

Skogsbilvägsrenovering av Ehnsjövägen, Hallstavik

Josef Mácsik och Bo Svedberg

Skogsbilvägsrenovering av Ehnsjövägen, Hallstavik

Gravel road stabilisation of Ehnsjövägen, Hallstavik

Josef Mácsik och Bo Svedberg

Q4-285

Förord

Flygaska baserad på biobränsle uppvisar goda tekniska egenskaper för nyttiggörande i väg- och anläggningsbyggnad. Detta material är också ekonomiskt konkurrenskraftigt och miljömässigt. Rapporten beskriver laboratorie- och fältundersökningar utförda på flygkastabiliserat grus i bär-/ och förstärkningslager på en skogsbilväg.

Arbetet med rapporten utfördes av Josef Mácsik och Bo Svedberg (Ecoloop AB). Laboratorieundersökningar och utvärdering utfördes av Aino Maijala och Pentti Lahtinen (Ramböll). Fallviktsmätningen utfördes av VTI och resultaten utvärderades av Peter Ekdahl och Eva-Maria Persson (Ramböll).

Projektet har finansierats av Holmen Paper Hallstavik, Holmen Paper Skog och av Värmeforsk.

2005-11-30
Josef Mácsik
Ecoloop AB

Abstrakt

Holmen Paper Hallstavik genomför idag ett antal olika arbeten som syftar till att minska mängden flygaska som deponeras på avfallsdeponi. Bland annat pågår FoU-arbete med flygaska för att öka bärigheten på skogsbilvägar.

Sammanfattning

Med utgångspunkt i geotekniska egenskaper och funktionskrav förefaller flygaskor i många sammanhang vara ett gott alternativ till traditionella metoder i mark och vägbyggnad ur en teknisk och inte minst ekonomisk synpunkt. De geotekniska applikationerna för flygaskor är många, där materialets stabiliserande, isolerande eller bärighetshöjande egenskaper, kan nyttjas i t ex mark- och vägbyggnad som bärlager, tätskikt- eller sluttäckningsmaterial eller vid jordförstärkning.

Syftet med arbetet var att baserat på en serie laborationsförsök bygga stabilisera en skogsbilväg med flygaska från Holmen Paper Hallstavik, och följa upp vägens tekniska och miljömässiga egenskaper. Målsättningen var att visa att renovering av grusvägar med flygaska från Holmen Paper, Hallstavik är en framkomlig väg ur teknisk och miljömässig synpunkt.

Under hösten 2004 stabiliserades Ehnsjövägen, en skogsbilväg, med flygaska som blandat med grus. Vägen var en befintlig en skogsbilväg med låg standard. Försökssträckan är ca 1300 m lång och innehåller en 50 m lång referenssektion. Vid fallviktsmätningen användes en ca 400 m lång sträcka som referenssträcka.

Grus från Ehnsjövägen har stabiliserats i laboratorium och undersökts med avseende på geotekniska och miljötekniska egenskaper. Undersökningen visar att flygaskastabiliserat grus har hög hållfasthet, men är mindre tjälbeständig. Tillsats av bindemedel i form av cement eller merit kan förbättra tjälbeständigheten. Sträckan stabiliserades med flygaska utan bindemedelstillsats. Den aktuella sträckan är uppdelad i olika sektioner samt en referenssektion. Vid renoveringsarbetet användes dock ditfört grusmaterial och inte grusmaterial från vägen. Utläggning av flygaska skedde på avjämnad vägsektion. Blandning av flygaska och grus utfördes därefter på respektive sträcka med väghyvel. Avslutningsvis påfördes slitlager, ca 0,1 m välgraderat grusmaterial. I projektet användes färsk flygaska med låg vattenkvot. För att uppnå optimala packningsegenskaper hos det stabiliserade grusmaterialet höjde vattenkvoten genom att sträckan bevattnades från tankbil. Vägen packades med vält efter bevattning.

Erfarenheten från pilotstudien visar att flygaskastabiliserat grusmaterial kan effektivt läggas ut och blandas. Utlägningsarbetet kan effektiviseras genom att förblanda flygaska och grus på en mobil anläggning. Utläggning av flygaskastabiliserat grus direkt från en grusbil kan effektivisera utlägningsarbetet ytterligare.

Undersökningen visar att flygaska blandat med grus ger förbättrad bärighet under större delen av året. Flygaskan bidrar visserligen till utlakning av bl. a. Na, och S, men uppvisar positiva effekter vad gäller tungmetallhalt i grundvattnet intill vägen.

Sökord: Flygaska, biobränsle, skogsbilväg, miljögeoteknik, fallviktsmätning

Summary

Fly ash in geotechnical applications has stabilising, isolating, low permeability and hardening effect. Fly ash can be used in road constructions with low bearing capacity, as well as on top cover material on landfills.

The aim of the project was to build a road section with fly ash stabilised gravel, based on laboratory studies, and follow up technical and environmental aspect during the first year after stabilisation. The overall aim of this project was to evaluate fly ash from Holmen Paper, Hallstavik, from technical and environmental point of view in a gravel road construction.

A gravel road, Ehnsjövägen, was stabilised with fly ash during autumn 2004. This road was a low priority road. The fly ash stabilised road section was 1300 m long. Gravel from the road Ehnsjövägen was stabilised and investigated in a laboratory study. Leachability of metals and geotechnical aspects were investigated. The laboratory study showed that fly ash stabilised gravel has high shear strength, however its thawing resistance is not fully acceptable. Additives of cement or merit are needed in order to increase its thawing resistance. The actual road section is not going to be used during thawing period and no additives were used. The test road is divided into different sections including a reference section. The road stabilisation work was conducted with gravel transported to Ehnsjövägen from off site and not with gravel from the site. Fly ash was tipped off on a levelled road, followed by tipping of gravel. Mixing fly ash and gravel was done on site by a road scraper. After the mixing the road was gravelled with 0,1 m graded gravel. In this project the fly ash had low water content. In order to get optimal compaction water was added from a tanker supplying water before compacted with a compactor.

Results from the pilot test shows that fly ash stabilised gravel can be tipped, mixed and compacted effectively. Tipping can be optimised if fly ash and gravel is mixed in a mixer under controlled conditions with optimal water content. Tipping from a gravel truck can optimise production speed further more.

The results show that fly ash stabilised gravel gives a better road stability. Although fly ash contributes to leaching of e.g. Na and S, the heavy metal contents of the ground water in the vicinity of the road is lower after stabilisation.

Innehållsförteckning [rubrik0]

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SKOGBILSVÄGAR.....	1
1.3	BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET.....	1
1.4	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET.....	2
1.5	MÅL OCH MÅLGRUPP	3
2	SKOGBILVÄG - EHNSJÖVÄGEN.....	4
2.1	FÖRUTSÄTTNINGAR	4
3	MATERIAL OCH METODER.....	5
3.1	MATERIAL	5
3.2	METODER	6
3.3	UTFÖRANDE	6
4	RESULTATREDOVISNING	8
4.1	GRANULOMETRISK SAMMANSÄTTNING.....	8
4.2	GRUSMATERIALETS INVERKAN PÅ HÅLLFASTHETEN.....	8
4.3	BINDEMEDELSMÄNGDENS INVERKAN PÅ HÅLLFASTHET	9
4.4	PACKNINGSGRADENS INVERKAN PÅ HÅLLFASTHET OCH BESTÄNDIGHET	11
4.5	MILJÖGEOTEKNIK, FLYGASKA OCH STABILISERAT GRUSMATERIAL.....	12
4.6	FULLSAKLIGT BYGGANDE	14
4.7	TORRDENSITET I FÄLT	16
4.8	YT-, GRUND OCH LYSIMETERVATTEN	17
4.9	FALLVIKTMÄTNING	23
5	RESULTATANALYS	26
5.1	LABORATORIE VS FÄLT	26
5.2	BÄRIGHET.....	30
5.3	MILJÖ	31
6	SLUTSATSER	35
7	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	37
8	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSGÄR.....	39
9	LITTERATURREFERENSER	40

Bilagor

A ANMÄLAN OM MILJÖFARLIG VERKSAMHET - FLYGASKA SOM FÖRSTÄRKNINGSLAGER, PROVSTRÄCKA HALLSTAVIK

B MÄTDATA, KOORDINATER

C FLYGASKANS LAKBARHET VID OLIKA L/S KVOTER.

D VÄGMATERIALETS OCH FLYGASKANS TOTALINNEHÅLL SAMT LAKBARHETEN AV VÄGMATERIAL OCH FLYGASKASTABILISERAT VÄGMATERIAL VID L/S KVOT 10.

- E ANALYS AV GRUND- YT- OCH LYSIMETERVATTEN, MAJ-2005.**
- F ANALYS AV YT- OCH LYSIMETERVATTEN, SEPTEMBER-2005.**
- G DET STABILISERADE VÄGMATERIALETS VATTENKVOT OCH TORRDENSITET
LÄNGS PROVSTRÄCKAN.**
- H ASKVÄG I HALLSTAVIK - DEL 2 / MÄTNING EFTER FÖRSTÄRKNING**

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Hallsta Pappersbruk (Holmen Paper) genomför idag ett antal olika arbeten som syftar till att minska mängden flygaska som deponeras på avfallsdeponi. Hallsta Pappersbruk bedriver bl.a. pelleteringsförsök som syftar till att använda pelleten som skogsgödsel. Det pågår även FoU-arbeten med förbränningstekniken för att ta fram flygaska som har bra hårdningsegenskaper. Det nu aktuella projektets syfte är att nyttja flygaska vid renovering av skogsbilvägar.

1.2 Skogsbilsvägar

Varje vår måste ett stort antal vägar återkommande stängas på grund av tjällossningen. Detta leder till stora kostnader för bl. a. skogsnäringen och samhället i stort samt en negativ syn på väghållningen. Samtidigt är åtgärdsbehovet stort för att kunna driva ett rationellt skogsbruk. Att göra vägarna tillgängliga året om på traditionellt sätt, genom t. ex. urgrävning av tjälfarliga material, leder till höga kostnader och användning av naturresurser som sand grus etc. Det finns med andra ord ett uppdämt behov att renovera grus- och skogsbilvägar, men även större vägar [1].

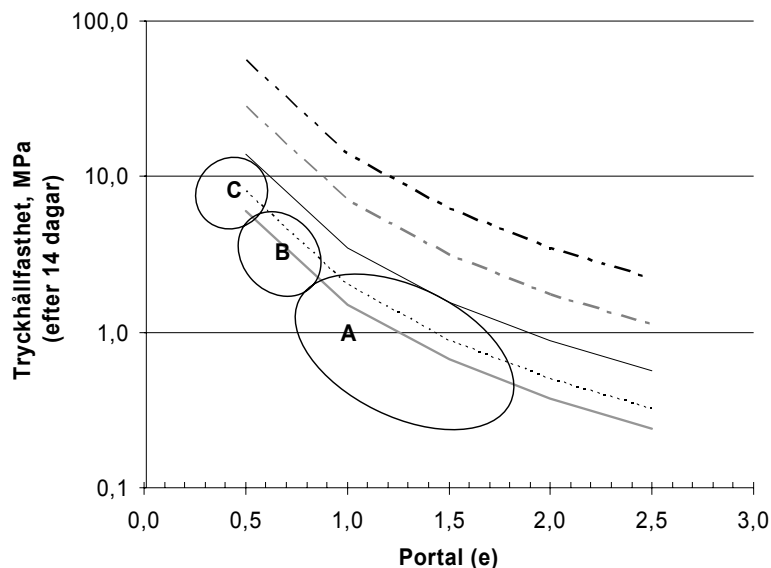
1.3 Beskrivning av forskningsområdet

Flygaskor från förbränning av biobränslen har visat sig ha mycket intressanta tekniska egenskaper och kan ofta användas som t ex bär- eller förstärkningslager. Ungefär hälften av den flygaska som uppkommer i Finland används i olika byggnadssammanhang. [2] har jämfört olika åtgärder för att öka bärigheten på grusvägar och visar att en lösning med flygaska kan ge upp till 50 % lägre totalkostnad (inklusive vägens drifts- och underhållskostnader). I vägar är nyttan stor på lokala avsnitt med stora tjälproblem.

I Sverige finns idag flera exempel på projekt där flygaska används som vägbyggnadsmaterial för att bygga också mindre vägar efter finsk modell men anpassat efter svenska förutsättningar. Vattenfall Värme AB genomför idag ett arbete som syftar till att ta fram en vägledning för byggande med flygaska. Arbetet utförs på uppdrag av Värmeforsk [3]. Målsättningen är att vägledningen ska ge entreprenörer, konsulter m fl ett stöd vid dimensionering och byggande flygaskor. Arbetet har kopplingar till ett större projekt som bedrivs av Vägverket och vars syfte är att ta fram vägledningar för olika restmaterial.

Idag pågår ett intensivt arbete hos olika aktörer för att ta fram olika verktyg för att göra miljömässiga materialval. Bland dessa kan nämnas ”Miljögeotekniskt bedömningssystem; MGB” och ”Vägledning för alternativa material i vägbyggnad” (Vägverket), ”Vägledning om miljöriktig återvinning av avfall för bygg- och anläggningsändamål” (Naturvårdsverket), ”Miljöriktlinjer för askor” och ”Metodik för avvägning mellan resurshushållning och emissioner” (Värmeforsk).

I ett Värmeforskprojekt har Mácsik et al (2004) föreslagit att flygaskorna kan delas in i tre olika huvudgrupper, A, B och C med avseende på dess användningsområden, se figur 1. En gruppering av flygaskorna med avseende på deras tekniska egenskaper visas också. Denna kan tjäna som underlag för val av användningsområde.



Figur 1 Sambandet mellan portal och hållfasthet för några flygaskor [4].

Figure 1 Correlation between void ratio and shear strength of fly ash from different producers [4].

Till den första gruppen, Grupp A, hör flygaskor som efter stabilisering kan användas som t ex förstärkningslager i vägar och på körytor. Här är kraven på hög hållfasthet lägst. Exempel på användningsområden för askor i Grupp B där kravet på hållfasthet är högre är allt från tätskikt i t ex deponier, förbättring av grusvägar genom att använda det som förstärknings- och bärlager eller blandat med grus. Användningen av askor i Grupp C motsvarar grupp B och även för stabilisering av farligt avfall eller förorenade massor. Flygaskan från Hallstavik bedöms tillhöra grupp B.

1.4 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

För att kunna introducera restmaterial som konstruktionsmaterial finns det ett flertal frågetecken som måste besvaras. Viktiga frågeställningar, som detta projekt söker svar på, är vägens kvalitet och beständighet, entreprenadutförandet och "miljön". Vägens kvalitet och beständighet påverkas positivt vid stabilisering med flygaska, vilket är en viktig drivkraft i detta FoU-arbete. Entreprenadarbetet påverkas något eftersom det kräver en del kunskap om de ingående materialens egenskaper, i detta fall flygaska. Miljön är en annan faktor, där det gäller att kunna visa att materialvalet är rätt och att miljöpåverkan är obetydlig till ringa.

1.5 Mål och målgrupp

Målsättningen är att ge entreprenörer, konsulter m fl ett underlag vid renovering och nybyggnation av skogsbilvägar med flygaskor.

Den primära målgruppen är Holmen Paper Hallstavik bruk och Holmen Skog som planerar genomförande av flera renoveringar av skogsbilvägar med flygaska. Mer generellt kan arbetet ses som en metodikbeskrivning för andra askproducenter och väghållare som planerar renovering av skogsbilvägar. En annan viktig målgrupp är miljömyndigheter som ska göra en bedömning av anmälan.

2 Skogsbilväg - Ehnsjövägen

2.1 Förutsättningar

Som underlag för projektet ligger en tidigare utredning (Ramboll Finland), där blandningar av flygaska och grus har undersökts [5]. Ramboll AB har också tidigare arbetat fram en anmälan avseende miljötekniska egenskaper hos vald flygaska/grusblandning, bilaga A. Anmälan har lämnats in till Norrtälje kommun av Holmen Paper Skog. Baserat på detta underlag utfördes en pilotstudie på Ehnsjövägen norr om Hallstavik i full skala. Vägen var en befintlig en skogsbilväg med låg standard, se figur 2. Under 2005 - 2006 kommer skog att avverkas och köras ut genom Ehnsjövägen.



Figur 2 Typisk sträcka på Ehnsjövägen före renovering.

Figure 2 Typical road section before the road was stabilised.

Ehnsjövägen är en mindre skogsbilväg som ligger norr om Hallstavik och på östra sidan av Edeboviken. Vägen går till en slamdamm. Ehnsjövägen är 1600 m lång, varav den första delen på ca 400 renoverades enbart genom utläggning av slitlager. De förtä 400 m bedömdes inte vara i behov av renovering med flygaska blandat med grus. Den för flygaskastabilisering aktuella provsträckan är ca 1200 m lång och ägs av Holmens Bruk AB. Enligt SGU:s jordartskarta 12 J Grisslehamn SV består jordlagren längs vägsträckan till större del av morän som är stenig. Det förekommer även lera. Berg i dagen är tämligen vanligt i området.

3 Material och metoder

3.1 Material

Flygaskan som användes vid stabiliseringsarbetet var från Hallsta pappersbruk (Holmen Paper), se figur 3. Flygaskan kommer från A-pannan (BFB) och bränslet var avloppsslam och returpappersslam. Totalt har ca 350 ton TS flygaska använts på en sträcka motsvarande ca 1200 m. Flygaskan kördes ut i slutna behållare. Askmängden som lades ut på vägen var ca 10 ton per lass. Mängden flygaska som producerades per dag varierade mellan 10 ton och 54 ton. Utläggningen pågick mellan den 13 och 23 september. Flygaskan lastades ut med en låg vattenkvot, mellan 10 – 20 % och förvarades på vägen i stack om ca 10 ton. Flygaskans vattenkvot påverkades marginellt genom regn. Som det framgår i figur 3 påverkades enbart en ca 10 cm skorpa av förhöjd vattenkvot i stacken. Under detta ytskikt var flygaskan opåverkad och torr.



Figur 3 Flygaskan från Holmen Paper, Hallstavik.

Figure 3 Fly ash, Holmen Paper, Hallstavik.

Det togs grusmaterialprover från vägsträckan i syfte att undersöka stabiliseringseffektens homogenitet i vägsträckan. Laboratorieundersökningarna, där grusmaterial stabiliserades med flygaska från Hallsta pappersbruk, utfördes på dessa prover. Vid fältförsöket visade det sig att det befintliga grusmaterialet inte gick att återanvända vid renoveringsarbetet eftersom det hade ojämn och dålig kvalitet. Vägmaterialen bestod av stenig – blockig morän till berg i dagen. Under projektets gång har det därför beslutats i samråd med Holmen Skog att grusmaterial från en närlägen stenkross skulle köras ut på vägen i ca 0,2 m tjocklek. Grusmaterialets granulometriska sammansättning och vattenkvot undersöktes på Luleå tekniska universitets geotekniska laboratorium.

3.2 Metoder

Grusmaterial och flygaska undersöktes av Ramböll-Viatek vad gäller granulometrisk sammansättning och packningsegenskaper etc. Flygaskan undersöktes med avseende på kornstorleksfördelning, innehåll av CaO och packningsegenskaper [5]. Flygaskans innehåll av metaller är väl dokumenterad av Hallsta Pappersbruk som utför regelbundna kontroll på flygaskans sammansättning. Grusmaterialet undersöktes med avseende på granulometrisk sammansättning. Grusmaterial från provtagningen användes för att tillverka ett homogeniserat prov som sedan stabiliserades med olika mängder flygaska med och utan tillsats av byggcement. De stabiliserade provkropparnas packningsegenskaper, hållfasthet, tjälningsegenskaper och frostbeständighet undersöktes. Detaljerad resultatredovisning finns i värmeforskrapporten [5]. Det utfördes en tilläggsundersökning med syfte att kontrollera stabiliseringseffekten som kan uppnås utan tillsats av byggcement, men med högre tillsats av flygaska.

Totalhalten av oorganiska ämnen [5] utfördes med ICP-MS/AES tekniken efter att materialet hade torkats vid $< 40^{\circ}\text{C}$, krossats och siktats till mindre än 0,02 mm fraktioner och utlösts i salpetersyra i mikrovågsugnen.

Lakningsundersökningen utfördes på blandningsprover (P1 & P6) med och utan stabilisering. Det stabiliserade provet härdades först under 28 dygn. Därefter krossades det stabiliserade materialet. Grusmaterialet (P1 & P6) siktades och andelen mindre än 4 mm ($> 90\%$) lakades. Lakningen utfördes enligt metoden NEN 7343 (prEN 15477-2). Lakvatten analyserades med ICP-MS/AES tekniken.

