

Flygaska som förstärkningslager i väg

Josef Mácsik



Flygaska som förstärkningslager i grusväg

Fly ash stabilisation of gravel roads

Josef Mácsik

Q4-229

VÄRMEFORSK Service AB
101 53 STOCKHOLM · Tel 08-677 25 80
Januari 2006
ISSN 1653-1248

Abstrakt

Stor del av dagens grusvägar är obrukbara under hösten och våren på grund av bärighetsproblem. I denna rapport undersöktes två konstruktionslösningar med flygaska (från biobränsle) som förstärkningslager. I det ena fallet undersöktes en monolitisk lösning där bärighet och miljö var i fokus. I det andra fallet var det flygaska blandat med grus som undersöktes med avseende på bärighet. Syftet med projektet var att utvärdera konstruktionslösningarna och insamla erfarenhet från vägarna under vår och höst då förutsättningen för bra bärighet är som lägst.

Sammanfattning

Stor del av dagens grusvägar är obrukbara under hösten och våren på grund av bärighetsproblem. Varje år måste ett stort antal vägar därför periodvis stängas av på grund av bärighetsproblem (tjällossning, höst och vår regn etc.). Detta leder till stora kostnader för bl. a. skogsnäringen och samhället i stort samt en negativ syn på väghållningen. Att göra vägarna tillgängliga året om på traditionellt sätt, genom t ex urgrävning av tjälfarliga material, leder till höga kostnader. Flygaska från förbränning av biobränslen har tekniska egenskaper som kan nyttiggöras i t ex bär- eller förstärkningslager i vägar och därmed höja vägarnas livslängd [2] och få en bättre funktion under större delen av året. Projektets FoU-fokus var att visa hur grusvägens kvalitet och beständighet påverkas vid stabilisering med flygaska och göra en bedömning av miljöpåverkan.

Den primära målgruppen för projektet är olika askproducenter och väghållare som planerar att genomföra renovering av grus- och skogsbilvägar med flygaska. Målsättningen är att ge entreprenörer, konsulter m fl ett exempelunderlag vid upprustning och nybyggnation av skogsbilvägar med flygaskor. En annan viktig målgrupp är miljömyndigheter vid bedömning av flygaskans lämplighet i grusvägar.

Två lokaler har ingått i undersökningen, en i Norberg med flygaska från Stora Enso Fors Bruk och en i Börje (Uppsala) med flygaska från Vattenfall Värme Uppsala. På sträckan i Norberg användes enbart flygaska i bär-/förstärkningslagret, medan i Börje användes flygaska blandat med grus. Provsräckorna med tillhörande referenssträckor har undersökts under två års tid. Bärigheten undersöktes vid två tillfällen. Miljöpåverkan undersöktes enbart på Norbergsträckan. Vattenprover från lysimetrar, grundvattenrör och vattenförande dike undersöktes med avseende på halter av metaller.

Undersökningen visar att de stabiliserade vägsträckorna har en bra funktion. Under hösten 2004 har ett stort antal timmerlastar (ca 90 stycken) transporterats igenom vägsträckningen i Norberg. Provsräckan uppvisade inga tecken på svagheter, trots en ”vattenmättad” delsträcka. Erfarenheter från den flygaskastabiliserade vägen i Norberg indikerar att härdning och trafiklast kan med tiden kompensera sämre packningsgrad. På motsvarande sätt fungerar Börjesträckan, trots att falviktsmätningen ger enbart måttliga resultat. Störst negativ påverkan under våren sker i dåligt dränerade/dikade vägkonstruktioner. Resultaten indikerar att med fungerande vägdiken kan bra stabiliseringseffekt uppnås. Undersökningen visar att tjällossningsperioden sänker vägens bärighet även på stabiliserade sträckor. Vad gäller tungmetaller har referens- och provsträckornas ytvatten i storleksordning samma halter. Undersökningen visar dock att flygaskan ger en viss haltförhöjning i närmiljön i form av utlakat Na, K och sulfater.

Rapporten visar att flygaska ger bra bärighet under höstperioden. Vatten i vägkonstruktioner medför utlakning och sämre bärighet vilket medför att vägen bör konstrueras så att ytaavrinning maximeras. För att maximera nyttan med flygaska, som är en ”bristvara” på grund av att den faller ut i små mängder per dag, bör stabilisering av grus, där stabiliseringen görs industriellt, ge den bästa effekten.

Summary

Majority of the existing gravel roads have low bearing capacity during spring and autumn, due to thaw and/or rain. Low bearing capacity leads often to bad road conditions. This situation results in higher costs for the lumber industry and the public. Management of gravel roads all the year around would traditionally require excavation of frost susceptible soils and replacement with natural materials. Fly ash (from bio fuels) has good technical properties as bearing layer in road constructions. Fly ash stabilised gravel roads have better function and longer life span with less maintenance than traditional gravel roads [2].

