsala Energi. Ett uttag ur databasen "Allaska" [11], ger följande analysvärden:

Uppgift	Enhet	Antal	Median	Medel	Min	Max	StdAv
Al ₂ O ₃	% TS	10	4,33	4,08	1,93	5,48	1,06
As	mg/kg TS	6	27	33,2	15	72	19,8
B	mg/kg TS	6	150	148	100	185	27,2
Ba	mg/kg TS	2	541	541	529,2	552	16,1
Be	mg/kg TS	1	0,825	0,825	0,825	0,825	0
C	% TS	1	2	2	2	2	0
CaO	% TS	11	25,8	27,4	7,9	52,6	12,9
Cd	mg/kg TS	5	1,4	1,7	1	2,6	0,794
Cl	% TS	7	0,071	0,0981	0,03	0,24	0,0801
Co	mg/kg TS	1	1,8	1,8	1,8	1,8	0
Cr	mg/kg TS	2	25,3	25,3	11,9	38,7	19
Cu	mg/kg TS	7	51,5	47,1	34	62	11,7
Fe ₂ O ₃	% TS	10	10,2	11	3,89	20,02	4,59
H	% TS	1	0,4	0,4	0,4	0,4	0
Hg	mg/kg TS	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0
K ₂ O	% TS	10	0,51	0,56	0,21	0,96	0,205
LOI, 1000 °C	% TS	4	6,95	8,35	5,2	14,3	4,24
LOI, 550°C	% TS	1	0	0	0	0	0
MgO	% TS	10	7,94	8,15	2,92	14,53	3,89
MnO	% TS	5	0,188	0,174	0,0886	0,23	0,0558
MnO ₂	% TS	4	0,265	0,255	0,22	0,27	0,0238
Mo	mg/kg TS	2	12,4	12,4	11,9	13	0,778
Na ₂ O	% TS	10	0,27	0,265	0,13	0,38	0,0907
Ni	mg/kg TS	2	24,4	24,3	13,7	35	15,1
N-tot	% TS	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0
P ₂ O ₅	% TS	10	1,21	1,14	0,46	1,52	0,362
Pb	mg/kg TS	6	59,5	62	52	85	11,8
S	mg/kg TS	8	10700	13000	5600	25100	7320
Sc	mg/kg TS	1	3,32	3,32	3,32	3,32	0
SiO ₂	% TS	10	25,2	26,5	10,5	46,86	9,78
Sr	mg/kg TS	2	370	370	259,2	480	156
TiO ₂	% TS	5	0,14	0,147	0,1	0,239	0,0555
TOC	% TS	1	2	2	2	2	0
TS-halt	% TS	3	100	100	99,2	99,9	0,361
V	mg/kg TS	3	45,2	58,9	31,6	100	36,2
Y	mg/kg TS	1	13,3	13,3	13,3	13,3	0
Zn	mg/kg TS	7	200	291	133,2	907	273
Zr	mg/kg TS	2	55,8	55,8	42,4	69,2	19