Vattenprover från ytvatten, grundvatten och lysimeter analyserades enligt V-3a metoden (Analyticas nomenklatur):

Analys av vattenprov utförs efter filtrering. Provet surgörs med salpetersyra. Analys sker enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SFMS). Metaller Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb och Zn samt S analyseras. Utöver analys utförs mätning av pH och elektrisk konduktivitet av vattenproverna.

Pilotstudien utfördes med flygaska som bindemedel, utan tillsats av byggcement, på en sträcka som var ca 1600 m lång (uppdelad i olika sektioner samt en referenssektion), varav 400 m var referenssträcka.

Vägsträckan undersöktes under våren 2004 med fallviktsmätning. Mätningen finansierades av Värmeforsk. En motsvarande mätningsserie utfördes under hösten 2005. Resultat från de två olika mätningstillfällena redovisas i bilagorna E och F.

3.3 Utförande

Flygaskan kördes ut under en två veckor lång period. Flygaskan lades ut på vägsträckan, med ca 10 ton per lass. Avståndet mellan utlastningsplatserna var mellan

20 – 30 m, figur 4. Grusvägen jämnades av och rensades från gräs och från synlig organisk jord.



Figur 4 Flygaskan utlagd med ca 20 – 30 m mellanrum.

Figure 4 Fly ash was tipped each 20 – 30 meter.

Området delades in i 19 delsträckor samt en referenssträcka. De 19 delsträckorna har beteckningen delsträcka 4 till 19 och vändplan (VP), figur 5. Fem stycken grundvattenrör installerades inklusive ett referensrör utanför vägområdet. Vägsträckans styvhet mättes in med fallviktsmätning under våren 2004, finansierat av Värmeforsk. Ytterligare en mätning kommer att utföras under nästa år. Vattenprov från lysimetrarna och grundvattenrören tas vid lämpligt tillfälle under våren. Baserat på laboratorieundersökningar på askan och inspektion av den aktuella platsen sammanställdes en *anmälan* till kommunen, se bilaga A.



Figur 5 Schematisk karta över Ehnsjövägen.

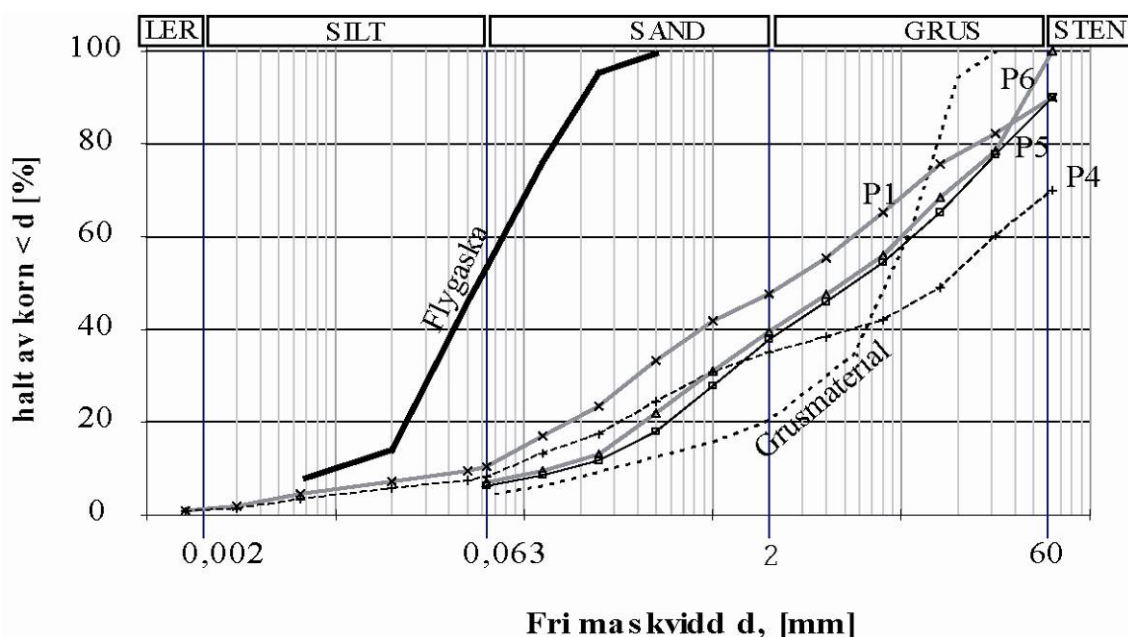
Figure 5 A schematic map of Ehnsjövägen.

4 Resultatredovisning

Inför fältarbetet utfördes det en serie laboratoriearbeten för att undersöka flygaskans lämplighet som stabiliseringsmedel. Undersökningen utfördes i ett Värmeforsk-finansierat projekt [5].

4.1 Granulometrisk sammansättning

Flygaskan från Hallsta Pappersbruk är ett material som består av ca 50 % siltfraktion och resterande av sandfraktion, figur 6. Proverna från det befintliga vägmaterialet, P1, P4, P5 och P6 hade varierande granulometrisk sammansättning. Vägmaterialet (grusmaterialen) P1 och P5 innehöll ca 10 % stenfraktion. Materialet P4 bestod av ca 30 % stenfraktion, medan P6 saknade stenfraktion. Grusmaterialet (från stenkross) som stabiliserades på vägsträckan bestod av ca 5 % siltfraktion, 15 % sandfraktion och 80 % grusfraktion. Som det framgår av figur 6 har grusmaterialet något mindre finfraktion (<63 μm), men saknar grusfraktion helt.



Figur 6 De undersökta materialens granulometrisk sammansättning, grusmaterialet representerar det påförda gruset.

Figure 6 The investigated materials size distribution, including the used gravel.

4.2 Grusmaterialets inverkan på hållfastheten

Grusmaterialen P1, P4-P6 stabiliserade med 20 % flygaska packades vid optimal vattenkvot, ca 12 %, till packningsgrad ca 90 %. Den optimala vattenkvoten är ca 15% vid 30 % tillsats av flygaska. De olika provstyckens torrdensitet och hållfasthet bestämdes efter 28 dygns härdning, tabell 1. De stabiliserade grusmaterialen P1 och P6 gav högre resultat än de stabiliserade proverna från P4 och P5. Detsamma gäller de

stabiliserade grusmaterialen P4 och P5. Finmaterialinnehållet kan vara en förklaring varför grusmaterialen P1 och P6 har något högre hållfasthetsvärden än P4 och P5, figur 6 och tabell 1. Finjordshalten kan ge större aktiva ytor vid härdningen.

Vid Stabiliseringen av skogsbilvägen användes grusmaterial utifrån, med en annan granulometrisk sammansättning, figur 6. Det i fält stabiliserade grusmaterialet har inte undersökts i laboratorium.

Tabell 1 Grusmaterialets inverkan på hållfasthet vid stabilisering med 20 % tillsats av flygaska.

Table 1 The influence of different gravel materials from the road section on shear strength when stabilised with 20 % fly ash.

Blandning	Finfraktion, % < 63 µm	Torrdensitet, ρ_d kg/m ³	Hållfasthet, σ (28 d) MPa
P1 + 20 % FA	12,2	1730	2,7
P4 + 20 % FA	6,4	1735	1,8
P5 + 20 % FA	6,1	1750	1,8
P6 + 20 % FA	12,2	1710	2,4

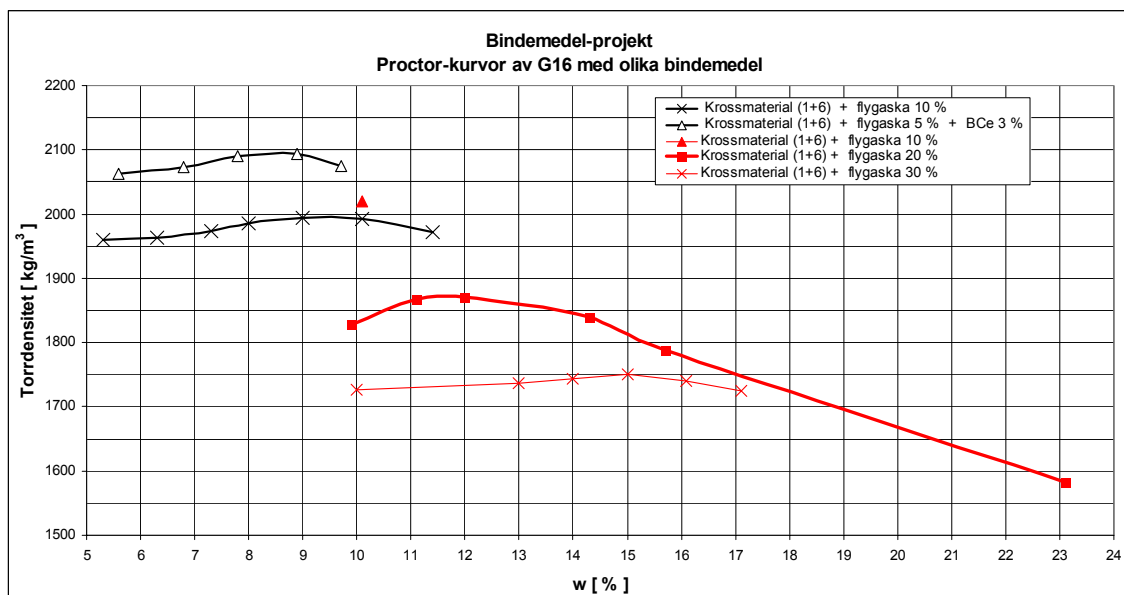
4.3 Bindemedelsmängdens inverkan på hållfasthet

Grusmaterial från provpunkterna P1 och P6 blandades och homogeniserades inför stabiliseringsförsöken. Det homogeniserade grusmaterialet stabiliserades sedan med 10, 20 och 30 vikt % TS flygaska.

Resultaten från proctorförsöken redovisas i figur 7. Provstycken som tillverkades för undersökning av härdningsegenskaperna tillverkades med en arbetsmängd som motsvarar 11 slag/skikt (fem skikt) vid för blandningen optimal vattenkvoten (w_{opt}). Den resulterade packningsgraden, D, var mellan 93 och 95 %. Materialets optimala vattenkvot för att få maximal torrdensitet är mellan 9 – 15 % och ökar med mängd tillsatt flygaska, figur 7. Detta medför att det krävs mer vatten per m³ flygkastabiliserat material med ökande tillsatsmängd av flygaska. Mängd vatten för att uppnå optimal vattenkvot ökar från ca 180 liter/m³, vid 10 % flygaskatillsats, till ca 220 liter/m³, vid 20 % flygaskatillsats, och till 260 liter/m³, vid 30 % flygaskatillsats. Förhållandet mellan flygaska och vatten ökar enligt nedan:

- Flygaska 10 % - vikt flygaska/vikt vatten ca 1,1 ($m_{FA}/m_w = 1,1$)
- Flygaska 20 % - vikt flygaska/vikt vatten ca 1,67 ($m_{FA}/m_w = 1,67$)
- Flygaska 30 % - vikt flygaska/vikt vatten ca 2 ($m_{FA}/m_w = 2$)

För att uppnå optimal härdning av den aktuella flygaskan behövs det en vattenkvot på ca 60 %. Uttryckt som m_{FA}/m_w blir det ca 1,67. Vid tillsats av 10 % flygaska finns det för mycket vatten för att uppnå ”fullständig” härdning med optimal vattenkvot (w_{opt}), medan vid 30 % tillsats av flygaska är vattenmängden vid w_{opt} för låg för att uppnå ”fullständig” härdning. Resultaten tyder på att det är vid 20 % tillsats av flygaska som optimal vattenkvot för packning och härdning överensstämmer med varandra. Vid högre tillsats av flygaska än 20 % bör vatten sättas till efter packning för att uppnå ”maximal” härdning.



Figur 7 Det stabiliserade grusmaterialets torrdensitet vs wopt vid olika tillsatsmängder av flygaska, [5].

Figure 7 Det stabiliserade grusmaterialets torrdensitet vs wopt vid olika tillsatsmängder av flygaska, [5].

I tabell 2 sammanfattas resultaten från de utförda försöken med 10 %, 20 % och 30 % flygaska, [5]. Det stabiliserade materialets torrdensitet minskar med mängden tillsatt flygaska, vilket till största delen kan förklaras med att flygaskans torrdensitet är mellan 900 – 945 kg/m³.

Tabell 2 De stabiliserade materialens densitet, hållfasthet och beständighet med 10, 20 och 30 % tillsats av flygaska.

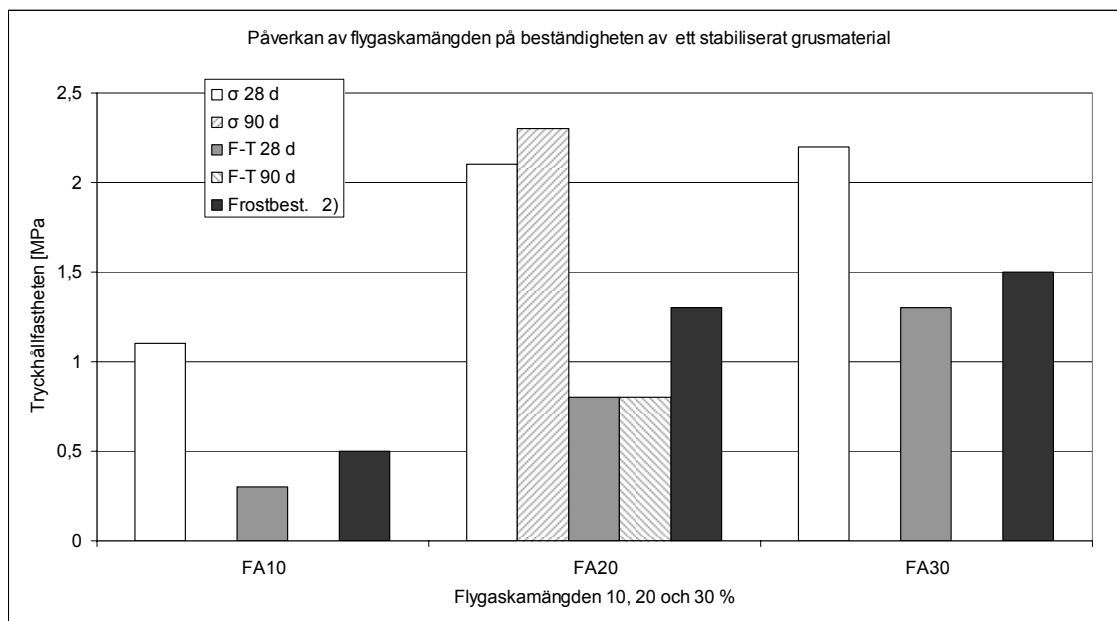
Table 2 Density, shear strength, and frost durability of stabilised gravel with 10, 20 and 30 % fly ash additive.

Bindemedelsmängd	Torrdensitet ρ_{dmax} kg/m ³	Tryckhållfastheten		F-T beständighet		Frostbeständighet	
		σ (28 d) MPa	σ (90 d) MPa	σ (28 d) MPa	σ (90 d) MPa	σ MPa	SP _o mm ² /Kh
FA 10 %	c. 2020	1,1		0,3		0,5	1,5
FA 20 %	1870	2,1	2,3	0,8	0,8	1,3	1,7
FA 30 %	1750	2,2		1,3		1,5	1,9-2,0

Efter 28 dygns härdning undersöktes tryckhållfastheten och frysnings- och tiningsförsöken (F-T) startades. Frostbeständighetsförsöken startades efter det att F-T-beständighetsförsöken var avslutade. För blandningen med 20 % flygaska gjordes också provstycken som härdades under 90 dagar innan dessa undersöktes med avseende på tryckhållfasthet och frysnings- och tiningsbeständighet.

Tryckhållfastheten efter 28 och 90 dagar för prov med 20 % flygaska som tillsatsmängd visar att hållfasthetsökningen minskar efter de första 28 dagarna. Beroende på mängd flygaska är den relativa F-T-beständigheten 27 – 59 %. Den relativa beständigheten är

förhållandet mellan hållfastheten innan och efter frysnings- och tiningsförsöken. Beständigheten ökar med mängd flygaska, men resultaten indikerar att den inte påverkas nämnvärt av härdningstiden mellan 28 och 90 dagar, figur 8. För prov med 20 % flygaska var den relativa beständigheten ungefär lika stor efter 28 dagars härdning som efter 90 dagars härdning, 38 % respektive 35 %.



Figur 8 Påverkan av olika mängder av flygaska på ett stabiliserat grusmaterials hållfasthet och beständighet [ref Q4-275].

Figure 8 Effect of different amounts of fly ash on shear strength and frost durability of the stabilised gravel.

Motsvarande slutsatser kan dras baserat på resultat från frostbeständighetsförsöken. Frostbeständigheten är låg men ökar med mängd tillsats flygaska, figur 7. Tryckhållfastheten efter frostbeständighetsförsöken är mellan 45 - 68 % av tryckhållfastheten efter 28 dagars härdning vid rumstemperaturen. Segregationspotentialen SP_0 ligger mellan 1,5 - 2,0 mm²/Kh. Baserat på finska erfarenheter indikerar resultaten att grusmaterial som enbart har stabiliserats flygaska kan vara känsligt mot tjäle [2] och [5]. De finska erfarenheterna baseras på flygaskor från kolkraftverk. Flygaskor fortsätter sin härdning även efter 90 dygn [2].

4.4 Packningsgradens inverkan på hållfasthet och beständighet

Packningsgradens inverkan på hållfastheten och beständigheten har undersökts för det homogeniserade provet som var stabiliserad med 20 % flygaska. Det stabiliserade materialets vattenkvot var 12 %, vilket är materialets optimala vattenkvot, w_{opt} . Arbetsmängden varierade från 5 slag per skikt till 14 slag per skikt. Packningen utfördes i 5 skikt. Torrdensiteten (ρ_d) har bestämts och packningsgraden (D) kalkylerats. Respektive alternativ har undersökts med avseende på erhållen tryckhållfasthet efter 28 dygns härdning och efter frysnings-tining. Det senare utfördes på prover som har härdat under 28 dygn. Frostbeständigheten kontrollerades endast för det alternativ som packades med arbetsmängden 14 slag/skikt. Resultaten redovisas i tabell 3. Här har vi

också motsvarade resultat från frostbeständighetstundersökningen med provstycken som har packats med 11 slag/skikt.

Tabell 3 Packningsgradens inverkan på hållfasthet och beständighet.

Table 3 The effect of degree of compaction on shear strength and frost durability.

Blandning	Arbetsmängd slag/skikt	Torrdensitet kg/m ³	Packningsgrad D, %	Hållfasthet A, σ (28 d), MPa	Hållfasthet efter F-T test B, σ , MPa	F-T beständighet (B/A), %	Hållfasthet efter frosttest C, σ , MPa	Frostbeständighet C/A, %	Segregationspotential, Sp ₆₀ , mm ² /Kh
	5	1635	88	1,2	0,6	50	nn	-	-
	8	1710	92	1,8	0,6	30	nn	-	-
P1&6 + 20 % FA	11	1745	94	2,1	0,9	43	1,3	62	1,7
	14	1775	95-96	2,6	1,1	42	1,4	54	1,4-1,5

4.5 Miljögeoteknik, flygaska och stabiliserat grusmaterial

Hallsta Pappersbruk utför kontroll av flygaskan som faller ut, enligt ett program för att kontrollera innehållet och lakbarheten av metaller. Flygaskans innehåll av metaller redovisas i tabell 4. Vid en jämförelse med naturlig marks möjliga innehåll av olika ämnen, tabell 4, kan det visas att flygaskans innehåll av bly, koppar och zink är något förhöjda. De övriga ämnenas innehåll ligger inom intervallet för naturlig jord.

Tabell 4 Innehåll av metaller och PAH:er i flygaskan och i naturmaterial.

Table 4 Metal and PAH contents of fly ash and geological materials.

Ämne/ Ämnesgrupp	Flygaska mg/kg TS	Flygaska stabiliserat grus [‡] mg/kg TS	Naturmaterial mg/kg TS
As	29,1	2,9/3,3	0,36 - 68,7
Pb	130	20-21	5,88 - 59
Cd	3,43	0,3-0,45	0,071- 0,67
Co	9,13	3,9-4	- [#]
Cu	320	72-101	10,2 - 92,7
Cr, tot	133,8	18-23	31,4 -196
Cr,VI	- [#]	- [#]	- [#]
Hg	0,21	- [#]	<0,04 - 21
Ni	72,06	9,8-12	8,68 - 555
V	17,8	15-16	- [#]
Zn	1024	95-112	28,2 - 224
Summa cancerogena	0,88	- [#]	- [#]
Summa övriga	15	- [#]	- [#]

-[#] Saknas information

[‡] Kalkylerade värden för 20/30 % flygaska

Hallsta Pappersbruk har utfört lakningsförsök med flygaskan, med L/S kvot 2, 3, 4 och 10. Lakningsresultaten redovisas i bilaga C. Undersökningen visar att bl.a. bly, koppar

och zink har liten lakbarhet, medan sulfater natrium och kalium kan lakas ut från flygaskan. Lakningsundersökningen utfördes på färsk flygaska utan härdning (dvs. ej härdad flygaska).