The aim of this project is to show how fly ash stabilisation of gravel roads can increase bearing capacity and what its environmental impact is. The overall aim is to make it easier for entrepreneurs and consulting companies to use fly ash during gravel road renovation and or constructing new gravel roads. This report targets fly ash producers and road constructors as well as environmental agencies.

Two different pilot tests were investigated in this study, Norberg with fly ash from Stora Enso Fors AB, and Börje (Uppsala) with fly ash from Vattenfall Uppsala AB. Both road sections with related reference section were investigated during a two year period. Only fly ash was used in the bearing layer at Norberg and fly ash gravel was used at Börje. Bearing capacity was investigated twice, for both locations, November 2003 one month after the road renovation and during thawing (April 2004). Water samples from lysimeters, ground water and surface water were only collected and analysed from Norberg. Experience from the fly ash stabilised road sections show that curing and traffic load can with time compensate for less compaction. The same is noticed at Börje, although deflection measurements show that there are small differences.

Stabilisation of gravel roads increases the roads bearing capacity. Two years after stabilisation 90 timber loads were transported through the road section stabilised at Norberg, without any stability problems. The stabilisation effect can be destroyed by the effect of water and frost, and results indicate that road ditches and are of great importance. After thawing the stabilised roads bearing capacity is decreased after the first year. Leaching and transport of heavy metals from the road construction is in the same level as from the reference section. However, leaching of Na, K and sulphate are increased.

This report shows that fly ash stabilisation gives an increase of bearing capacity of gravel roads. Water in the road construction leads to an increase of leaching, a reduction in bearing capacity and decreased frost resistance. Drainage of fly ash stabilised roads are essential due to bearing capacity and environment. Fly ash production is limited and use of fly ash stabilised gravel is more efficient as less fly ash is required than when only fly ash is used.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSMRÅDET	1
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSMRÅDET	3
1.4	MÅL OCH MÅLGRUPP	4
2	UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR.....	5
3	RESULTATREDOVISNING.....	6
3.1	FLYGASKORNAS MILJÖGEOTEKNISKA EGENSKAPER	6
3.2	NORBERG.....	8
3.3	PROVSTRÄCKA MED FLYGASKA FRÅN VATTENFALL UPPSALA	15
3.4	FALLVIKTMÄTNING	21
4	RESULTATANALYS	31
4.1	PROVSTRÄCKAN I NORBERG	31
5	SLUTSATSER	37
6	DISKUSSION	38
7	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING.....	40
8	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSGRÄBETE	42
9	LITTERATURREFERENSER	43

Bilagor

- A JORDARTSBEDÖMNING**
- B ANALYSER**
- C FLYGASKORNAS INNEHÅLL AV METALLER**
- D FALLVIKTMÄTNING - ASKVÄGAR I NORBERG OCH UPPSALA**

1 Inledning

1.1 Bakgrund

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.

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. I vägar är nyttan stor på lokala avsnitt med stora tjälproblem.

För att kunna introducera restmaterial som konstruktionsmaterial finns det ett flertal frågetecken som måste besvaras. Viktiga frågeställningar är restmaterialets kvalitet och beständighet, entreprenadutförandet och "miljön". Den nu aktuella rapporten har fokus på stabilisering av grusvägar med flygaska. 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 flygaskans egenskaper. Miljön är en annan faktor, där det gäller att kunna visa att materialvalet är rätt och att miljöpåverkan är obetydlig till ringa.

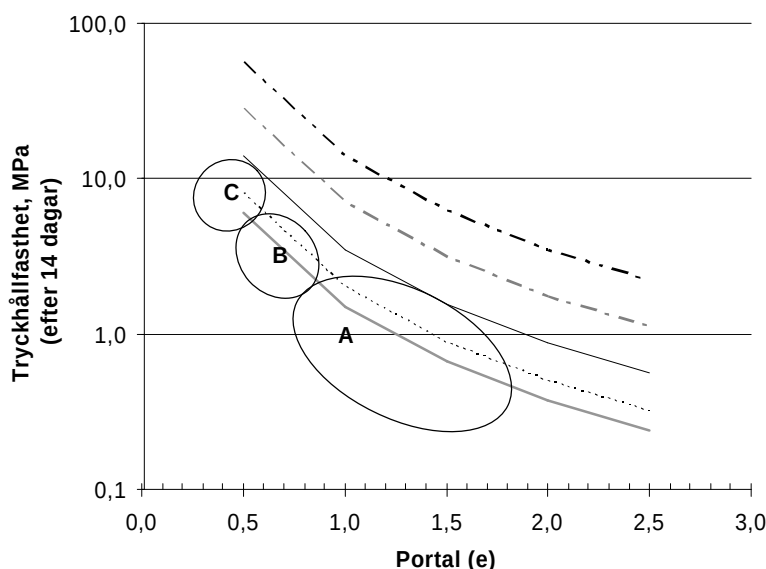
1.2 Beskrivning av forskningsområdet

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. Lahtinen (2003) 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. 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 "Väglledning för alternativa material i vägbyggnad" (Vägverket), "Väglledning om miljöriktig återvinning av avfall för bygg- och anläggningsändamål" (Naturvårdsverket), "Miljöriktlinjer för askor" och "Metodik för avvägning mellan resurshushållning och emissioner" (Värmeforsk).