A.5 Flygaskornas egenskaper, fältlokal Sörkrånge

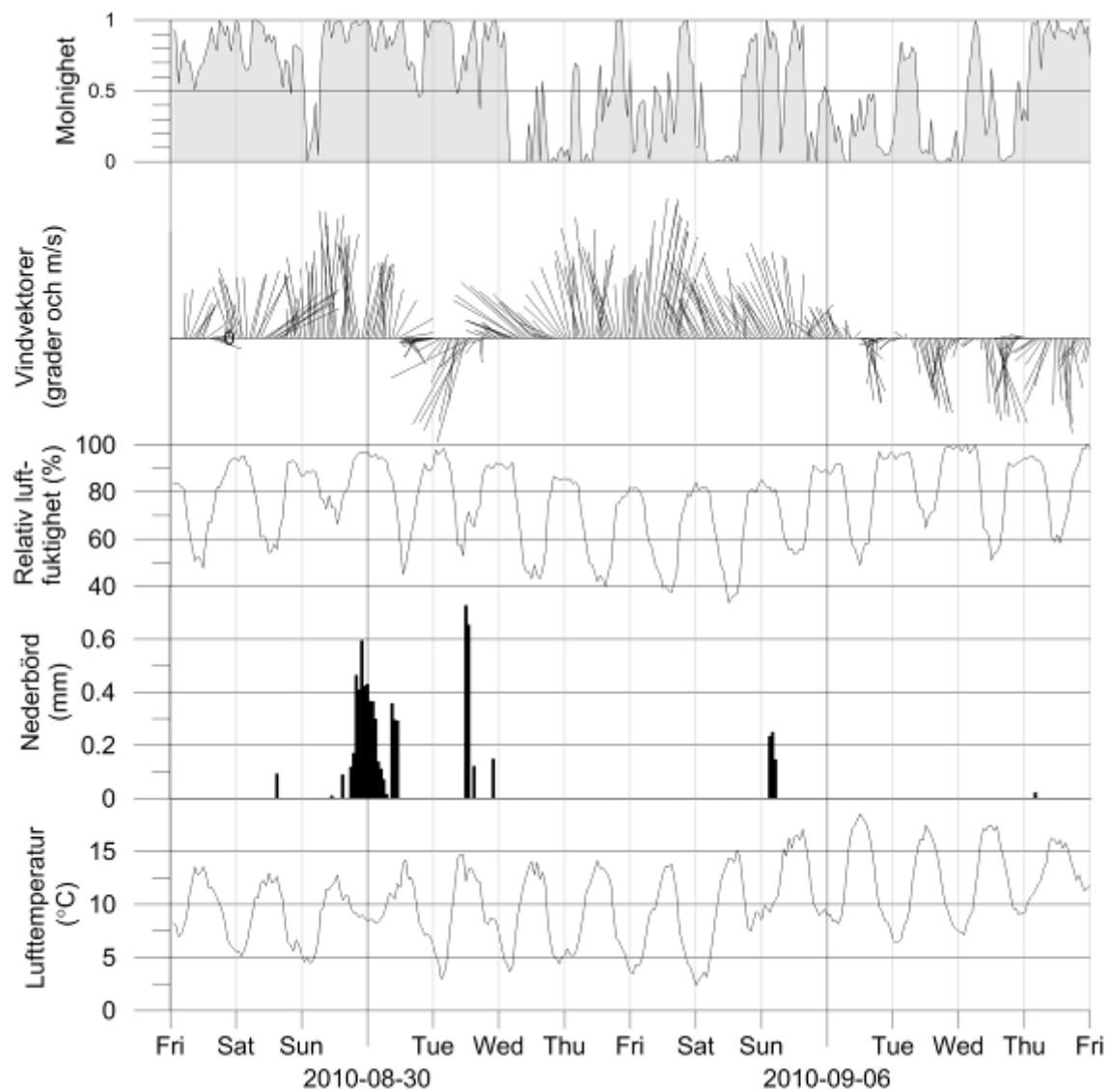
Askan i Sörkrånge fältlokal kommer från Ortvikens pappersbruk. Vestin mfl [8] rapporterar följande analyser för askans innehåll:

Element	Totalhalt
Enhet	g/kg
Si	110±1
Al	56,8±0,6
Fe	44,4±3,6
Ca	255±3
Na	8,43±0,11
K	29,7±0,8
Mg	12,8±0,1
Ti	1,40±0,04
S	20,7±1
P	13,4±0
Mn	11,5±0

Enhet	mg/kg
As	<3,15
Ba	2630±30
Cd	3,94±0,32
Co	10,17±0,56
Cr	58,2±6,7
Cu	76,3±3,5
Hg	0,147±0,001
Mo	<6
Ni	42,9±1,7
Pb	31,1±1,0
Sb	-
Sn	28,2±7,2
Sr	650±7
V	25,5±0,8
W	<60
Y	8,02±0,27
Zn	2130±50
Zr	81,0±4,9