Inför stabiliseringsarbetet undersöktes både flygaska och det grusmaterial som finns i den befintliga vägen. Både totalinnehåll och lakbarheten av olika metaller undersöktes. Resultaten redovisas i tabell 5. Undersökningen visar att innehållet av samtliga metaller är lägre i den för vägen aktuella flygaskan än de mätningar som utfördes tidigare av Hallsta Pappersbruk. Halterna kan dock variera beroende på bränsle och förbränningstemperatur.

Tabell 5 Innehåll och lakbarhet av metaller i flygaskan, [3].

	<i>Table 5 Content and leachability of fly ash and fly ash stabilised gravel [3].</i>				
	P1&6 mg/kg TS	Flygaska mg/kg TS	Flygaska [#] mg/kg TS	P1&6, Lakbarhet efter L/S 10	Stabiliserat grusmaterial Lakbarhet efter L/S 10
Al	5620	73100		30,19	27,386
As	1,93	6,66	29,1	0,0039	0,0036
B	5	153		0,1191	0,0329
Ba	23,1	347		1,4	2,5724
Ca	15100	201000		1274	1977
Cd	0,13	1,19	3,43	0,0003	0,0005
Co	3,8	4,35	9,13	0,0023	0,0087
Cr	8,39	57,5	133,8	0,0074	0,0191
Cu	12,7	307	320	0,3027	0,9893
Fe	11000	15400		0,7638	0,5322
K	1300	7050		39	0,98
Mg	2790	8520		3,0202	1,7835
Mn	248	1090		0,0215	0,0077
Mo	0,29	3,54	72,06	0,1207	0,1878
Na	86	6400		34,65	153,67
Ni	5,23	27,9		0,0165	0,0872
Pb	19,1	23,8	130	0,007	0,0058
Sb	0,02	0,02		0,0011	0,0013
Se	0,5	0,61		0,0055	0,0074
Si	139	188		28,34	14,81
Sr	17,2	471		6,98	15,1
U	1,1	3,37		0,0081	0,0021
V	15,2	16,3	17,79	0,0047	0,0016
Zn	63,4	224	1024	0,0408	0,0158
S	70	13100		14,39	10,08
P	338	3590		0,1013	0,1414

[#] Tidigare undersökning av Hallsta Pappersbruk

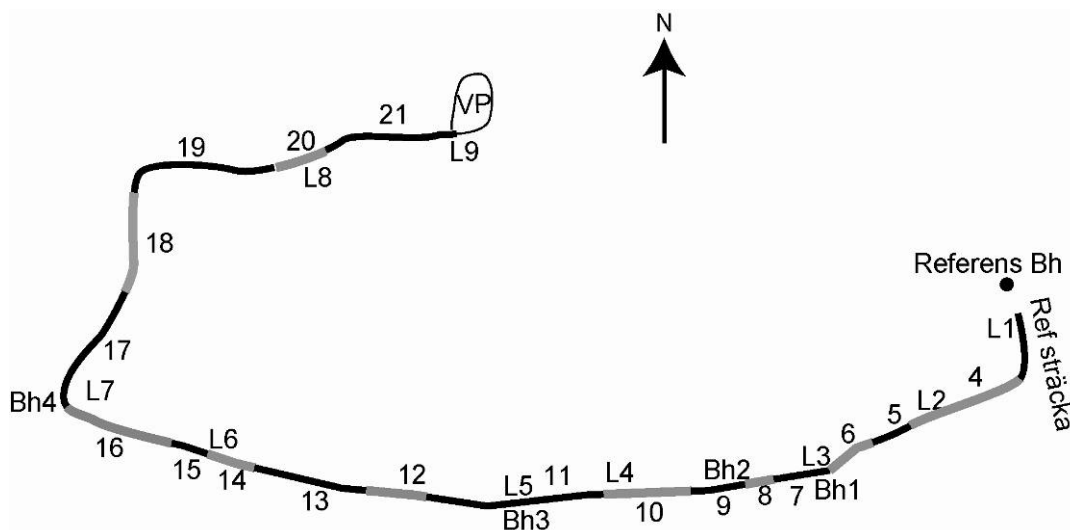
Undersökningen visar att flygaskans innehåll av metaller är högre än grusmateriallets. Det stabiliserade grusmateriallets, 20 % respektive 30 % tillsats av flygaska, innehåll av metaller ligger inom den naturliga variationen för jord. Lakbarheten av olika metaller från grusmaterial respektive från stabiliserat grusmaterial är i paritet med varandra. Vissa metaller som koppar och nickel lakas ut mer från det stabiliserade gruset, medan grusmaterialet lakar mer aluminium, bly, zink och arsenik.

Utlakningen av kalium, natrium och kalcium är större från det stabiliserade grusmaterialet, medan svavel (sulfater) lakas mindre. Dessa ämnen är näringsämnen och är viktiga för växtlighet. Det är bl.a. därför flygaska används som skogsgödsel.

En effekt som lakningen i laboratorium inte tar hänsyn till är att lakningen av de olika materialen utfördes vid olika pH-värden. Det stabiliserade materialet har ett pH-värde på > 10 medan grusmaterialets pH är < 7 .

4.6 Fullsakligt byggande

Inför stabiliseringsarbetet installerades det 9 stycken lysimetrar varav en i en referenssträcka utan flygaska, figur 9. För att undvika skador på lysimetrarna, orsakade renoveringsarbete med väghyveln, installerades lysimetrarna på ca 0,4 – 0,8 m djup. Lysimetrarnas koordinater redovisas i bilaga B. Sträckan delades in i 18 delsträckor, vändplan och en referenssträcka. Delsträckindelningen börjar österifrån med sträcka 4 och slutar med sträcka 21 väster om vändplan. De ursprungliga delsträckorna 1 – 3 ingår i referenssträckan. På delsträckorna 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 har det lagts ut sand i ca 0,1 m skikt, se bilaga B. Sand lades ut på de delsträckor där jordtäcket var tunt eller där block/berg hindrade stabilisering och arbete med väghyvel. Vid lysimeter L7, där vägen svänger norrut efter delsträcka 16, var den befintliga vägytan i nivå med Ehnsjöns nivå vid mycket vatten. Vägen höjdes med en vägbank, bestående av stenkross. Bankens höjd var mellan 0,5 – 1 m. Geotextil installerades på vägbanken, därefter lades det ut sand och stenmjöl, ca 0,1 m.



Figur 9 Sträckindelning med lysimetrarnas och grundvattenrörens positioner.

Figure 9 Section, lysimeter and ground water-pipe positions along the road.

Mängden flygaska som har nyttjats på hela sträckan är 350 ton inklusive ca 28 m³ vatten. Vattnet tillsattes vid asktuttaget. Flygaskan som har lagts ut mellan den 13 och 17 september var torr. Den torra flygaskan har lagts upp i stackar på vändplan och på sträcka A (delsträckorna 15 -21), figur 9. Mängden torr flygaska var ca 135 ton. Från den 18 till den 23 september var flygaskan befuktad och hade vattenkvot mellan enstaka % till 32 %, se bilaga B. Väghyveln klarade inte av att hyvla upp mer än några enstaka

cm av vägmaterialet. Det bestämdes därför att köra dit grusmaterial från en bergtäckt från Holmen Skog. Det utlagda grusmaterialets tjocklek på vägen var ca 0,2 m. På sträcka A och på vändplan, har grusmaterialet lagts ut efter det att askan har lagts ut. Stackarna med flygaska jämnades av över vägytan med grävmaskin, figur 10a. Med väghyvel jämnades flygaskan ut sedan i ca 0,2 m skikt. Efter att grusmaterialet har lagts ut, figur 10 b, har flygaska och grus hyvlats ihop till en till synes homogen blandning, figur 11 a och b.



Figur 10 Avjämnning av flygaska (a) och utläggning av grusmaterial (b).

Figure 10 Levelling of fly ash (a) and tipping of gravel on the road (b).



Figur 11 Homogenisering av grus och flygaska(a) och den färdighyvlade vägytan(b).

Figure 11 Mixing of gravel and fly ash (a) and end result after levelling with a road scraper (b).

På sträcka B (delsträckorna 4 -14) lades grusmaterialet ut först, följt av flygaska. Flygaskan lades ut med grusbil och lades ut i ca 0,2 m skiktjocklek, figur 12a. Därefter homogeniserades flygaska och grus med väghyvel. Utlägningsarbetet på sträcka B gick avsevärt snabbare i och med att flygaskan lades ut direkt i "rätt" skiktjocklek.



Figur 12 Utläggning av flygaska med "grusbil" (a) och packning med vibrovält (b).
Figure 12 Tipping of fly ash from a gravel truck (a) and compaction of the road (b).

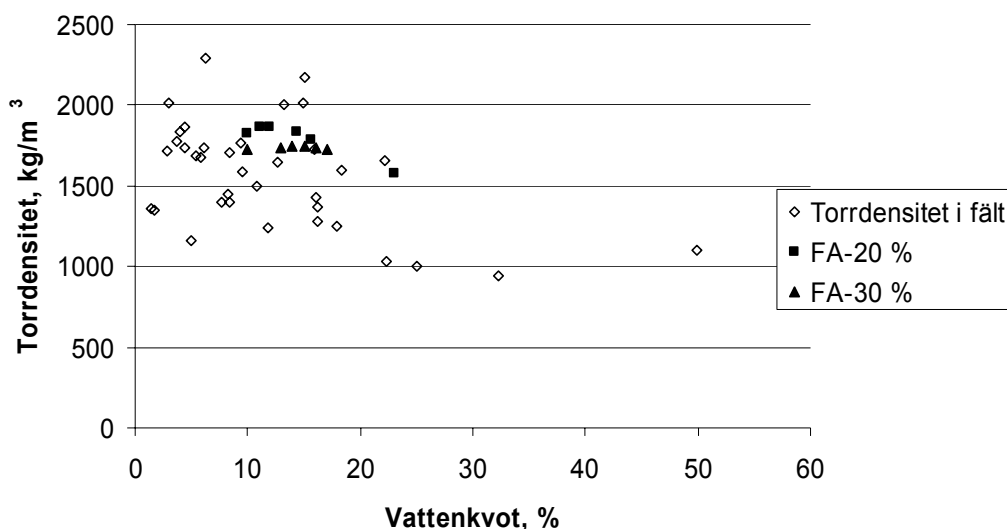
Det stabiliserade grusmaterialet packades med vibrovält över hela sträckan, figur 12 b. För att höja det stabiliserade grusmaterialets vattenkvoten till ca 12 – 15 %, som är materialets optimala vattenkvot, bevattnades vägen innan materialet packades.

4.7 Torrdensitet i fält

Vägmateriäl från den färdiga vägen, innan slitlagret lades ut, undersöktes med avseende på torrdensitet. Resultaten indikerar att packningen i fält inte är homogen. Vattenkvoten varierar mellan några enstaka procent till över 20 %. Materialets optimala vattenkvot ligger mellan 12 – 15 %. Stabiliserat grus som har högre eller lägre vattenkvot kan inte packas effektivt. De höga vattenkvotsvärdena orsakades av att flygaska hamnade i vattenfyllda diken. Den vattenmättade flygaskan som blandades sedan med gruset hade för hög vattenkvot. För hög vattenkvot förekom dock på några få ställen. Ett större antal prover har lägre vattenkvot än 10 %.

Undersökningen visar också att en del av det stabiliserade materialet har för låg vattenkvot för att erhålla hög torrdensitet. Det bör även noteras att grusmaterialet är ett granulometriskt och med stor sannolikhet innehållsmässigt annorlunda material än det homogeniserade grusmaterialet P1 & P6. Undersökningen visar att större delen av vägsträckan har lägre torrdensitet än torrdensiteten under laborieförhållanden, figur 13. Några värden ligger dock på högre torrdensitet.

Den nederbörd som kom under hösten 2004 är därför viktig för stabilitetsutvecklingen. Värdena från fält jämförs med laborieresultat med 20 och 30 % flygaska.



Figur 13 Vägmateriallets torrdensitet i fält och erhållna värden efter packning i fält.

Figure 13 Dry density of fly ash stabilised gravel in laboratory and after compaction on site.

4.8 Yt-, grund och lysimetervatten

Lysimetrarna installerades minst 0,2 m under det flygaskastabiliserade grusmaterialet. Målsättningen var att minska risken att flygaska hamnar i lysimetrarna och bidrar till metallhalter i lysimetervattnet genom utlakning. Mängden vatten som bedöms kunna perkolera igenom vägkonstruktionen bedöms vara från 0 till ca 15 liter/m² och år. I lysimeter L2 uppmättes något mer vatten, men detta kan bero på att vägen lutar mot denna punkt och vatten rinner in till lysimetern. Referenssträckan har en ordentlig lutning vilket kan vara orsaken till att inget vatten har samlats upp i lysimeter L referens.

Efterkontroll - provtagning och analys

Miljökontorets krav för att godkänna användning av flygaska i grusvägar är att dess miljöpåverkan följs upp under en fem års period. Med hänsyn till vägkonstruktionens täthet bör tömning av lysimetrarna inte ske oftare än vid två tillfällen per år. Därmed föreslås här att uppföljning av yt-, grund- och lysimetervatten sker två gånger per år. Proverna från lysimetrarna ger ungefärligt samma resultat vad gäller metallhalter (lakbarhet). Mängden vatten som perkolerar igenom vägkonstruktionen bör dock kontrolleras i samtliga lysimetrar två gånger per år.

Nedan sammanställs ett förslag på provtagningsschema. Analys sker på samlingsprover med ungefär motsvarande täthet. Vid det första mättillfället utfördes mätning i vattenprover från samtliga lysimetrar, exklusive de som inte gav vatten. Referenslysimetern var torr vid det första provtagningstillfället, maj 2005.

Prov till analys V-3a (filtrerin, pH och kond.)	Antalet prover per år				
	År 1	År 2	År 3	År 4	År 4
Lysimeter k < 5 liter/m ² och år (samlingsprov)	1	2	2	1	1
Lysimeter k 5 - 10 liter/m ² och år (samlingsprov)	1	2	2	1	1
Lysimeter k > 10 liter/m ² och år (samlingsprov)	1	2	2	1	1
L referens	1				1
Grundvattenrör ref	1				1
Grundvattenrör 1	1	1	1	1	1
Grundvattenrör 2	1	1	1	1	1
Grundvattenrör 3	1	1	1	1	1
Grundvattenrör 4	1	1	1	1	1
Ytvatten, Vändplan	1	1	1	1	1
Ytvatten referens	#				1
Summa analysers	11^{&}	11	11	11	11

Analys maj 2005.

& Plus 12 analyser (V-3a) från maj 2005.

4.8.1 Provtagning maj 2005

Den första provtagningen av yt-, grund och lysimetervatten utfördes den 13 maj 2005, ca 9 månader efter installation av grundvattenrören och lysimetrarna. Nio lysimetrar installerades under vägen, varav en under referenssträckan, se tabell 6.

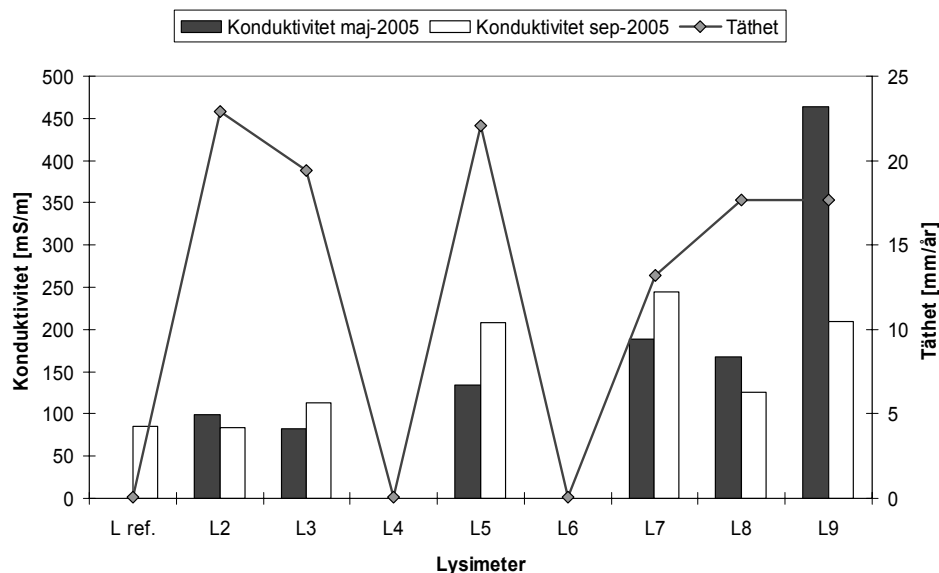
Tabell 6 Vattenprover från lysimetrar (L), grundvattenrör (Gv) och ytvatten (Ytv.) (maj 2005).

Table 6 Water samples from lysimeters (L), ground water tubs (GV) and surface water (Ytv.) (May 2005)

Prov	Sträcka	Permeabilitet efter	Permeabilitet efter	Beskrivning
		0,6 år [liter/m ² och år]	1 år [liter/m ² och år]	
L 1	Referens	-	0,1	Inget vatten
L 2	4	28	23	Klart vatten
L 3	7	8	19	Klart vatten
L 4	10	-	0,1	Inget vatten
L 5	11	15	22	Klart vatten
L 6	14	-	0,1	Inget vatten
L 7	16	11	13	Klart vatten
L 8	20	16	18	Klart vatten
L 9	Vändplan	8	18	Klart vatten
Gv-referens	Referens			Grumligt
Gv 1	7			Grumligt
Gv 2	9			Grumligt
Gv 3	11			Inget vatten
Gv-rör 4	17			Klart
Ytv. 1	Vändplan			Dike
Ytv. referens.	Damm			Transparent

I figur 14 redovisas det flygkastabiliserade vägmaterialets täthet ovanför respektive lysimeter. Mängden vatten som perkolerar igenom vägkonstruktionen och samlas upp i

lysimetrarna är mellan 0 – 25 liter/m² och år. Referenslysimetern var helt torr vid det första mättillfället. Lysimetrarna 4 och 6 var torra vid båda mättillfällena. Största mängden vatten uppsamlades i lysimeter 2 och lysimeter 5. Uppmätta konduktivitetvärden minskar i vissa fall och ökar i andra fall med tiden.



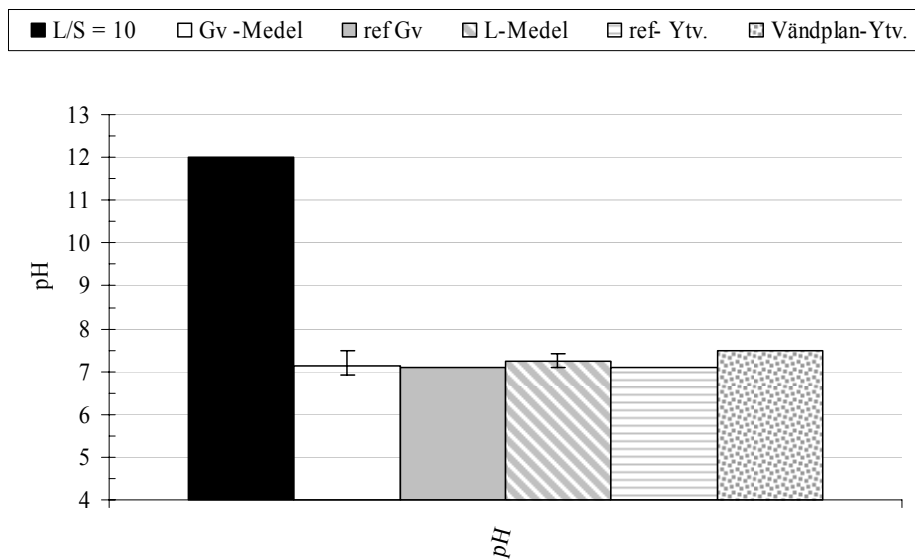
Figur 14 Lysimeterprovernans konduktivitet och vägens bedömda täthet längs sträckan.

Figure 14 The conductivity of water samples from lysimeters and the road materials evaluated permeability throughout the road section.

Figurerna 15 – 20 redovisar en sammanställning av erhållna resultat i vattenprover från grundvatten, lysimetrar och från ytvatten. Som jämförelse redovisas även halter i vattenprover från lakningsförsök i laboratorium med L/S-kvot 10.