De i det nu aktuella projektet nyttjade flygaskorna är undersökta i ett tidigare projekt, finansierat Värmeforsk, rapport 870, Mácsik et al (2004), där det ges förslag på indelning av flygaskor i tre olika huvudgrupper. Indelningen i de tre grupperna A, B och C baseras på flygaskornas tekniska egenskaper och ger indikation om möjliga användningsområden. I figur 1.1 redovisas de undersökta flygaskorna och indelningen i grupperna A, B och C.



Figur 1.1 Sambandet mellan portal och hållfasthet för några flygaskor. (I figuren är $t =$ tryckhållfastheten). [1]

Figure 1.1 The relationship between void ratio and shear strength for same examples of fly ashes.

Flygaskorna från Stora Enso Fors AB och Vattenfall Uppsala tillhör grupp B. Dessa flygaskor bedömdes ha användningsområden där kravet på hållfasthet är förhållandevis hög. Bedömda användningsområden är t. ex. förbättring av grusvägar genom att använda flygaska eller flygaska blandat med grus i förstärknings- och/eller bärlager. Flygaskor som tillhör grupp C och grupp B har liknande användningsområden, med tillägg att flygaskor från grupp C är även lämpade för stabilisering av farligt avfall eller förorenade massor [1]. Flygaskan från Sandviken Energi AB bedömdes tillhöra gränsområdet mellan grupp B och A. Genom tillsättning av exempelvis byggcement och eller Merit 5000 kan flygaskor som till grupp A få bättre hållfasthetsegenskaper och beständighet [1].

1.3 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.

Projektets syfte var att i fält-/pilotstudier verifiera erhållna laboratorieresultat i FACE-projektet (Q4-107 SCC), studera utläggningsarbeten i full skala, uppskatta ekonomiska effekter och påbörja ett kontrollprogram. I arbetet utfördes också en miljögeoteknisk bedömning av flygaskorna som nyttjades i projektet. Tre flygaskor från FACE-projektet skulle användas vid två pilotstudier:

1. Norberg - Flygaskor från Stora Enso Fors AB och från Sandviken Energi AB.
2. Uppsala - Flygaska från Vattenfall Värme Uppsala AB.

Vid planeringen av pilotprojektet kom det fram att Sandviken hade enbart möjlighet att leverera torr flygaska. Den ursprungliga idén var att lägga ut flygaskan med optimal vattenkvot, dvs. vattenkvot på ca 40 – 55 %. I det aktuella projektet fanns det ingen möjlighet att utföra bevattning på plats. Detta medförde att flygaskan från Sandviken valdes bort.

Undersökning av flygaskors geotekniska egenskaper från biobränsleförbränning avrapporterades i ett Värmeforskningsprojekt, rapport 870. I rapporten redovisas nio flygaskor som har undersökts och grupperats efter erhållna egenskaper, pann- och bränsletyp, samt efter flygaskornas bedömda potential att kunna nyttjas i olika applikationer. Rapporten utgjorde den första etappen/delen i ramprojektet ”FACE - Flygaska i geotekniska anläggningar”. Syftet med ramprojektet ”FACE” är att ta fram ett antal produkter baserade på flygaskor.

Två provsträckor har ingått i projektet, en befintlig grusväg som har stabiliserats med flygaska (Uppsala) och en nyanlagd ca 60 m lång provsträcka nära Norberg, som stabiliserades under september månad 2003. Skogsbilvägen norr om Norberg byggdes i Stora Enso Skogs regi och flygaskan som nyttjades levererades från Stora Enso Fors AB. Den andra vägsträckan var en redan klar vägsträcka som har byggts i Vattenfall Värme Uppsalas regi med flygaska från Vattenfall Värme Uppsala.

Båda vägarna undersöktes med fallviktsmätning vid två olika mättillfällen. På hösten och under tjällossningsperioden. Vägen instrumenterades med lysimetrar och grundvattenrör på provsträckan samt på ett referensområde. Även ytavattenprover har tagits för analys. Baserat på dessa resultat utfördes en bedömning av miljöpåverkan, samt en bedömning av hur konstruktionen kan förbättras.