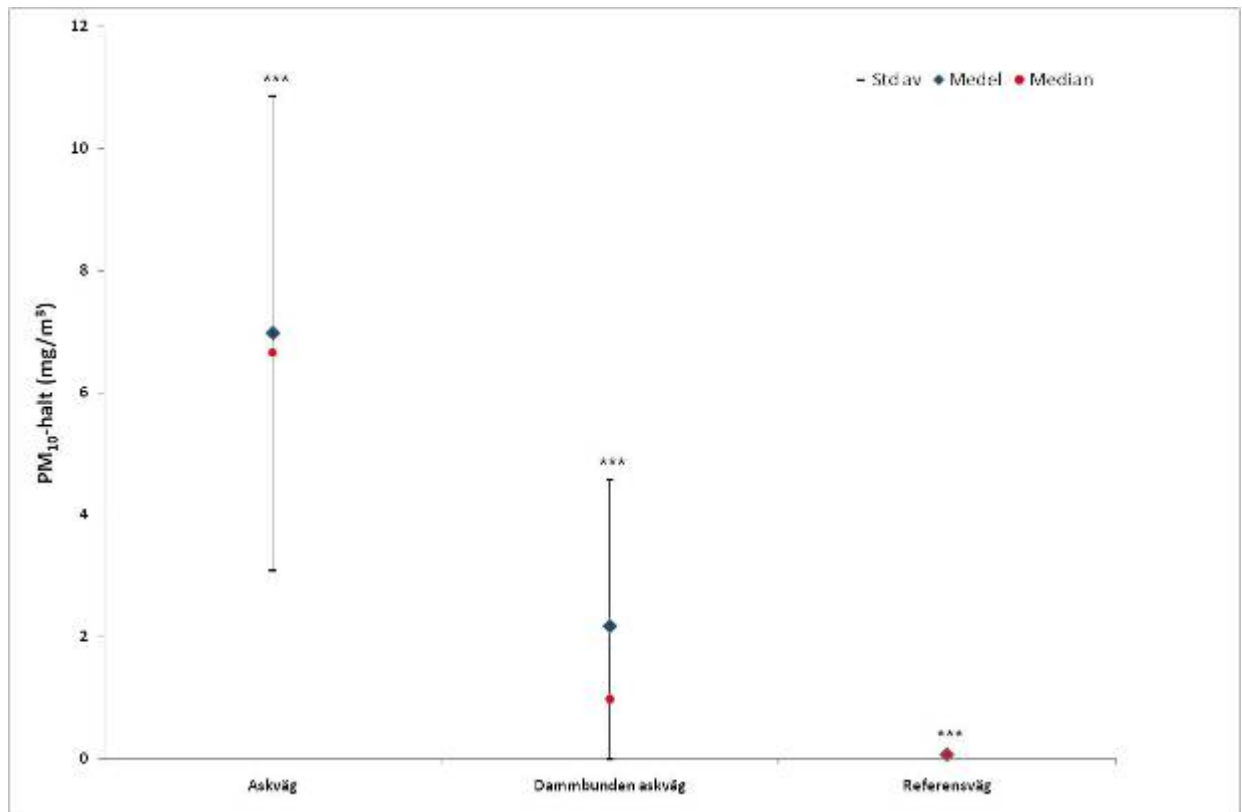
A.6 Vädersituationen vid Sörkrånge

Väderdata kommer från SMHI:s mesoskaliga väderanalys – MESAN.



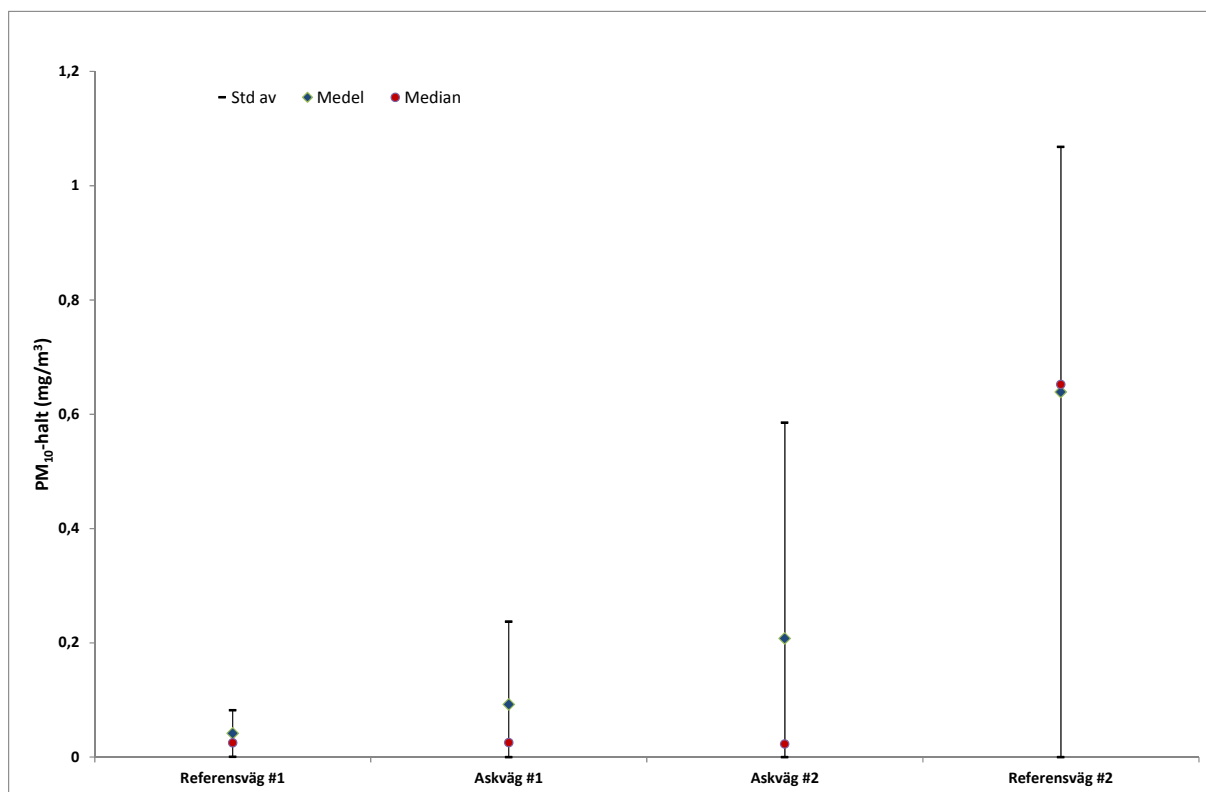
Väderdata från MESAN-systemet.

A.7 Resultat från mobila damningsmätningar i Börje



Resultat från mobil partikelmätning med DustTrak gjord 6/8-2010. *** markerar signifikant (95% nivå) skillnad mellan medelvärden för de olika sträckkorna enligt variansanalys (anova).

A.8 Resultat från DUSTERII-mätningar i Sörkrånge



Referensväg #1 motsvarar mätpunkt R2,
Askväg #1 motsvarar mätpunkt P2,
Askväg #2 motsvarar mätpunkt P5 och
Referensväg #2 motsvarar mätpunkt R5.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35