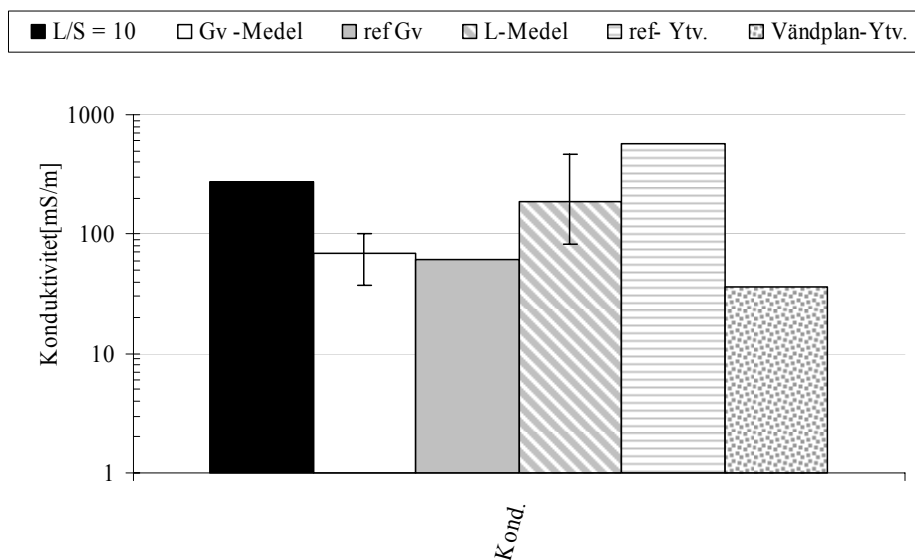
pH och konduktivitet

Resultaten visar att pH i grundvatten från referenspunkten och från sträckan ligger på samma nivå, pH ligger i intervallet mellan 6,8 och 7,5, figur 15. Ytvattnets pH ligger inom intervallet. Det framgår att lakning av flygkastabiliserat grus har ett pH på ca 12. Lysimetervattnets pH ligger i intervallet 7,1 – 7,4.



Figur 15 Grundvatten- (Gv), lysimetervatten- (L) och ytvattenprovers (Ytv.) pH
 Figure 15 pH of ground water (GV), lysimeter water (L) and surface water (Ytv.).

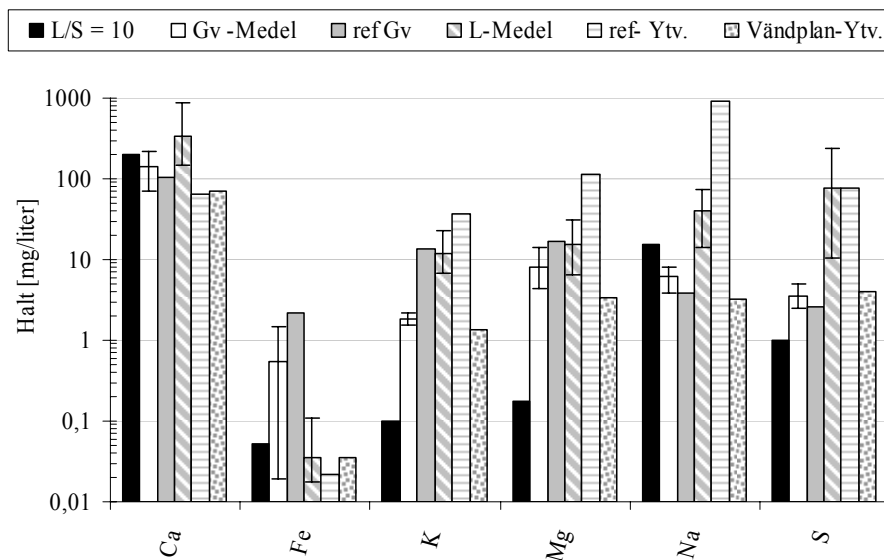
Konduktiviteten i grundvattnet intill vägen varierar mellan 36 mS/m och 102 mS/m med ett medelvärde på 69 mS/m, figur 16. Referenspunktens konduktivitet var 62 mS/m. Lysimetrarna uppvisade förhöjd konduktivitet varierar mellan 82 mS/m och 463 mS/m, med ett medelvärde på 189 mS/m. Ytvattnets konduktivitet vid vändplanet låg runt 36 mS/m.



Figur 16 Vattenprovers konduktivitet i grundvattenrör (Gv), lysimetrar (L) och ytvatten (Ytv.)
 Figure 16 Conductivity of ground water (Gv) lysimeter water (L) and surface water (Ytv.).

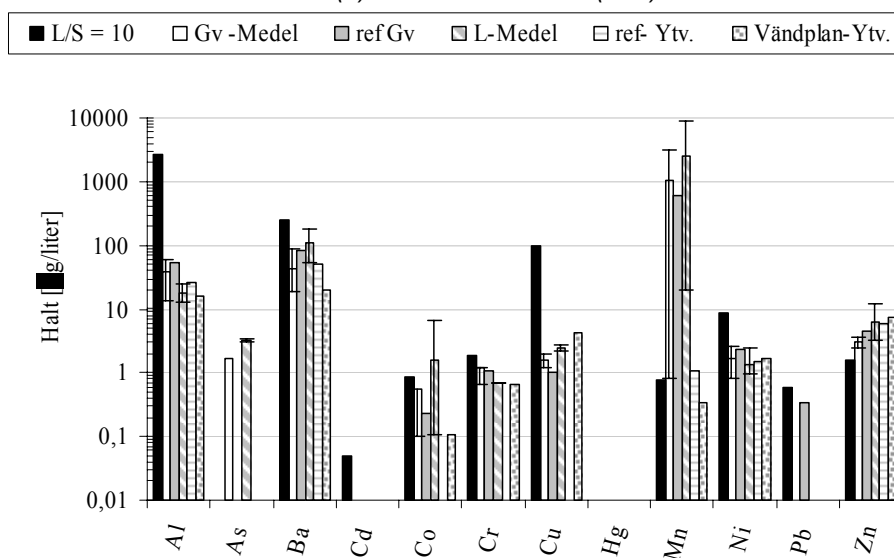
Metallhalter

Undersökningen visar att vid det första mättillfället maj 2005 var halterna av lätt lakbara ämnen som K, Na och sulfat i grund- och ytvattnet längs provsträckan på samma nivå som i referenspunkterna, figur 17. Lysimetrarnas halter av ämnen uppvisar de största variationerna, men ytvattnet i referenspunkten uppvisar högre halter med undantag av sulfater. De övriga metallers halter i grundvattenproverna från provsträckan uppvisar lägre eller i storleksordning samma halter som i referenspunkten, figur 18.



Figur 17 Vattenprovers Ca-, Fe-, K-, Mg- Na- och S-halter i grundvattenrör (Gv), lysimetrar (L) och ytvatten (Ytv.)

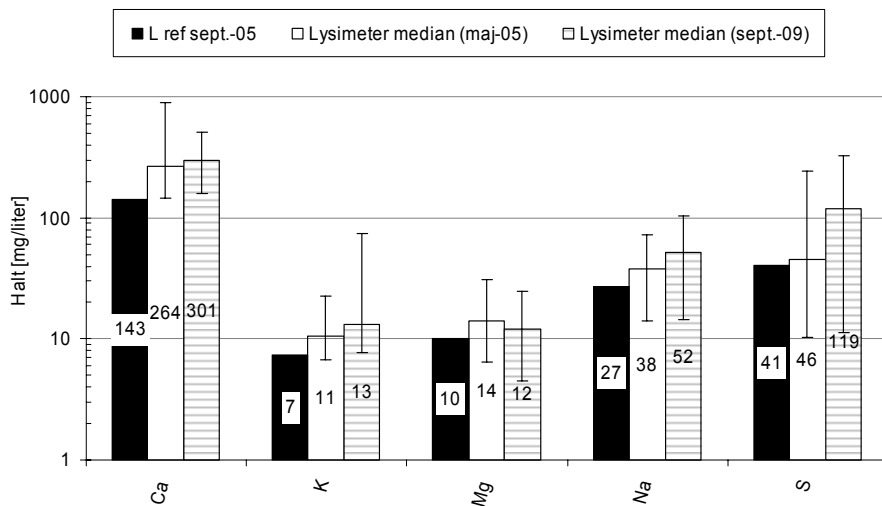
Figure 17 Content of Ca, Fe-, K-, Mg- Na- and S in ground water (Gv), lysimeter water (L) and surface water (Ytv.).



Figur 18 Vattenprovers metallhalter i grundvattenrör (Gv), lysimetrar (L) och ytvatten (Ytv.)

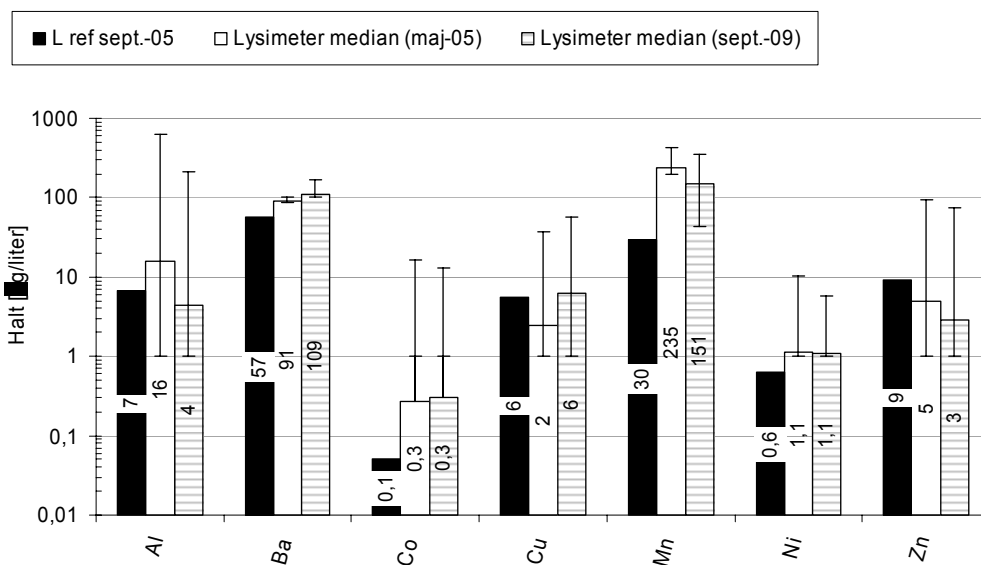
Figure 18 Metal contents in ground water (Gv), lysimeter water (L) and surface water (Ytv.).

I figur 19 visas att medianvärdet på Ca, K, Mg, Na och S ökar från första mätningen i maj till den andra mätningen i september 2005. I figur 20 redovisas uppmätta halter av metaller, som har en tendens att minska under motsvarande tid. Lysimetrarnas halter, redovisas i detalj i bilaga E och F.



Figur 19 Lysimervattnets Ca-, Fe-, K-, Mg-, Na- och S-halter längs sträckan vid två mättillfällen.

Figure 19 Contents of Ca, Fe, K, Mg, Na and S in lysimeter water throughout the investigated road section.



Figur 20 Lysimervattnets metallhalter längs sträckan vid två mättillfällen. Värdet i staplarna anger medianvärdet.

Figure 20 Content of metals in water samples from lysimeters throughout the investigated road section. The values in the diagram are median values.

4.9 Fallviktmätning

Fallviktsmätning utfördes 11 maj 2004 innan vägen renoverades och 15 september 2005 ca 12 månader efter renoveringsarbetet. Resultat och slutsatser från mätningarna med redovisas i sin helhet i bilaga H. Fallviktsmätningen utfördes på hela sträckan, 1600 m. Grundvattennivån i området har sänkts från hösten 2004 till hösten 2005. Såväl ytmodul¹ undergrundsmodul² och SCI³ varierar mellan de olika delsträckorna, figurerna 21, 22 och 23. Resultaten i sin helhet redovisas i bilaga H.

Hela sträckan delas därför in i fyra vägavsnitt, där:

- Sträckan 0 – 400 m är enbart renoverad med grus (referens)
- Sträckan 400 – 800 m är renoverad genom att flygaska/grus har lagts ut i ca 0,2 m skikt.
- Sträckan 800 – 1200 m är renoverad genom att flygaska/grus har lagts ut i 0,2 – 0,3
- Sträckan 1200 – 1600 m är renoverad genom på motsvarande sätt som delsträckan 800- 1200 m.

Sträcka 0 – 400 m

Vägavsnittet renoverades enbart med slitlager. Vägens standard bedömdes vara bättre än resten av sträckan. Yt- och undergrundsmodulen liksom SCI är bättre under hösten än under våren. Under maj försämras bärigheten av tjällossning och snösmältning.

Sträcka 400 – 800 m

Efter det att flygaskan har lagts ut har bärigheten överlag förbättrats. Yt-modulen liksom SCI har förbättrats för sträckan. Undergrundsmodulen har ökat något längs sträckan. Detta antas till stor del bero på sänkning av grundvattenytan. Flygaska blandat med grus (FBG) har lagts ut i ca 0,2 m tjocklek

Sträcka 800 – 1200 m

Efter det att flygaskan har lagts ut har bärigheten överlag förbättrats. Yt-modulen liksom SCI har förbättrats för sträckan. Undergrundsmodulen var oförändrad längs hela sträckan. FBG har lagts ut i 0,2 m tjocklek.

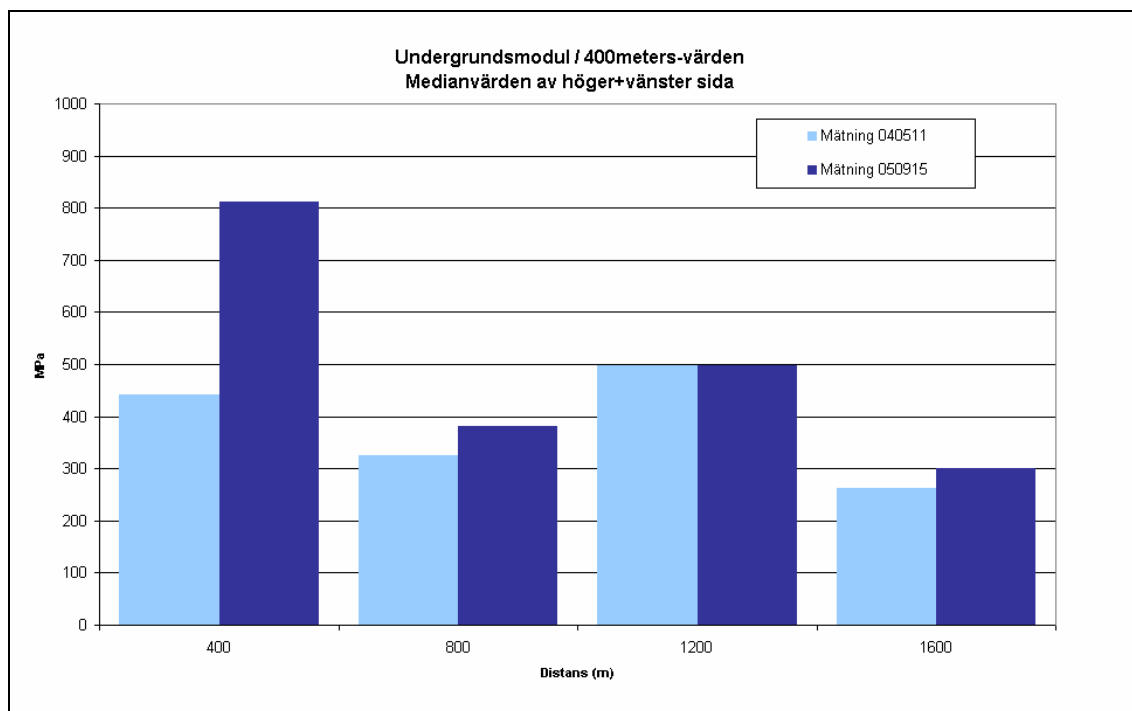
Sträcka 1200 – 1600 m

Efter det att flygaskan har lagts ut har bärigheten försämrats något. Yt-modulen blev marginellt lägre och vägens styvhet minskade. Undergrundsmodulen har ökat något längs hela sträckan. FBG har lagts ut i 0,2 – 0,3 m tjocklek

¹ Ytmodulen beskriver hela konstruktionens bärighetsförmåga. En hög ytmodul tyder på en styv och stark konstruktion. Undergrunden har stort inflytande på den beräknade ytmodulen.

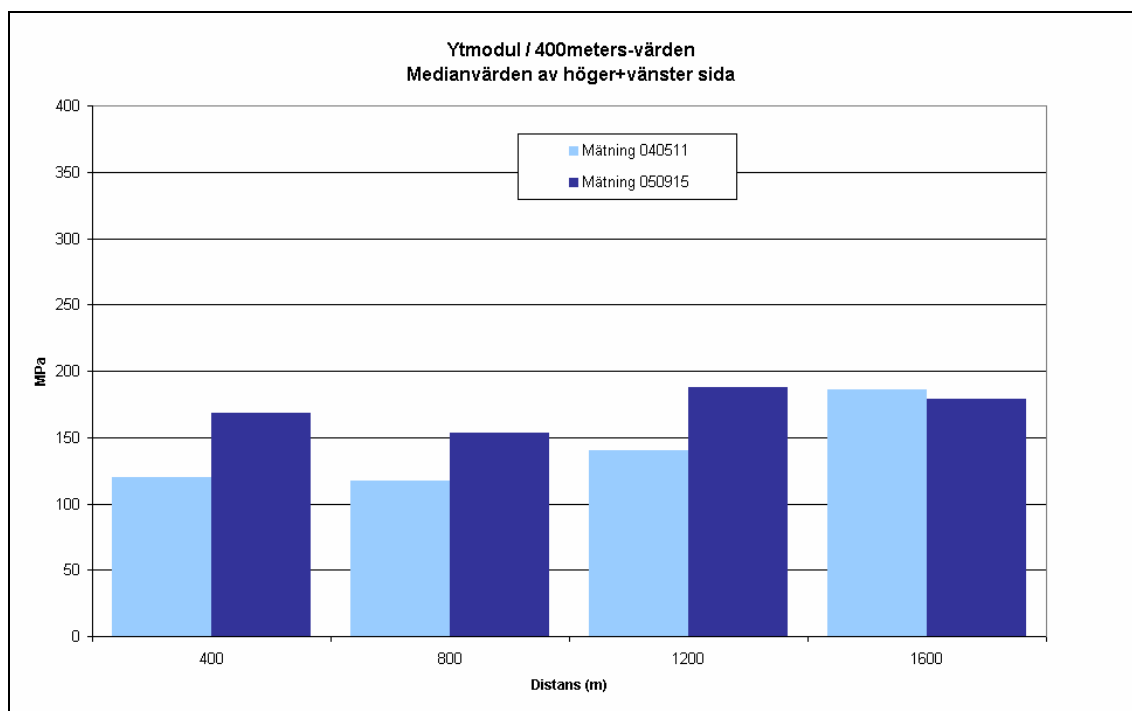
² Undergrundsmodulen beskriver undergrundens bärighetsförmåga. En hög modul visar på en stark konstruktion.

³ SCI är ett relativt jämförelsemått på styvheten för den övre delen av konstruktionen (främst de översta 300 mm). Ju lägre SCI-värde, desto styvare (och därmed starkare) konstruktion.



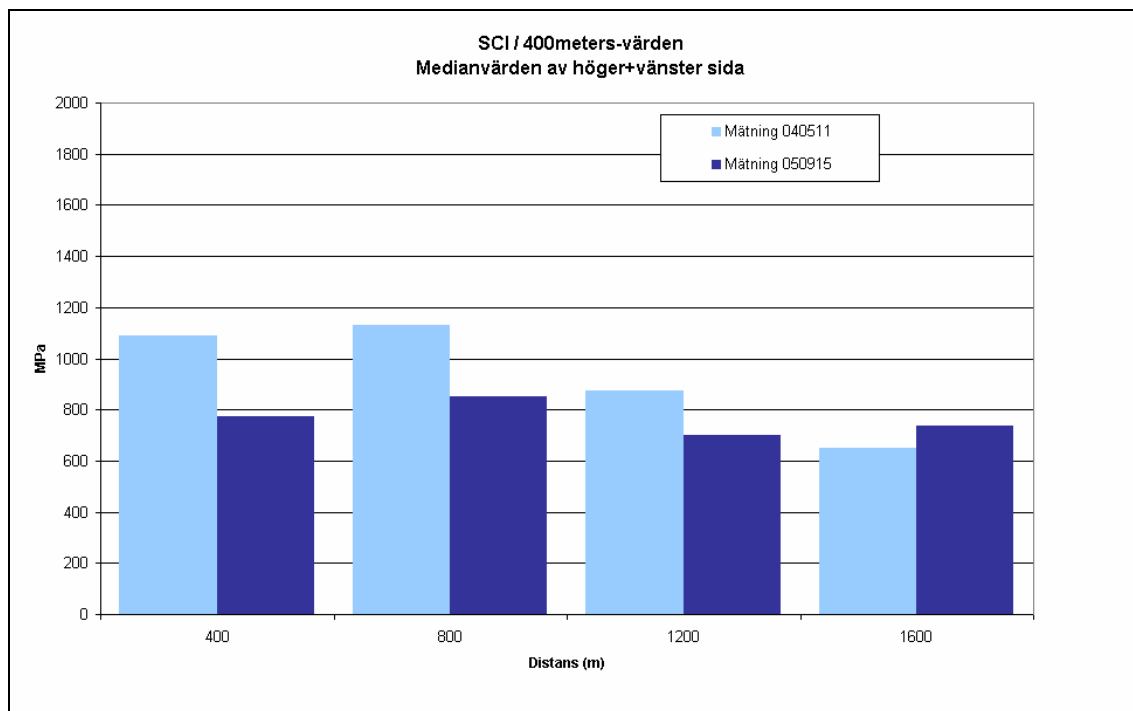
Figur 21 Uppmätta undergrundsmoduler från före- och efter stabilisering av vägen. Medianvärden över 400m.

Figure 21 Registered underground modulus before and after stabilisation of the road sections. Median values of 400 m road sections.



Figur 22 Uppmätta ytmoduler från före- och efter stabilisering av vägen. Medianvärden över 400m.

Figure 22 Registered surface modulus before and after stabilisation of the road sections. Median values of 400 m road sections.



Figur 23 Uppmätta SCI från före- och efter stabilisering av vägen. Medianvärden över 400m.

Figure 23 Registered SCI values before and after stabilisation of the road sections. Median values of 400 m road sections.

5 Resultatanalys

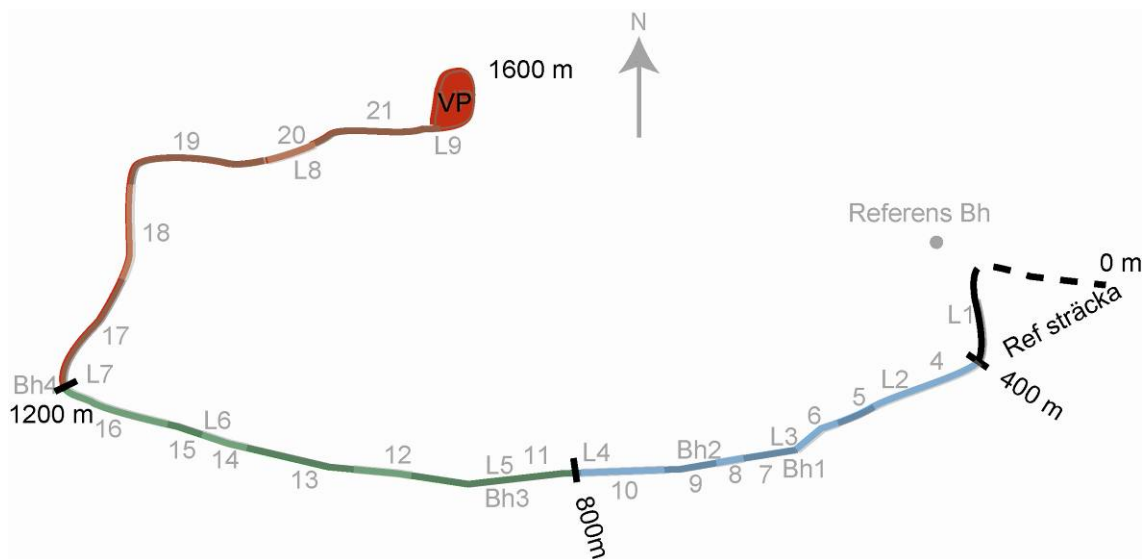
Ehnsjövägen, figur 24, som är ca 1600 m lång, varav ca 1200 m (sträcka 400 – 1600 m) förstärktes med ett 0,2 – 0,3 m skikt av FBG30 (30 % flygaska blandat med 70 % grus)⁴. I resultatanalysen görs det en sammanvägning av resultat från:

- Bestämning av FBG-materialets miljögeotekniska egenskaper i laboratorium
- Kontroll av torrdensitet fält längs sträckan
- Kontroll av åtgärdens bärighetshöjande effekt (fallviktsmätning)
- Kontroll av miljö, dvs. vattenanalyser på lysimeter-, grund – och ytvatten.

Hela sträckan delades in i fyra vägavsnitt, där:

- Sträckan 0 – 400 m är enbart renoverad med grus (referens)
- Sträckan 400 – 800 m (delsträcka 4 -10) stabilitetshöjande åtgärd genom att FBG har lagts ut i 0,2 m.
- Sträckan 800 – 1200 m (delsträcka 10 -16), stabilitetshöjande åtgärd genom att FBG har lagts ut i 0,2 – 0,3
- Sträckan 1200 – 1600 m (delsträcka 16 – vändplan, VP) stabilitetshöjning på motsvarande sätt som på delsträckan 800- 1200 m.

Sträckan 1200 – 1600 m är kuperad, medan resterande sträckorna är flacka.



Figur 24 Sträckindelning med lysimetrarnas (L) och grundvattenrörens (Bh) positioner.

Figure 24 Road sections with lysimeter (L) and ground water tub (Bh) positions.

5.1 Laboratorie vs fält

Flygaska blandat med grus (FBG) undersöktes i laboratorium med olika andel tillsats av flygaska. Grusmaterialet utan inblandning av flygaska har en torrdensitet på ca 2100

⁴ Vikt-% på torrsubstans

kg/m³ och materialets optimala vattenkvot⁵ var 8 -9 %. Vid 20 % tillsats av flygaska (FBG20) var den maximala torrdensiteten 1870 kg/m³ medan materialets optimala vattenkvot var 12 %. Vid 30 % tillsats av flygaska (FGB30) var den maximala torrdensiteten 1750 kg/m³ medan dess optimala vattenkvot var ca 15 %. Enbart flygaska hade en maximal torrdensitet på ca 960 kg/m³ vid optimal vattenkvot på 35 – 50 %. Förutom packningsenergin beror FBG-materialets torrdensitet på andelen flygaska-grus och den vattenkvot vid vilken materialet packas. FBG-materialets maximala torrdensitet minskar med ökande mängd tillsatt flygaska, samtidigt som materialblandningens optimala vattenkvot ökar. Av de undersökta materialen hade FBG30 de bästa tjälegenskaperna och högst frostbeständighet. Tillsats av exempelvis cement kan höja frostbeständigheten ytterligare.

På Ehnsjövägen (sträcka 400 – 1600 m) planerades bärighetshöjande åtgärder med FBG30, dvs. 30 % tillsats av flygaska. I tabell 8 redovisas bl.a. medianvärdet och medelvärde för FBG-materialets vattenkvot och torrdensitet längs provsträckan. Fältundersökningen visar på stor variation hos materialets torrdensitet och vattenkvot längs provsträckan, se även figurerna 25, 26 och 27. I fält var det svårt att styra mängdförhållandet mellan grus och flygaska och därmed även den vattenkvot som krävdes för att uppnå optimal vattenkvot och därigenom optimalt packningsförhållande. Packning utfördes med samma energimängd längs hela sträckan, dvs. med 5 – 6 överfarter med vibrator. Densitetsvariationen antas därför bero på att andelen flygaska och andelen grus varierar längs sträckan. Denna variation medför att materialets optimala vattenkvot varierar.

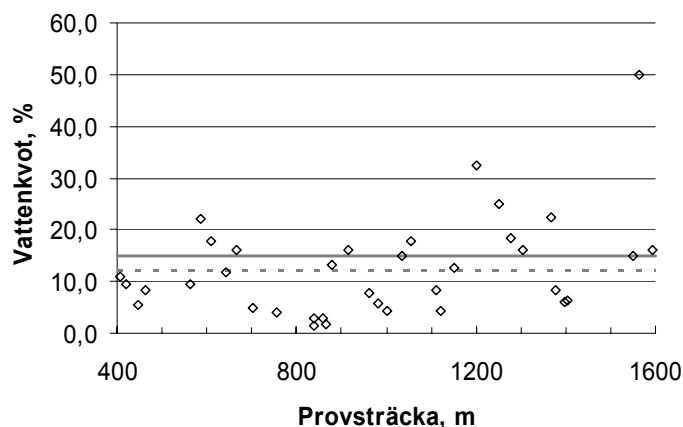
Tabell 8 *FBG-materialens vattenkvot och torrdensitet i fält längs provsträckan.*
Table 8 *Water content and dry density of fly ash mixed with gravel.*

	w, %	Torrdensitet, kg/m³
Median	9,5	1595
Min	1,5	942
Max	49,9	2172
Medel	12,3	1551
Standardavvikels e	9,6	324

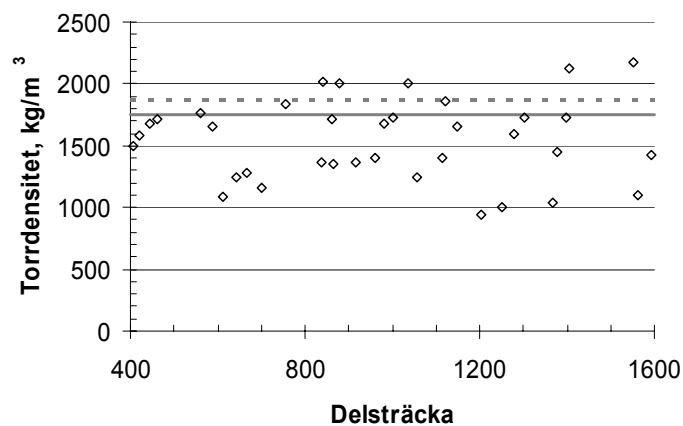
En mer detaljerad redovisning av vattenkvot och densitet redovisas i bilaga G. Högt torrdensitet, > 2000 kg/m³ tyder på flygaskatillsats under 10 %, medan låg torrdensitet indikerar andel flygaska som är över 30 %. Torrdensitet under 1000 kg/m³ indikerar att materialet består enbart av flygaska. Under optimala blandnings- och packningsförhållanden har FGB30 en densitet på 1700 – 1750 kg/m³. Optimal vattenkvot för att uppnå maximal densitet ligger på ca 15 %.

Som det framgår av figurerna 25a och 25b varierar vattenkvoten och uppnådd torrdensitet längs sträckan. Den stora variationen tyder på att FBG-materialets andel av flygaska varierar.

⁵ Optimal vattenkvot – den vattenkvot vid vilken maximal densitet kan uppnås vid packning.



a)

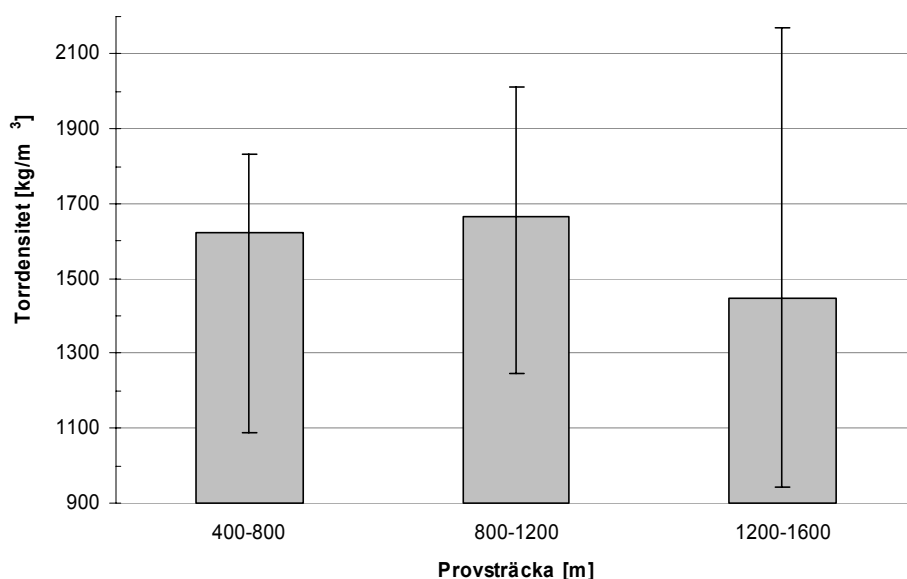


b)

Figur 25 Vägmaterialalets vattenkvot (a) och torrdensitet (b) i fält. Streckad linje representerar optimal vattenkvot (wopt 12 %) för FBG20 och den heldragna linjen optimal vattenkvot (wopt 15 %) för FBG30.

Figure 25 Water content (a) and dry density (b) of fly ash stabilised gravel from different parts of the road section. Optimal water content for 20 % fly and 30 % fly ash additive is 12% respectively 15 %.

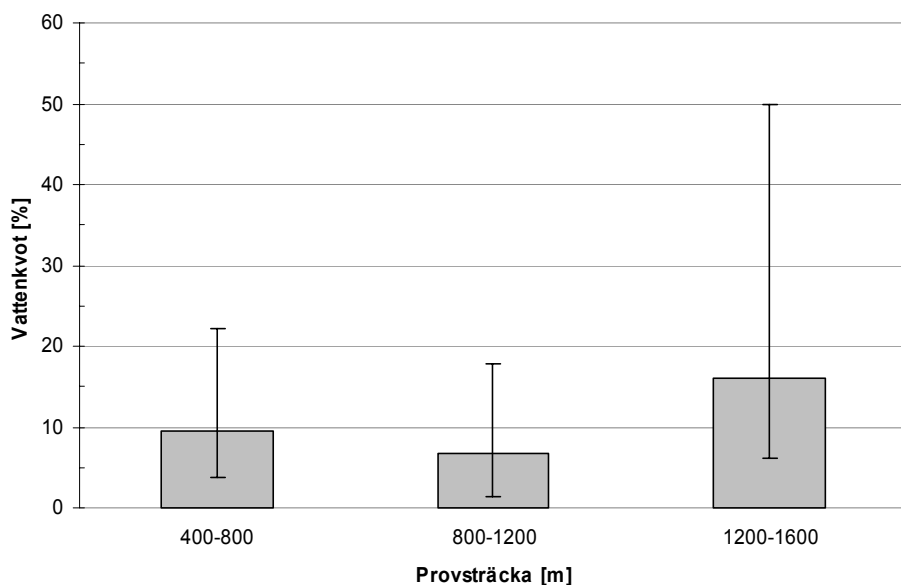
Figurerna 26 och 27 redovisar medianvärdet för torrdensiteten och vattenkvoten samt maximala och minsta värdena för respektive enhet. Det framgår att provsträckorna 400 – 800 m och 800 – 1200 m har en torrdensitet på ca 1650 kg/m³ medan sträckan 1200 – 1600 m har ett lägre medianvärde på torrdensiteten, ca 1450kg/m³ och vattenkvoten uppvisar stor variation.



Figur 26. Vägmaterialets torrdensitet i fält, medianvärden samt högsta och lägsta värden.

Figure 26 Dry density of fly ash stabilised gravel from different parts of the road section, median, maximum and lowest values.

Vattenkvoten hos det utlagda materialet varierar längs hela sträckan, sträcka 400 – 800 m hade ett medianvärde på 10 %, sträcka 800 – 1200 m ett medianvärde på ca 7 %, medan sträckan 1200 – 1600 m hade ett medianvärde på ca 16 %. Sista delsträckan uppvisar dock stor variation i materialets vattenkvot. Effekten av de höga vattenkvotsvärdena är att packningsgraden blir lägre.

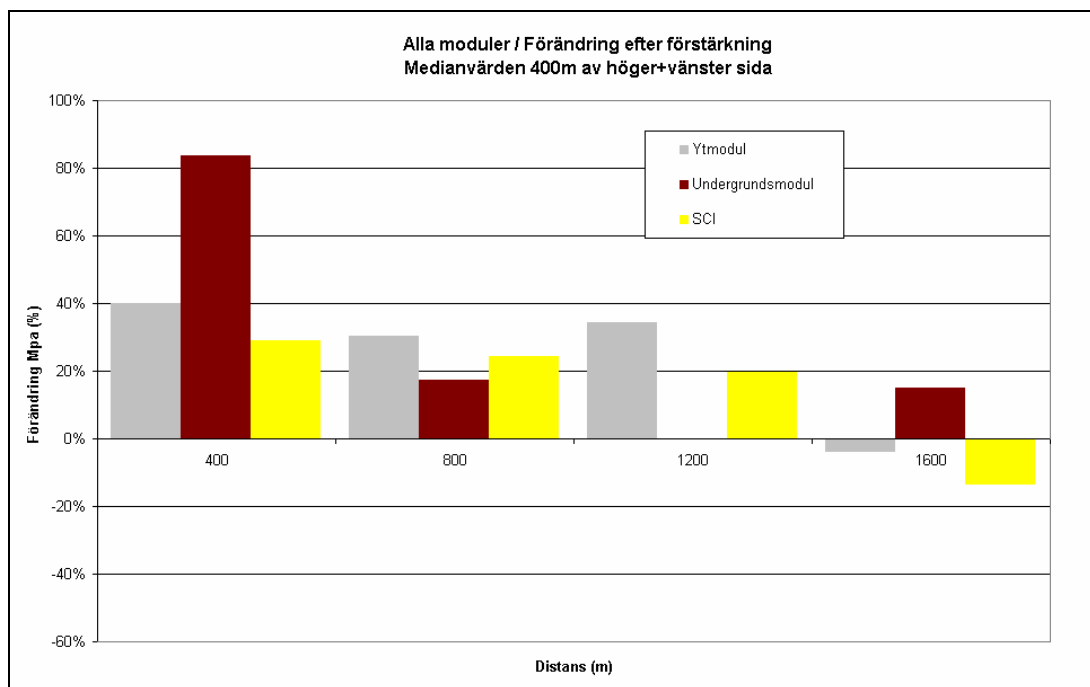


Figur 27 Vägmaterialets vattenkvot i fält, medianvärden samt högsta och lägsta värden.

Figure 27 Water content of fly ash stabilised gravel from different parts of the road section, median, maximum and lowest values.

5.2 Bärighet

Längs referenssträckan har konstruktionens bärighetsförmåga förbättrats mycket tack vare att undergrundsmodulen blev bättre. Mindre vatten i undergrunden ger en styvare konstruktion och högre undergrundsmodul. Den första mätningen utfördes under våren då marken var mer vattenmättad. Ytmodulen ökade med ca 40 % (dvs vägens elasticitetsmodul, E-modul, är 40 % högre vid den andra mätningen) och undergrundsmodulen har ökat med > 80 %, figur 28.



Figur 28 Sammanställning över resultatet. Medianvärden över 400m.

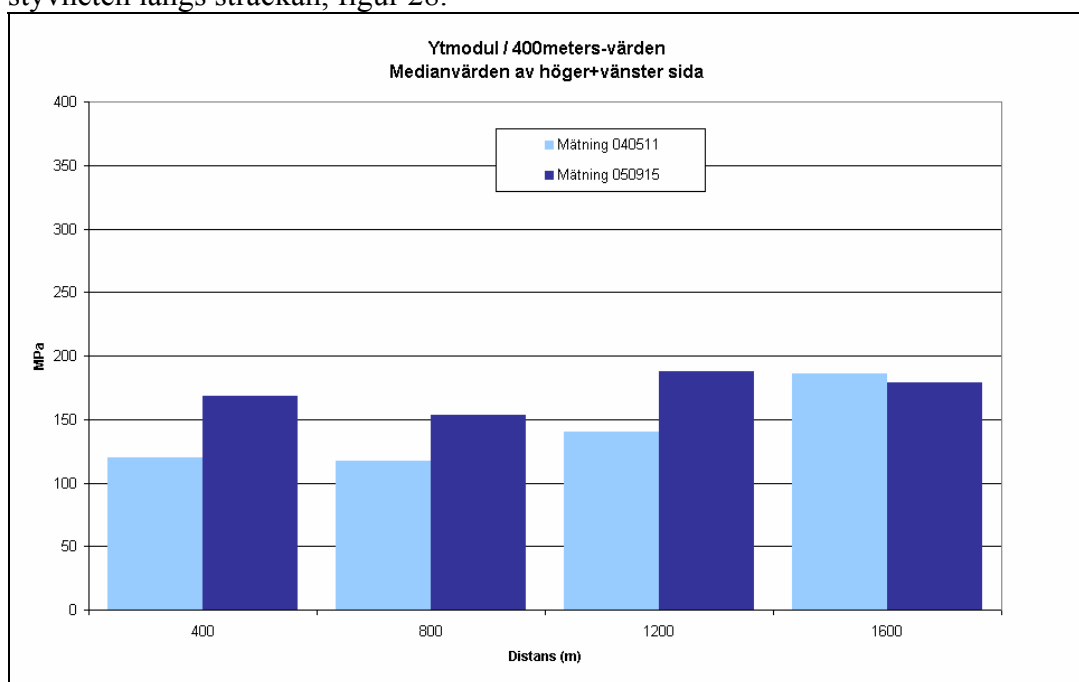
Figure 28 Improvements of surface and underground modulus and SCI values after stabilisation of the road sections. Median values of 400 m road sections.

Fallviktsmätningen längs sträckorna med FBG visar att vägens ytmodul (dvs. hela konstruktionens bärighetsförmåga) är allmänt högre efter den stabilitetshöjande åtgärden än före. På provsträckorna 400 – 800 m och 800 – 1200 m har vägens ytmodul och styvhet ökat efter renoveringsåtgärden. Undergrundsmodulens bidrag till höjningen var liten jämfört referenssträckan. På sträcka 800 – 1200 m var undergrundsmodulen oförändrad. På sträcka 400 – 800 m ökade ytmodulen med ca 30 % medan undergrundsmodulen ökade med ca 18 %. På sträcka 800 – 1200 m var undermodulen oförändrad medan ytmodulen ökade med > 30 %, figur 28. FBG-materialets torrdensitet längs sträcka 400 – 1200 m låg runt 1650 kg/m³.

För provsträcka 1200 – 1600 m visar fallviktsmätningen att ytmodulen var marginellt lägre än den var från början. Hela konstruktionens bärighetsförmåga är dock i samma storleksordning som de övriga FBG sträckorna och referenssträckan vid höstmätningen 2005. Denna sträcka har något lägre torrdensitet jämfört med de övriga FBG-sträckorna, ca 1450 kg/m³. Den lägre densiteten kan förklaras dels med att andelen av flygaska var högre än 30 % och dels att den vattenkvoten var högre än den optimala. Trots den lägre

densiteten uppvisar konstruktionen högre styvhet än referenssträckan vid höstmätningen, figur 29.

Enstaka mätpunkter kan innehålla värden som saknar betydelse för utredningen, främst på grund av enstaka förekomster av ytligt berg. Det bör noteras att ytmodulen och SCI värdet påverkas ”negativt” av att ytnära berg täcks med FBG-skikt efter upprustningen av vägen. Detta ger ett skenbart lägre bärighetsvärde. På sträcka 1200 – 1600 finns det två sträckor, totalt ca 100 m, med ytnära berg. Genom att 0,2 – 0,3 m FBG-material har lagts ut på befintlig vägyta ger detta en skenbar försämring av vägens bärighetsförmåga och styvhet. Detta förklarar en del av den skenbara sänkningen av bärigheten och styvheten längs sträckan, figur 28.



Figur 29 Uppmätta ytmoduler från före- och efter utläggning. Medianvärden över 400m.

Figure 29 Registered surface modulus before and after stabilisation of the road sections. Median values of 400 m road sections.

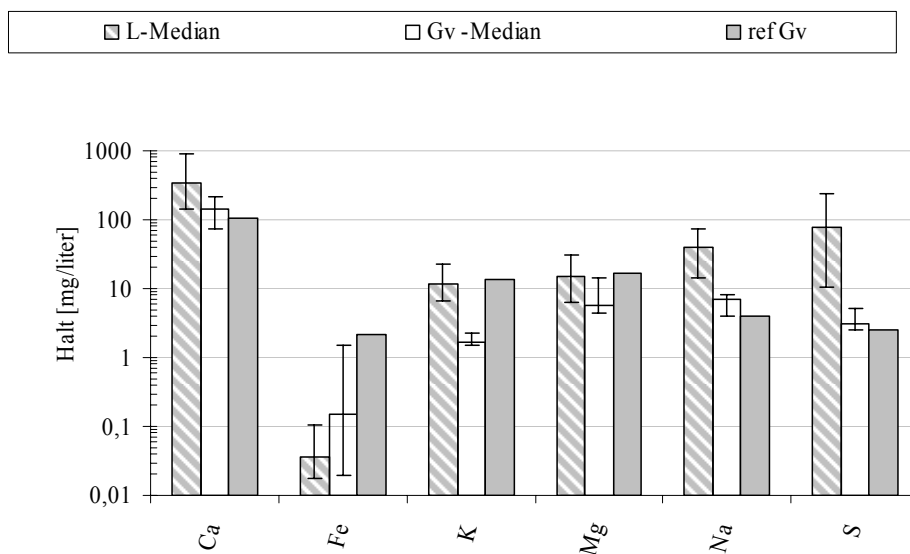
Vid den okulär besiktning av vägen under maj 2005 var det tydligt att den det stabiliserade grusmaterialet påverkades negativt av tjäle under det första året. Flygaskor hårdar långsamt och baserat på bl. a. finska erfarenheter kommer bärigheten att öka med tiden [6].

5.3 Miljö

Under bär-/skyddslagret som består av FBG-material installerades åtta lysimetrar. Längs sträckan installerades också fem grundvattenrör i vägdiket, dvs. 3 – 4 m från vägmitt. Vid provtagningen i maj 2005 togs det grundvattenprover, men vid provtagningen i september 2005 var grundvattenrören torra. Även ytvattendiket som provtogs i maj 2005 var torrlagt i september samma år.

Vägens genomsläpplighet (täthet) är mindre än 25 mm vatten/år, medianvärdet ligger på 17,5 mm vatten /år. Detta medför att L/S-kvoten som uppnås i FBG-skiktet är < 0,1 per år. Förutsatt att tätheten bibehålls kommer det ta ca 10 år innan L/S-kvot 1 uppnås.

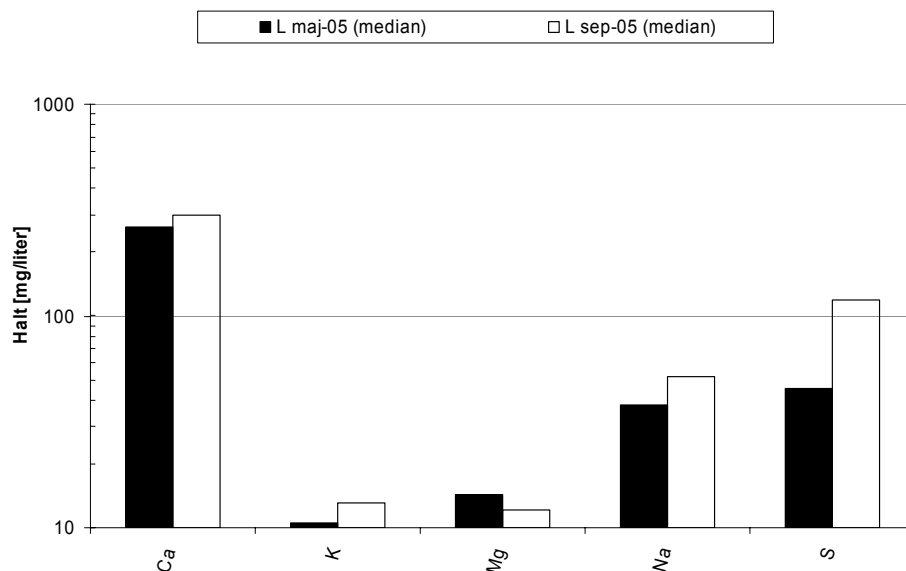
Halterna av lakbara ämnen som Ca, K, Mg, Na och S i lysimetrarna är förhållandevis högre än i grundvattnet intill vägen, figur 30. Transporten av utlakade ämnen begränsas av utfällning, mineralisering och utspädning. Undersökningen visar att grundvattnet, 3 – 4 m från vägmitt, var marginellt påverkat i maj 2005 genom förhöjda halter av Ca, Na och S.



Figur 30 Lysimter- och grundvattnets medianvärden av Ca-, Fe-, K-, Mg-, Na- och S-halter längs sträckan efter två mättillfällen.

Figure 30 Contents of Ca, Fe, K, Mg, Na and S in water samples from lysimeters and groundwater samples.

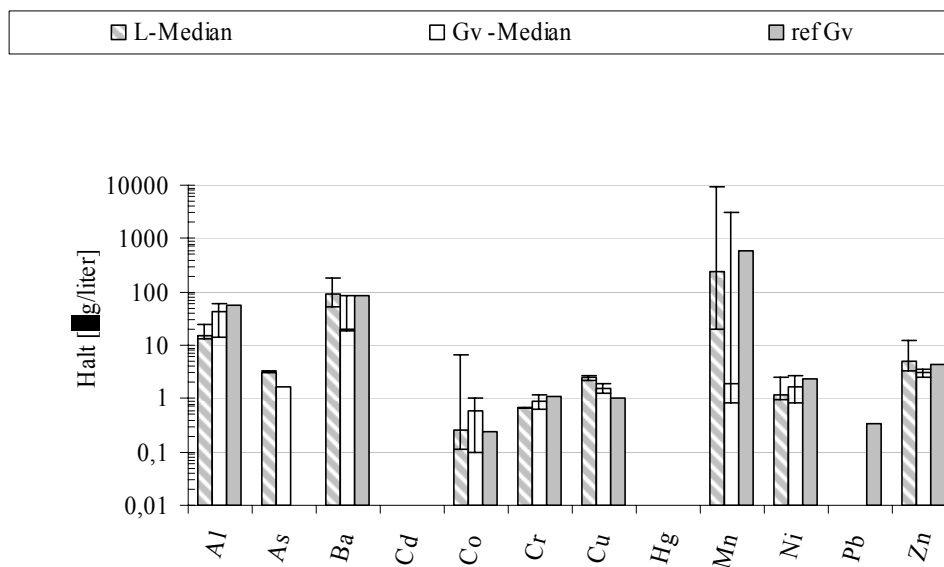
Som det framgår av figur 31 ökade lysimeterprovernans halter av Ca, K, Na och S från mätningen i maj 2005 till mätningen i september 2005. Grundvattenprover kunde tas eftersom dessa var torra vid provtagningstillfället i september 2005.



Figur 31 Lysimeterprovernans Ca-, Fe-, K-, Mg-, Na- och S-halter i maj och september 2005.

Figure 31 Contents of Ca, Fe, K, Mg, Na and S in water samples from lysimeters in May and September 2005.

Metallhalterna i lysimetervattnet, i grundvattnet intill vägen (3-4 m från vägmitt) och i referensgrundvattnet låg på samma nivå vid provtagningstillfället i maj 2005. Grundvattnet i referenspunkten har exempelvis högre halter av Pb men lägre halter av Cu och Co än grundvattnet längs sträckan, figur 32.

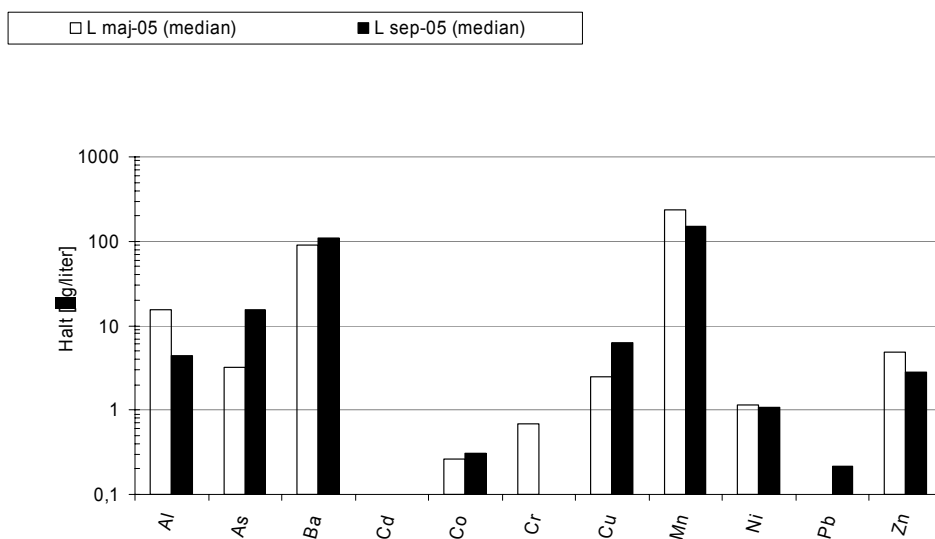


Figur 32 Lysimeter- och grundvattnets (referenspunktens) medianvärden av metaller längs sträckan efter två mättillfällen.

Figure 32 Contents of metals in water samples from lysimeters and groundwater samples.

Som jämförelse kan nämnas att riktvärdet för Cu i dricksvatten (enligt livsmedelverkets kungörelse, SLV FS 2001:30) är 20 µg/liter, medan lysimetervattnets halter var < 3 µg/liter. Riktvärdet för Zn i dricksvatten (enligt livsmedelverkets kungörelse, SLV FS 1993:35) var 300 µg/liter, medan lysimetervattnets halt efter ett år var < 12 µg/liter. Lysimetervattnets medianhalter av Ca och sulfater överskrider halterna ”tjänligt med anmärkning” (SLV FS 1993:35).

Lysimeterprovernans metallhalter ändrades marginellt från maj 2005 till september 2005. Ändringarna är marginella och vissa ämnen minskar andra ökar i halt, figur 33. Lysimetervattnets och grundvattnets halter av metaller, pH och konduktivitet kommer att följas upp under en fem års period.



Figur 33 Lysimeterprovernans metallhalter i maj och september 2005.

Figure 33 Contents of metals in water samples from lysimeters in May and September 2005.

Grundvattenytan låg > 0,5 m under det flygkastabiliserade skiktet sedan vägen åtgärdades. Lakningen var därmed begränsad till den del av nederbörden som har perkolerat igenom FBG-materialet. Av en nederbörd på 700 – 750 mm/år är det ca 18 mm/år (medianvärde) som har perkolerat igenom FBG-skiktet.

FBG-materialets täthet kombinerat med låg utlakningsintensitet medför att grundvatten tre till fyra meter från vägmitt uppvisar marginellt förhöjda halter av lätt lakbara ämnen som Na, K, sulfater etc., medan halterna av tungmetallerna ligger i samma storleksordning som grundvatten från referensen.

6 Slutsatser

Laboratorieundersökningen visar att flygaska blandat med grusmaterial (FBG) har metallhalter som ligger inom intervallet hos naturlig jord. Lakbarheten i laboratorium av olika metaller från grusmaterial respektive från stabiliserat grusmaterial är i paritet med varandra. I laboratoriet lakar vissa metaller, som koppar och nickel, mer från det stabiliserade gruset, medan grusmaterialet lakar mer aluminium, bly, zink och arsenik. Flygaska ger upphov till förhöjda halter av bl.a. Ca, Mg, Na, K och sulfater. Miljöer där FBG-materialet kommer i direktkontakt med yt- och/eller grundvatten bör undvikas, eftersom utlakningen intensifieras.

FBG-material med 10, 20 och 30 % tillsats av flygaska undersöktes i laboratorium. Undersökningen visade att FBG30 gav högsta hållfastheten och var mest frostbeständig av de undersökta materialen. FBG-materialets frostbeständighet kan förbättras med hjälp av tillsats av bindemedel som cement, merit etc. Vid tillsats av bindemedel kan vägen vara beständig även under den första tjällossningsperioden. Utan bindemedel bör vägen inte belastas med trafiklast under den första tjällossningsperioden. Till fältförsöket användes FBG30, dvs. 30 % tillsats av flygaska utan tillsats av bindemedel eftersom vägen inte skulle belastas under det första året.

Den aktuella flygaskan från Holmen Paper Hallstavik kan mellanlagras i stackar i upp till tre veckor utan nämnvärd förändring av dess vattenkvot. Andra flygaskor kan ha andra lagringsegenskaper och kan härda snabbare eller långsammare. I det aktuella fallet var det enbart ytskiktets vattenkvot, ca 0,1 – 0,2 m som har påverkats av nederbörd under lagringstiden.

Vid upprustningen av skogsbilvägen användes en grävmaskin och en väghyvel. Grävmaskinen jämnade ut stackarna med flygaska i ca 0,2 – 0,3 m skikt längs vägen. Flygaskan jämnades sedan med väghyvel, varefter grus lades ut med grusbil. Grusmaterialet var krossat berg (fraktion 0 – 16 mm). Väghyveln blandade flygaska med grus innan FBG-materialet packades med en vibrovält med 5 – 6 överfarter. För att höja FBG-materialets vattenkvot och möjliggöra packning bevattnades sträckan med hjälp av tankbil. Kontrollen av densitet och vattenkvot hos det utlagda materialet visar att det var svårt att hålla en jämn blandningskvalitet. Torrdensiteten (medianvärdet) hos FBG-materialet längs hela sträckan ligger på ca 1550 kg/m³. FBG30 materialets maximala torrdensitet ligger på 1750 kg/m³. En viktig erfarenhet från den aktuella vägen är att FBG-materialets andel flygaska och vattenkvot varierar och är svår att styra. Vattenkvoten är en viktig aspekt som styr vilken packningsgrad som kan uppnås. Både för höga och för låga vattenkvotsvärden ger sämre packningsgrad och därmed reducerad bärighet hos slutprodukten.

Fallviktsmätningen längs sträckan visade att bärigheten har höjts. Vid fallviktsmätningen ett år efter upprustningen av skogsbilvägen var ytmodulen > 150 MPa längs hela sträckan. Vägens styvhet förbättrades på samtliga sträckor med undantag av sträcka 1200 – 1600 m där styvheten sänktes något. Vägens styvhet är högre än på referenssträckan. Det är denna sträcka som hade den lägsta torrdensiteten i FBG-materialet.

Undersökningen visar att FBG-materialets genomsläpplighet längs sträckan är mindre än 23 mm/år efter det första året. Medianvärdet ligger på 17 mm/år. Årsnederbörds mängden är ca 700 – 750 mm/år.

Tre – fyra meter från vägmitt är grundvattnets innehåll av metaller låga med undantag av lätt lakbara ämnen som Ca, K, Na och sulfat. En förhöjning av konduktivitet kunde också observeras efter det första året. Utlakningen från FBG-materialet begränsas av att det är små mängder vatten som perkolerar igenom FBG-skiktet. Utlakningen av Na, K och S (i form av sulfat) kommer att minska med tiden.

Det fanns tydliga spår att Ehnsjövägen trafikerats av tyngre fordon under tjällossningsperioden. Tydliga hjulspår var synliga 2005-05-13 inom delar av provsträckan. Det bör dock noteras att större delen av vägen inte uppvisade hjulspår.

7 Rekommendationer och användning

I det aktuella fallet utfördes utlastningen av flygaska i stackar. Detta medförde att det krävdes en extra grävmaskin för att jämna av flygaskan i den skiktjocklek som krävdes. I vissa fall hamnade en del flygaska i vattenfyllda vägdiken. Detta medförde att flygaskan blev vattenmättad, vilket i sin tur försämrade materialets packningsegenskaper. För att effektivisera blandningen och begränsa spill av flygaska krävs det att utläggning av flygaska sker med lastbil som kan dosera mängden flygaska på vägen. För att minska damningen bör grusmaterialet läggas ut följd av flygaska.

Tillverkningsprocessen kan effektiviseras om mobil eller stationär anläggning nyttjas, där flygaska blandas med grusmaterial. Vatten kan tillsättas i den mängd som behövs för att uppnå optimal vattenkvot under blandningsprocessen. För att begränsa spill av flygaska bör FBG-materialet läggas ut med lastbil som kan dosera mängden FBG på vägen. Efterarbetet begränsas då till packning av utlagt material. Blandningsförhållanden, vattenkvot och blandningskvalité kan styras med större noggrannhet än vid blandning på vägen.

Hantering av produkter baserade på flygaska skiljer sig från den gängse hanteringen av traditionella material som sand och grus. Detta gäller framför allt med avseende på aspekter som damning, högt pH och känslighet för vatten, t ex nederbörd eller översvämning. Därför ska involverade i utförandet informeras och operatörer inskolas.

Uppläggning av flygaska

Vid eventuell uppläggning av flygaska i anslutning till objektet ska dessa skyddas mot nederbörd. Ett minikrav är att lägga flygaska i ”stackar” med branta sidor som begränsar den effektiva ytan.

Damning

Det blir begränsad damning av fuktiga askor vid utläggning, men om ytorna belastas med trafik innan man får på någon form av täckning (slitlager) sker damning. Detta blir ett större problem sommartid då sol och vind torkar upp ytor med flygaska. Bevattning av ytor ger enbart kortfristig minskning av damningen. Ytor med flygaska ska därför täckas med annat lager så fort den nått rätt nivå. Om vägen/plan skall användas för transporter under byggtiden, grusas den av.

Utläggning och packning

Flygaska eller FBG läggs ut på vägen och eventuellt spill i slänter, dike mm ska omhändertas.

Flygaska eller FBG material ska ej läggas på fruset underlag alternativt inte utsättas för minusgrader under de 7 första dygnet efter utförandet.

Packning är mycket viktig för att erhålla bästa egenskaper hos konstruktionen såväl som hos lager med flygaska. En väl avvägd vattenkvot hos produkten är central för att åstadkomma en hög packningsgrad

För packning rekommenderas ett stegvist förfarande baserat på finska erfarenheter. Efter utläggning av produkt sker packning (utan vibration) med 2 överfarter följt av packning 3-4 överfarter med vibrationsvält. Efter utläggning av överliggande gruslager, ≤ 50 mm, utförs ytterligare packning med vibrationsvält 3-4 överfarter. Packning ska ske till packningsgrad av minst 92 %. För lagertjocklekar se 4.1 och 4.2 nedan. Antalet överfarter kan ökas om kontroll av bärighet på ytan inte resulterar i erforderliga resultat.

Under torra och varma väderleksförhållanden behöver vägen normalt bevattnas (efter installation av slitlager) för att nå optimal hållfasthetsutveckling.

Slit- eller gruslager

Slitlager påförs omedelbart successivt efter det att färdig nivå nåtts alternativt avgrusas ytorna med flygaska. Detta för att reducera damning och erhålla en fastläggning av grusmaterial i produkter med flygaska.

Bevattning

Under torra och varma väderleksförhållanden behöver vägen normalt bevattnas (efter installation av slitlager) för att nå optimal härdning.

8 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Vid renovering av grusvägar har flygaskor nyttjats som stabiliseringsmedel. Flertalet fältundersökningar visar att vanliga flygaskor från biobränslepannor inte ger ett tjälbeständigt material under det första året. Laboratoriestudier visar dock att tillsats av bindemedel i form av cement och/eller merit ger tjälbeständigt material. En jämförande studie där FSG med och utan bindemedel undersöks under flera år vore därför av stort intresse.

Det har byggts ett antal grus- och asfalterade vägar med flygaska i bär- och förstärkningslagret och där sediment, grund- och ytvatten har följts upp med avseende på teknik och miljö. Slutsatser från flera sträckor skulle ge en bättre enhetsbild och större säkerhet vid bedömning av hur flygaska i en specifik applikation och omgivning påverkar sin omgivning. Det är av intresse att utreda att den marginella påverkan på yt- och grundvatten som har kunnat visas inte förvärras på lång sikt. Det pågår arbete med att ta fram en vägledning för att använda restmaterial i vägar, bl.a. flygaska i grusvägar. Inom detta arbete har det aktualiserats att det saknas laboratorie- och fältdata från olika flygaskor, med olika tekniska egenskaper. För att få allmän acceptans bör det visas att vägar upprustade med en flygaskaprodukt (enbart flygaska eller FBG) ger tydlig bärighetshöjande- och frostbeständighetseffekt under många år.

Entreprenadutrustning för att effektivt blanda lägga ut flygaskastabiliserat grus är en annan viktig del i att produktifiera materialet flygaska blandat med grus (FSG). Styrning av vattenkvoten i full skala är en viktig aspekt som styr FBG-materialets packningsgrad.

9 Litteraturreferenser

- [1] J. Mácsik (2003). Askblandningar i anläggningsprocesser (etapp 2). EU:s strukturfond Mål 1 Södra skogslänsregionen. www.z.lst.se/eu/index.htm
- [2] P. Lahtinen (2001). *Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads*. Doctoral Thesis Finnra Reports 70/2001. Helsinki University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki Finland.
- [3] Munde H., Svedberg B., Mácsik J., Ekdahl P., Lahtinen P., Maijala A. och Karlsson K. (publiceras 2005/06). *Vägledning – Flygaska i mark- och vägbyggnad, Grusvägar*. Värmeforskrapport xxx Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- [4] J. Mácsik, B. Svedberg, S. Lenströmer, T. Nilsson, 2004, *FACE, Flygaskor i geotekniska anläggningar, Etapp 1 Inventering/Tillämplighet*. Värmeforskrapport 870 Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- [5] P. Lahtinen P, H. Jyrävä , A. Maijala och J. Mácsik 2004, *Flygaskor som bindemedel för stabilisering av grusmaterial*, Värmeforskrapport 918 Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- [6] Lahtinen (2003): *Personlig kommunikation*. Pentti Lahtinen, Ramböll-Finland.

Bilagor

A Anmälan om miljöfarlig verksamhet - flygaska som förstärkningslager, provsträcka Hallstavik

A.1 Inledning

För att utveckla ett hållbart samhälle på lång sikt erfordras ständigt ny kunskap. Det finns ett tydligt behov av tekniska och praktiska lösningar som syftar till att begränsa uppkomsten av avfall och förbättra hanteringen av det avfall och de potentiella resurser som därmed uppkommer i vårt samhälle. Den nya kunskapen skall svara på hur vi ska:

- Återanvända material.
- Återvinna material för att minska åtgången av andra råvaror och resurser.
- Minska naturresursbehovet.

Flygaskor är ett ur tekniskt synpunkt bra och beprövat vägbyggnadsmaterial. Forskningsresultat från bl.a. finska undersökningar visar att förstärkningslager bestående av flygaskor är ur teknisk, miljömässig och ekonomisk synpunkt ett bra materialval, Lahtinen (2001). Erfarenheter från Finland visar att grusvägar stabiliserade med flygaska fungerar väl även efter 10-15 år efter stabilisering. Motsvarande erfarenhet finns från Uppsala där flygaskastabiliserad grusväg fungerar väl efter ca två år.

Syftet med det nu föreslagna projektet är att utvärdera tekniska och miljömässiga egenskaper på en grusvägssträcka där flygaska används som förstärkningslager.

Administrativa uppgifter (ska denna information vara med i rapporten?)

<i>Verksamhetsutövare</i>	Holmen Paper
<i>Adress</i>	Hallsta pappersbruk 763 81 Hallstavik
<i>Kontaktperson</i>	
<i>Fastighetsbeteckning</i>	Varsvik 9:2
<i>Fastighetsägare</i>	Holmens Bruk AB care of Holmen Skog AB 740 11 Länna

A.2 Bakgrund

Det finns stora problem beträffande bärigheten på sträckor på bl a Holmen Papers grusvägar. Många vägar stängs av under tjällossningen p g a den dåliga bärigheten längs vissa sträckor. Genom att nyttja flygaska som förstärkningslager vid dessa ”problemsträckor” kan tjälskadorna minimeras. Underhållsbehoven minskar därmed samtidigt som vägarna kan hållas öppna under tjällossningen. Flygaskor har isolerande egenskaper vilket gör att tjälnedträngningen blir mindre och tjälskadorna uteblir. Genom att nyttja flygaskor i vägkonstruktioner minskar användandet av ändliga naturresurser som grus och berg.

Vid pilotförsöket i Hallstavik kommer en blandning av flygaska och grusmaterial att nyttjas som förstärkningslager och undersökas med avseende på geotekniska egenskaper. Pilotförsöket kommer även att dokumenteras vad gäller miljögeotekniska egenskaper som totalinnehåll, lakbarhet och omgivningspåverkan.

Flygaskan undersöktes av SCC VIATEKs laboratorium i Finland med avseende på dess geotekniska egenskaper. Baserat på dessa resultat togs en blandning av färsk flygaska och grusmaterial fram.

Holmen Papers pappersbruk i Hallstavik, Hallsta pappersbruk, har tre pannor. Flygaskan som ska användas som vägbyggnadsmaterial kommer från två pannor; HP3 och A-pannan. Bränslet till dessa pannor är bark, RT-flis, flis, returpappersslam och avloppsslam. Lakningsförsök som har utförts på flygaskan indikerar att lakningen av spårämnen är begränsad, se bilaga D.

Tabell 1. Sammanställning av tillgänglig information om flygaskan.

Panna HP3	Två cyklonugnar av typ Axon
Panna A	BFB
Årsproduktion	12000 ton flygaska/år
Miljöanalys, PAH	Se figur 4,
Miljöanalys, metaller	Se bilaga D

A.3 Försökssträckan

Lokalisering

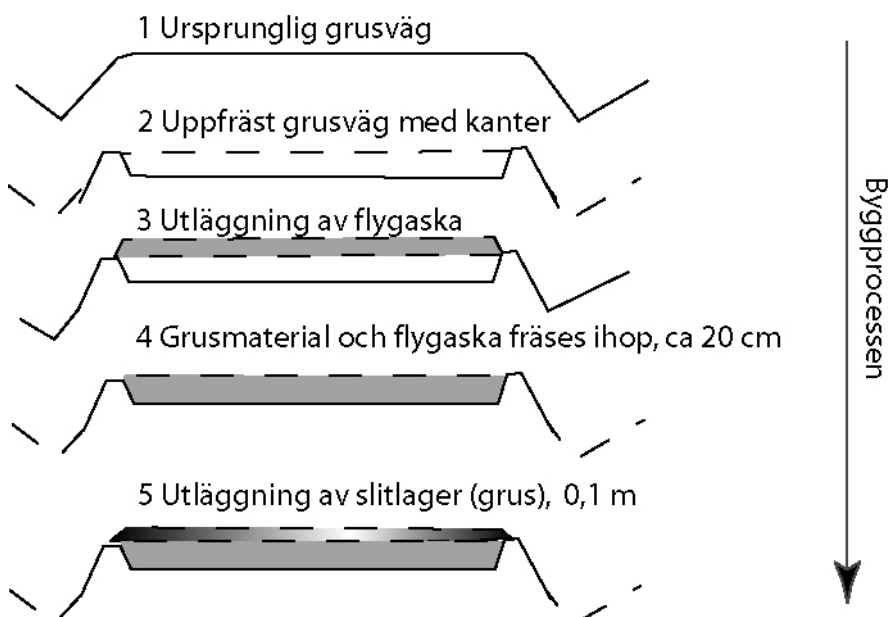
Försökssträckan ligger på en grusväg norr om Hallstavik och på östra sidan av Edeboviken, se figur 1. Grusvägen går till en slamdamm. Den aktuella provsträckan är ca 1,3 km lång. Vägen och marken ägs av Holmens Bruk AB. Hela eller delar av sträckan kommer att förstärkas beroende på behov, dvs geotekniska förutsättningar. Enligt SGU:s jordartskarta 12 J Grisslehamn SV består jordlagren längs vägsträckan till större del av morän som är sandig siltig. Det förekommer även lera. Berg i dagen är tämligen vanligt i området.



Figur 1. Lokalisering av försökssträckan.

Teknisk beskrivning

Försökssträckan förbereds genom att ett ca 20 cm tjockt skikt grus fräses upp i befintlig väg, (2) se figur 2. Därefter läggs ett ca 10 cm tjockt skikt av flygaska ut (3). Sedan fräses flygaska och det uppluckrade grusmaterialet ihop (4). Blandningen packas med vält (eventuellt vibrovält) och ovanpå den packade ask/grusblandningen läggs nytt grusmaterial ut som slitlager, ca 10 cm (5). Beroende på vädret kan det finnas behov av bevattning av flygaskan för att få igång härdningen och eventuellt avhjälpa dammning. Provsträckan bedöms kunna installeras på ca en till två veckor.



Figur 2 Schematisk bild av förberedelser och utläggning av flygaska som förstärkningslager.

Den mängd flygaska som kommer att nyttjas är ca 300-500 ton (torrsubstans, TS) flygaska från Hallsta pappersbruk (förutsatt en vägbredd på 4 m och askskikt på 0,1 m). Askan läggs ut, fräses ner i grusmaterialet och packas med typ hjullastare, traktorgrävare samma dag som leverans sker. I vår anmälan antar vi att hela sträckan kommer att stabiliseras, men beroende på geotekniska- och geologiska förutsättningar kan vissa delsträckor utgå.

Grustransporter till området kan också ske samma dagar som askan läggs ut. Huvuddelen av gruset, som ska användas i slitlagret kommer dock att levereras sista dagen under försöksveckan.

Flygaskans täthet har undersökts och ligger på ca $3 \cdot 10^{-8}$ m/s, Vattendomsansökan (2000). Askskiktets överyta kommer att bomberas i syfte att underlätta avrinning av nederbördsvatten.

Kontrollprogram

För att säkerställa att konstruktionen inte ger upphov till markföroreningar och att det inte skadar människors hälsa och miljö kommer grundvattenrör installeras (2-3 st) längs sträckan för att samla in grundvatten. Grundvatten kontrolleras före och efter

installation av vägsträckan. Lysimetrar kommer att installeras under förstärkningslagret. Under en ettårsperiod från det att grusvägen har förstärkts med flygaska kommer lysimetervattnet och grundvattenrören att provtas två gånger. Mätning av pH, konduktivitet samt volym uppsamlat vatten kommer att ske. Även metallanalys kommer att utföras.

A.4 Bedömning

Transport av ämnen från konstruktionen sker i huvudsak med vatten. Vatten som passerar konstruktionen kan antingen vara nederbörd och/eller passerande yt- eller markvatten. För ytskiktet, i detta fall slitlagret, utgörs det passerande vattnet normalt av nederbörd.

Det kan antas att årsnederbörden är ca 700 mm/år. Nederbörden fördelar sig mycket olika under året. Under vinterhalvåret är nettonederbörden större, men om den faller som snö och om undergrunden är tjälad tillförs inget vatten förrän smältning. Förutsatt att slitlagret fungerar som ett dräneringsskikt och att grundvattenytan ligger ca 0,5 m under askskiktet, kommer den långsamma infiltrationen medföra att spridning av lakade ämnen är minimal. Dräneringen förhindrar till stor del nederbörden att perkolera genom förstärkningsmaterialet. Viss infiltration kan ske i konstruktionen, detta kommer att dokumenteras med lysimetrar som installeras under askskiktet.

Olika markkemiska mekanismer i kombination med ämnens egenskaper gör att ett ämnes transport med vattenströmning bromsas upp. Till de styrande mekanismerna hör fastläggning till följd av utfällning p g a pH ändring och adsorption på finkornig (lerfraktion) och organisk jord med stor specifik (aktiv) yta etc.

Erfarenheter från en provsträcka på riksväg 90, Sollefteå, Mácsik (2003), där flygaska har använts i förstärkningslagret, visar att högre styvhet har uppnåtts i väggroppen. Minimala mängder vatten passerar igenom förstärkningslagret. Uppmätta mängder vatten som filtrerar igenom förstärkningslagret motsvarar < 2 liter per år och kvadratmeter. Grundvattenanalys från grundvattenrör intill vägkonstruktionen visar att metallinnehållet i grundvattnet ligger på samma nivå som bakgrundsvärdena, dvs. inga förhöjda halter kunde påvisas. Grundämnesanalyser av porvattenprov (porvatten som har centrifugerats ur jordprov) från 30 och 60 cm under askskiktet visar att askblandningarna i några fall bidrar till förhöjda halter av baskatjonerna natrium, magnesium, kalium och kalcium samt anjonen klorid. Mikroporvattnets bakgrundshalt av metaller var i vissa fall högre för den första provtagningen innan askan lades ut.

A.5 Tidplan

Prover på grusmaterial/morän har tagits från den aktuella vägen och skickats till SCC VIATEKS laboratorium. Askprover kommer att tas efter att tillstånd har erhållits från NV och SYKE. Detta kommer att ske i februari-mars 2004. Den planerade vägsträckan kommer att förstärkas med ask/grusblandningen under hösten 2004. Själva byggnationen/förstärkningen kommer att ta ca en till två veckor.

A.6 Beaktande av hänsynsreglerna i miljöbalken

De allmänna hänsynsreglerna som finns i miljöbalken 2 kap skall följas av alla som vill göra något som kan få inverkan på miljö eller människors hälsa. Syftet med dessa regler är framför allt att förebygga negativa effekter och att miljöhänsynen i olika sammanhang skall öka.

1 § Bevisbördsregeln

Verksamhetsansvariga ska visa att hänsyn tas till miljöbalkens krav. Detta sker bl a genom denna anmälan.

2 § Kunskapskravet

Kunskap beträffande flygaska har inhämtats och inhämtas i form av laboratorieundersökningar beträffande innehåll, hållfasthet och täthet. Även litteraturstudier ha utförts för att inskaffa kunskap om flygaskors tekniska och miljömässiga egenskaper. Pilotförsök utförs och utvärderas. Parallella försök på andra håll följs upp.

3 § Försiktighetsprincipen

Vid utveckling av flygaska som förstärkningslager i grusvägar vidtas försiktighetsmått genom att utföra en stegvis arbetsprocess. Innan den aktuella vägsträckan förstärks med flygaska utförs laboratieförsök och lakteter på flygaskan, grundvatten provtas i området. Efter förstärkningen kommer grundvatten och uppsamlat lysimetervatten att analyseras. Om det skulle visa sig att flygaskan läcker mer tungmetaller eller andra föroreningar än vad som är acceptabelt kommer askan att grävas upp.

4 § Lokaliseringsprincipen

Den aktuella vägsträckan ligger nära Hallsta pappersbruk vilket medför korta transporter av flygaskan från fabriken till vägen.

5 § Hushållnings- och kretsloppsprincipen

I stället för att nyttja ändliga naturresurser används restprodukten flygaska.

6 § Produktavtalsprincipen

Den planerade verksamheten bedöms inte föranleda skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. Inga kemiska eller biotekniska organismer kommer användas.

7 § Skälighetsregeln

Föreslagna åtgärder bygger på en avvägning mellan miljöhänsyn, nyttan av skyddsåtgärder och kostnaderna för sådana åtgärder.

8 § Skyldighet att avhjälpa skador

Verksamhetsansvariga har ansvar för att åtgärder vidtas för att undanröja skador och olägenheter som uppstått p g a verksamheten. Genom kontrollprogrammet övervakas risken för miljöpåverkan.

A.7 Slutsatser

Med en konstruktion som motsvarar den som beskrivs i figur 2, kommer utlakning av ämnen att begränsas av den knappa tillgången på infiltrerat vatten. Det är små mängder vatten som infiltrerar konstruktionen. Det som lakas ut och når marken bedöms kunna fastläggas i markprofilen innan de når grundvattenytan.

Flygaskan kommer att användas som förstärkningslager överlagrat av grusmaterial (slitlager).

För att i stor skala kunna nyttja flygaskor från Hallsta pappersbruk, Holmen Paper krävs det att materialets geotekniska och miljötekniska egenskaper verifieras i fält.

A.8 Referenser

Hallsta pappersbruk (2000). *Vattendomsansökan*.

Lahtinen P (2001). *Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads*. Doctoral Thesis Finnra Reports 70/2001. Helsinki University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki Finland.

Lind B, Larsson L, Nilsson G, Håkansson K (2002). *Lakning och karakterisering av biobränsleaska från Sandviken Energi AB*. Diarienumr: 2-0106-0382. SGI rapport.

Mácsik J (2003). Askblandningar i anläggningsprocesser (etapp 2). EU:s strukturfond Mål 1 Södra skogslänsregionen. www.z.lst.se/eu/index.htm

B Mätdata, koordinater

Lysimetrarnas, grundvattenrörens och delsträckornas koordinater, ± 20 m.

Mät punkt	X-koordinater	Y-koordinater	Mät punkt	X-koordinater	Y-koordinater
Bh Referens	1653902	6664615	12	1653463	6664430
Ref sträcka	1653935	6664573	13	1653421	6664436
L1	1653933	6664563	14	1653326	6664451
4	1653942	6664519	L6	1653298	6664464
L2	1653870	6664493	15	1653281	6664468
5	1653859	6664489	16	1653280	6664464
6	1653822	6664470	Bh 4	1653166	6664504
7	1653792	6664449	L7	1653180	6664483
L3	1653772	6664461	17	1653177	6664499
Bh 1	1653772	6664461	18	1653218	6664592
8	1653734	6664442	19	1653229	6664672
9	1653727	6664442	20	1653344	6664686
Bh 2	1653698	6664443	L9	1653496	6664722
10	1653676	6664436	21	1653377	6664705
L4	1653615	6664430	L8	1653377	6664705
11	1653610	6664433	VP	1653500	6664729
L5	1653534	6664432	VP	1653509	6664778
Bh 3	1653539	6664424	VP-slut	1653524	6664774

C Flygaskans lakbarhet vid olika L/S kvoter.

Ämne	L/S2	L/S3	LS4	LS10
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Al	41,2	21,1	84,4	137,7
As	0,002	0,003	0,011	0,019
Ba	0,24	1,79	0,48	2,75
Ca	105	337	248	1225
Cd	0,0005	0,0004	0,0002	0,0008
Co	0,0001	0,0002	0,0002	0,0005
Cr	0,08	0,12	0,18	0,31
Cu	0,06	0,05	0,01	0,10
Fe	0,03	0,03	0,08	0,14
Hg	0,00004	0,00006	0,00008	0,00020
K	1500	1734	1807	2377
Mg	0,181	0,271	0,362	0,903
Mn	0,003	0,003	0,002	0,007
Mo	0,481	0,330	0,805	0,969
Na	608	645	854	955
Ni	0,001	0,002	0,002	0,005
Pb	0,064	0,271	0,088	0,476
S	22,7	17,6	165,7	176,8
Sb	0,002	0,003	0,020	0,026
Se	0,002	0,001	0,004	0,006
Zn	0,128	0,187	0,054	0,324
Cl	223	310	485	584
F	10,3	13,6	11,0	23,5
SO4	67,6	57,1	448,0	501,2

D Vägmaterialets och flygaskans totalinnehåll samt lakbarheten av vägmateriäl och flygaskastabiliserat vägmateriäl vid L/S kvot 10.

	P1&6	Flygaska	Flygaska #	FBG	P1&6,	Stabiliserat grusmaterial
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	Beräknad halt mg/kg TS	Lakbarhet efter L/S 10 mg/l	Lakbarhet efter L/S 10 mg/l
Al	5620	73100		25864	30,19	27,386
As	1,93	6,66	29,1	3,3	0,0039	0,0036
B	5	153		49	0,1191	0,0329
Ba	23,1	347		120	1,4	2,5724
Ca	15100	201000		70870	1274	1977
Cd	0,13	1,19	3,43	0,45	0,0003	0,0005
Co	3,8	4,35	9,13	4	0,0023	0,0087
Cr	8,39	57,5	133,8	23	0,0074	0,0191
Cu	12,7	307	320	101	0,3027	0,9893
Fe	11000	15400		12320	0,7638	0,5322
K	1300	7050		3025	39	0,98
Mg	2790	8520		4509	3,0202	1,7835
Mn	248	1090		501	0,0215	0,0077
Mo	0,29	3,54	72,06	1	0,1207	0,1878
Na	86	6400		1980	34,65	153,67
Ni	5,23	27,9		12	0,0165	0,0872
Pb	19,1	23,8	130	21	0,007	0,0058
Sb	0,02	0,02		0,02	0,0011	0,0013
Se	0,5	0,61		1	0,0055	0,0074
Si	139	188		154	28,34	14,81
Sr	17,2	471		153	6,98	15,1
U	1,1	3,37		2	0,0081	0,0021
V	15,2	16,3	17,79	15	0,0047	0,0016
Zn	63,4	224	1024	112	0,0408	0,0158
S	70	13100		3979	14,39	10,08
P	338	3590		1314	0,1013	0,1414

E Analys av grund- yt- och lysimetervatten, maj-2005.

Filtrerad ELEMENT		Lakning L/S = 10	JA ref Bh	JA Bh 1	JA Bh 2	JA Bh 4	JA L2	JA L3
Ca	mg/l	198	104	215	71,8	144	186	145
Fe	mg/l	0,05	2,21	1,49	0,15	0,0195	0,107	0,0176
K	mg/l	0,1	13,7	2,23	1,7	1,53	7,01	6,76
Mg	mg/l	0,2	17	14,4	4,43	5,77	13	9,9
Na	mg/l	15,4	3,9	8,14	3,92	6,89	15,4	19,5
S	mg/l	1,0	2,55	2,46	3,05	5,08	10,4	14,8
Al	mg/l	2739	55	42,3	58,7	13,9	24,9	16
As	mg/l	0,4		1,68			3,03	
Ba	mg/l	257	85,4	86,3	20,1	19,2	63,2	52,6
Cd	mg/l	0,1						
Co	mg/l	0,9	0,235	1,05	0,0991		6,77	0,143
Cr	mg/l	1,9	1,06	1,19	0,647		0,676	
Cu	mg/l	99	1,02		1,97	1,22		2,7
Hg								
Mn	mg/l	0,8	601	3140	1,91	0,837	9070	40,5
Ni	mg/l	8,7	2,34	2,62	1,64	0,812	2,45	1,02
Pb	mg/l	0,6	0,33					
Zn	mg/l	1,6	4,49	2,47	3,65	3,17	4,84	3,85
pH		12	7,1	7	6,9	7,5	7,1	7,3
Kond.	mS/m		61,6	102	36,5	69,5	98,7	82,2

Filtrerad ELEMENT		JA L5	JA L7	JA L8	JA L9	JA Ytvatten- ref	JA Ytvatten- vp
Ca	mg/l	270	324	258	886	65,9	72,1
Fe	mg/l	0,0285	0,0205	0,0182	0,0199	0,0222	0,0356
K	mg/l	7,8	22,6	13,3	13,9	37,1	1,35
Mg	mg/l	15,9	15,5	6,4	30,7	115	3,41
Na	mg/l	14,1	61,3	72,7	56,9	922	3,28
S	mg/l	32,6	97,8	58,7	243	77,6	3,94
Al	mg/l	13,1	15,1	15,2	22,2	26,3	15,6
As	mg/l	3,35					
Ba	mg/l	69,3	168	112	181	50	19,8
Cd	mg/l						
Co	mg/l	2,15	0,387	0,109	0,125		0,107
Cr	mg/l						0,673
Cu	mg/l		2,58	2,16	2,36		4,25
Hg							
Mn	mg/l	5820	197	19,7	272	1,07	0,343
Ni	mg/l	1,22	1,27	0,985	1,06	1,5	1,68
Pb	mg/l						
Zn	mg/l	3,3	9,82	4,86	11,9	5,81	7,43
pH		7,3	7,3	7,4	7,1	7,1	7,5
Kond.	mS/m	134	189	168	463	568	36,5

F Analys av yt- och lysimetervatten, september-2005.

ELEMEN T	SAMPLE	Lref 7/9-05	L2 7/9- 05	L3 7/9- 05	L5 7/9-05	L8 7/9- 05	L9 7/9-05	Ytvatten ref 7/9- 05	L7 7/9- 05
Filtrerad		JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Ca	mg/l	143	160	227	445	180	375	68,9	506
Fe	mg/l	0,0172	0,0694	0,014	0,0466	0,0112	0,0116	0,0295	0,0101
K	mg/l	7,33	7,75	12,3	13,3	13	13,7	38,5	74,4
Mg	mg/l	10	11,3	11,8	21,5	4,49	12,3	124	24,7
Na	mg/l	26,8	14,5	22,1	31	74,9	103	997	72,3
S	mg/l	40,5	11,2	71,2	184	65,9	166	76,5	323
Al	µg/l	6,65	3,67	5,03	<2	2,83	9,08	7,42	<2
As	µg/l	<5	<2	<5	15,6	<9	<10	<30	<5
Ba	µg/l	57,3	52,9	87,6	137	81,5	130	49,8	181
Cd	µg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,0815	<0.05	0,0761
Co	µg/l	0,0518	5,44	0,215	2,97	0,152	0,208	0,101	0,401
Cr	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1,01	<0.5
Cu	µg/l	5,54	3,2	5,52	4,31	7,13	7,42	3,99	7,98
Hg	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Mn	µg/l	29,6	8110	102	15800	43,4	154	1,99	148
Ni	µg/l	0,623	1,67	1,04	1,42	0,718	0,577	0,997	1,13
Pb	µg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0,213	0,649	<0.2
Zn	µg/l	9,11	2,75	2,86	2,35	<2	3,36	5,6	4,54
pH		7,4	6,5	6,9	6,8	7,3	6,8	7,4	7,1
Kond.	mS/m	85,5	83,9	112,6	208	126,3	210	592	244

G Det stabiliserade vägmaterialets vattenkvot och torrdensitet längs provsträckan.

Sträcka m	Vattenkvot %	Torrdensitet kg/m ³
374	3,8	1776
407	10,8	1501
421	9,5	1588
446	5,4	1685
462	8,3	1710
562	9,4	1769
587	22,2	1660
611	17,9	1088
642	11,8	1238
666	16,2	1276
701	5,0	1160
755	3,9	1832
837	1,5	1360
840	2,9	2012
860	2,8	1719
865	1,7	1349
880	13,3	2001
916	16,2	1367
962	7,6	1400
982	5,8	1680
1003	4,4	1733
1122	4,4	1861
1036	15,0	2010
1055	17,9	1249
1113	8,4	1395
1150	12,7	1650
1202	32,3	942
1251	25,1	1006
1278	18,3	1595
1304	16,0	1729
1368	22,4	1036
1377	8,3	1448
1397	6,1	1732
1405	6,3	2120
1551	15,1	2172
1563	49,9	1097
1593	16,1	1425

H Askväg i Hallstavik - Del 2 / Mätning efter förstärkning



Datum 2005-09-27
Uppdragsnummer 61780515383
Utgåva/Status
Handläggare EPN
Uppdragsledare PEL
Granskare PEL

Eva-Maria Persson

Peter Ekdahl

Ramböll RST, del av Ramböll Sverige AB
Isbergs gata 3
211 19 Malmö

www.ramboll.se

Innehållsförteckning

1.	UPPDRAG
2.	ORGANISATION
2.1	RAMBÖLL MED UNDERKONSULTER
3.	BESKRIVNING AV OBJEKTET
4.	GENOMFÖRANDE
4.1	FALLVIKTSMÄTNING
4.2	ANALYS
4.2.1	<i>Moduler</i>
4.2.2	<i>Redovisning</i>
5.	RESULTAT
6.	SLUTSATS

1. Uppdrag

Föreliggande studie syftar till att beskriva hur en grusväg i Hallstavik förbättrats med avseende på bärighet då den belagts med flygaska. Vägens bärighet har bestämts genom fallviktsmätning enligt VVMB 114:2000 och mätningar har utförts såväl före som efter beläggningen.

Denna rapport är den andra och avslutande av två rapporter och sammanställer därmed mätningarna. Den första rapporten är daterad 2004-05-24.

Ramböll RST har utfört uppdraget på begäran av Ecoloop och Svenska Energiaskor AB.

2. Organisation

2.1 Ramböll med underkonsulter

Uppdragsledare	Peter Ekdahl, Ramböll RST
Fallviktsmätning	VTI
Analys	Eva-Maria Persson, Ramböll RST

3. Beskrivning av objektet

Försökssträckan är 1.6 km lång och ligger på en grusväg norr om Hallstavik (Figur 3.1). Jordlagren längs sträckan består till stor del av morän, men det förekommer även lera. Berg i dagen är relativt vanligt längs sträckan.



Figur 3.1 Karta över området där sträckan är belägen.

4. Genomförande

4.1 Fallviktsmätning

Fallviktsmätningen har utförts med en fallviktsdeflektometer av typen KUAB. Såväl före- som eftermätningen har utförts saxat på båda sidor om vägen, med ca 30 meters avstånd mellan varje punkt. Minst tre belastningar med 700 kPa har genomförts i varje mätpunkt. Gefonavstånden har varit 0, 200, 300, 450, 600, 900 och 1200 mm.

Föremätningen utfördes den 4 maj 2004 och eftermätningen den 15/9 2005. Fallviktsmätningarna har vid båda tillfällena utförts av VTI och analyserats av Ramböll RST.

4.2 Analys

4.2.1 Moduler

Utifrån fallviktsdata har enkla bärighetsmått beräknats enligt VVMB 116:2000. Beräknade mått är:

- Ytmodul
- Uppskattad undergrundsmodul
- SCI – Surface Curvature Index

Ytmodulen beskriver hela konstruktionens bärighetsförmåga. En hög ytmodul tyder på en styv och stark konstruktion. Undergrunden har stort inflytande på den beräknade ytmodulen.

Undergrundsmodulen beskriver undergrundens bärighetsförmåga. En hög modul visar på en stark konstruktion.

SCI är ett relativt jämförelsemått på styvheten för den övre delen av konstruktionen (främst de översta 300 mm). Ju LÄGRE SCI-värde, desto styvare (och därmed starkare) konstruktion.

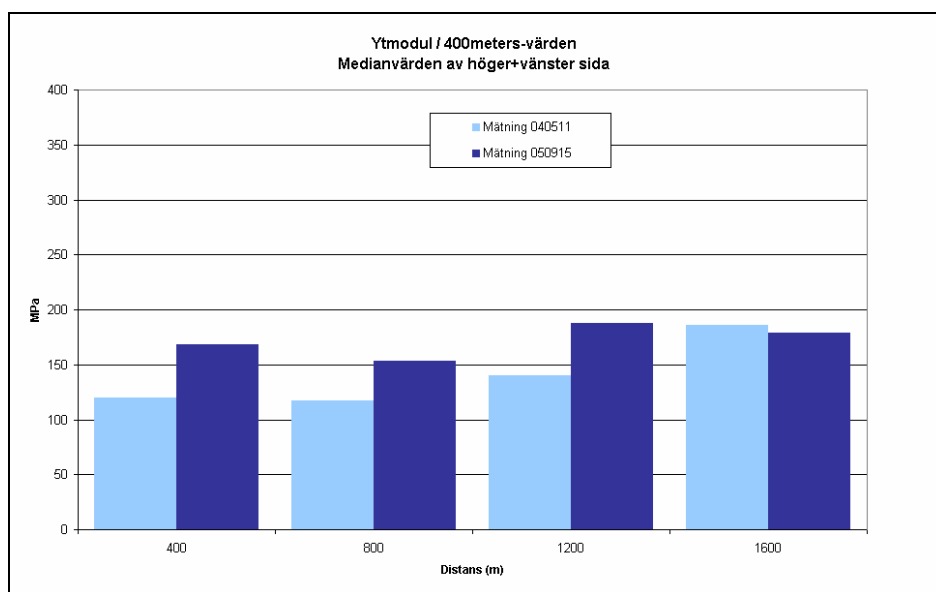
4.2.2 Redovisning

Vägen har delats in i fyra delsträckor om 400m vardera. I varje delsträcka redovisas samtliga mätpunkter (60 st) och de beräknade medianvärdena för dessa. För en slutlig bedömning rekommenderas att medianvärdena studeras. Enstaka mätpunkter kan innehålla värden som saknar betydelse för utredningen, främst på grund av enstaka förekomster av ytligt berg.

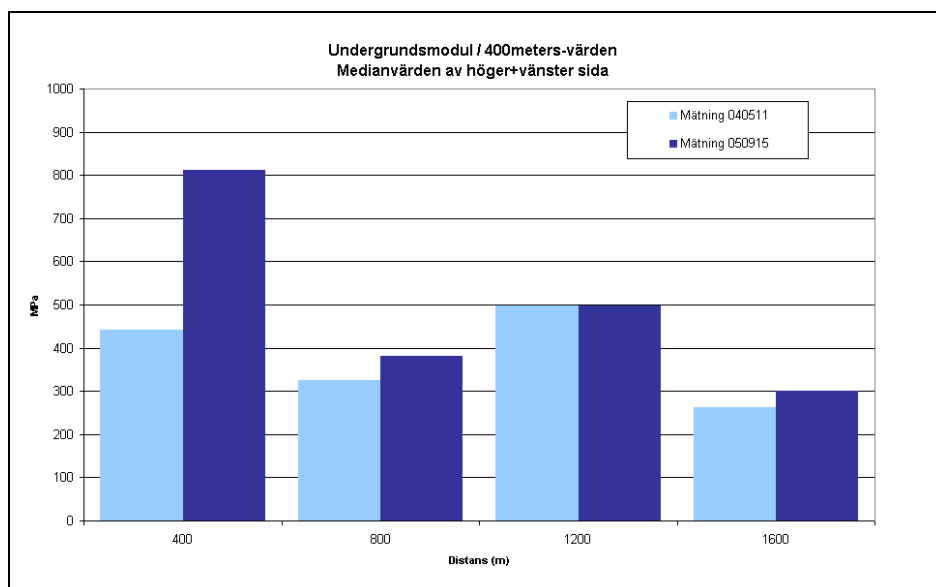
5. Resultat

Medianvärden för båda vägsidorna redovisas över 400 meter. Enstaka höga värden påverkar därmed inte resultatet nämnvärt.

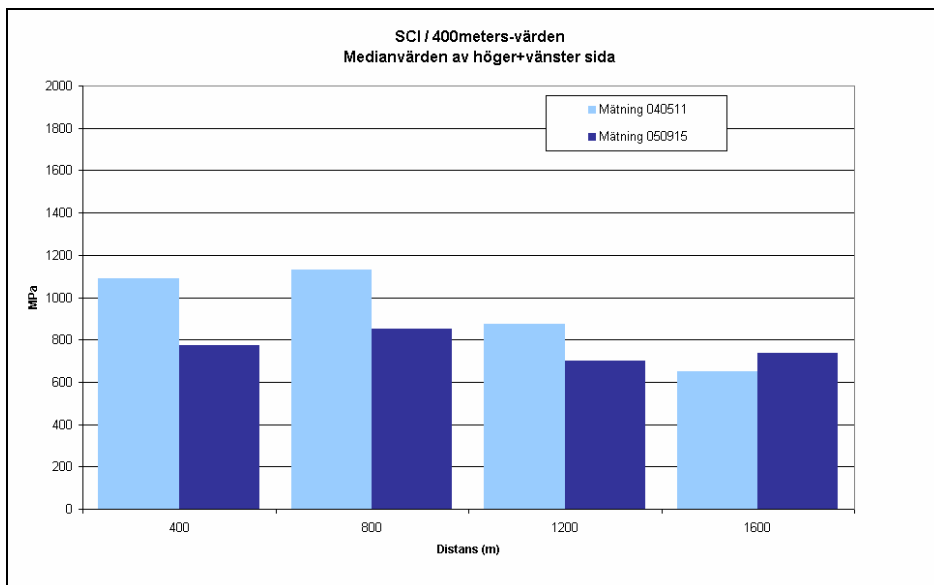
Såväl yt- som undergrundsmodulen och SCI varierar mellan de olika delsträckorna. Efter det att flygaskan lagts ut har bärigheten överlag förbättrats. Ytmodulen liksom SCI har förbättrats för 3 av 4 sträckor. Undergrundsmodulen har ökat eller blivit oförändrad längs hela sträckan. Se figur 5.1-5.3 nedan.



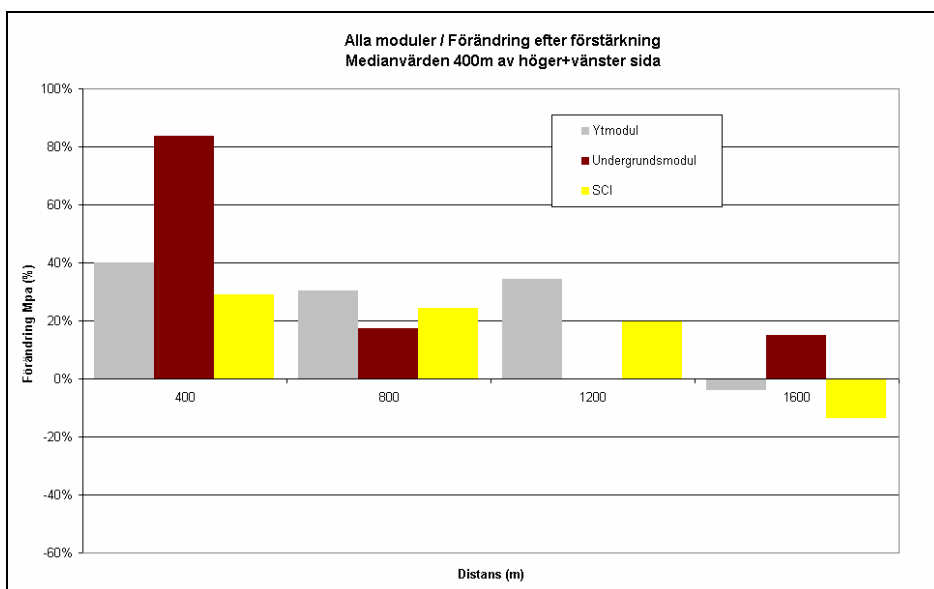
Figur 5.1: Uppmätta ytmoduler från före- och eftermätning. Medianvärden över 400m.



Figur 5.2: Uppmätta undergrundsmoduler från före- och eftermätning. Medianvärden över 400m.



Figur 5.3: Uppmätta SCI från före- och eftermätning. Medianvärden över 400m.



Figur 5.4: Sammanställning över resultatet. Medianvärden över 400m.

Variationer i mätpunkterna tyder emellertid på en viss osäkerhet i resultatet. Det är viktigt att poängtera att mätningarna inte utförts vid identiska förhållanden, t ex har vattenkvoten i väggkroppen inte kontrollerats.

6. Slutsats

Slutsatsen som kan dras i föreliggande utredning är att bärigheten förbättrats för vägen. I vilken generell omfattning är däremot något mer osäkert.

För att kontrollera flygaskans generella bärighetshöjande förmåga bör redovisade mätvärden jämföras med genomförd utläggningsmetod och valda lagertjocklekar. En inventering av vägen med notering av geologiska förhållanden längs med sträckan vore också av visst intresse.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk 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