1.4 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 olika askproducenter och väghållare som planerar att genomföra av renovering av grus- och skogsbilvägar med flygaska. En annan viktig målgrupp är miljömyndigheter som ska göra en bedömning av lämpligheten att nyttja flygaska vid stabilisering av grusvägar.

2 Utförda undersökningar

Två separata renoveringsarbeten utfördes med flygaska som stabiliseringsmaterial. Provsträckan i Norberg, Stensjövägen, renoverades med flygaska från Stora Enso Fors AB, och provsträckan i Uppsala med flygaska från Vattenfall Uppsala. Flygaskornas tekniska och miljötekniska egenskaper undersöktes i laboratorium och finns presenterade i en värmeforskrapport [1].

Provsträckan på Stensjövägen undersöktes med avseende på tekniska egenskaper och miljötekniska egenskaper. Tekniska egenskaperna som följdes upp var densitet (packningsgrad), vattenkvot och bärighet. Vägen förbereddes med hyvling av det befintliga ytskiktet, lysimetrar installerades och flygaskan lades ut som bär-/förstärkningslager. Slitlager av grus lades ut på skiktet med flygaska. De miljötekniska egenskaperna som undersöktes var analys på jord/sediment och flygaska samt analys på vatten från lysimetrar, diken och från grundvattenrör installerade intill vägkroppen. Innan provsträckan renoverades gjordes en anmälan till Norbergs kommun [11]. Grundvattenrör och lysimetrar installerades för att följa upp utlakningen från den renoverade vägen. Ytvattenprover togs både i referens och i provvägområdet. Flygaskornas lakningsegenskaper i laboratorium undersöktes enligt metoden EN 12457-3. Jord-, flygaska- och lakvattenprover analyserades av Analytica AB. Vattenproverna filtrerades innan kemiskanalys.

I det andra fallet, en f.d. traktorväg mellan Ek och Börje, var det grusmaterial som har stabiliserats med flygaska på en blandningsstation. Det flygaskastabiliserade gruset kördes sedan ut på sträckan. Det stabiliserade gruset lastades av i ca 0,2 m skikt och packades. Slitlager av grus lades ut på sträckan. Undersökningen utfördes på vägen ca 2 år efter stabiliseringsåtgärden var genomförd. Markprofilen bedömdes okulärt med hjälp av skruvprovtagning. I undersökningen ingick fallviktsmätning vid två tillfällen, efter perioden med höstregn och i anslutning till vårens tjällossning. En referenssträcka undersöktes för att erhålla jämförvärden. Referenssträckan är en före detta landsväg.

Resultaten från fallviktsmätningen utvärderades av Ramböll i Malmö.

3 Resultatredovisning

3.1 Flygaskornas miljögeotekniska egenskaper

Stora Enso Fors AB, nyttjar en CFB-panna där bränslet är bark, flis, bränslepellets och en mindre mängd slam med innehåll av bl.a. lera och krita. Slammängden tillsätts efter ett visst recept för att få en flygaska som brinner ihop på ca 24 timmar. Bränslet i Sandviken är torv och sågspån och Vattenfall Värme Uppsala använder torv och trä som bränsle, tabell 3.1.

Lakningsförsök som har utförts på flygaska från Stora Enso Fors (i detta fall med cementtillsats) indikerar att lakningen av spårämnen är begränsad. Motsvarande lakning på Sandvikens aska visar på liknande resultat, Lind et. Al (2002). Flygaskan från Sandviken kunde enbart levereras torrt, vilket medförde att denna flygaska inte kunde nyttjas vid fältförsöket på grund av damningsrisk.

Tabell 3.1 Bakgrundsinformation om flygaskorna [1].

Table 3.1 Fly ash background data.

Företag	Anläggning	Bränsle	Panna	Material
Stora Enso Fors AB	Stora Enso Fors	Biobränslen & blandslam	CFB Ahlström	Torr flygaska
Sandviken Energi AB	KVV Björksätra	60 vikt % stycketorv 40 vikt % sågspån	BFB panna Kaerner	Torr flygaska
Vattenfall Värme Uppsala AB	Uppsala	Torv och trä	Pulver	Torr flygaska

Flygaskan från Stora Enso Fors (SEF) består till ca 80 vikt % av siltfraktion och ca 20 vikt % sandfraktion. Flygaskans CaO-innehåll är hög, ca 12 % tack vare att blandslammet innehåller rester av kaolinlera och krita. Flygaskan från Sandviken Energi (SE) består till 2 vikt % av lerfraktion, ca 69 vikt % siltfraktion och 29 vikt % sandfraktion. Flygaskans CaO-innehåll är låg, ca 1,7 %. Flygaskan från Vattenfall Värme Uppsala (VVU) består till ca 3 vikt % av lerfraktion, 68 vikt % siltfraktion och 30 vikt % sandfraktion. Innehållet av CaO är ca 9 %.

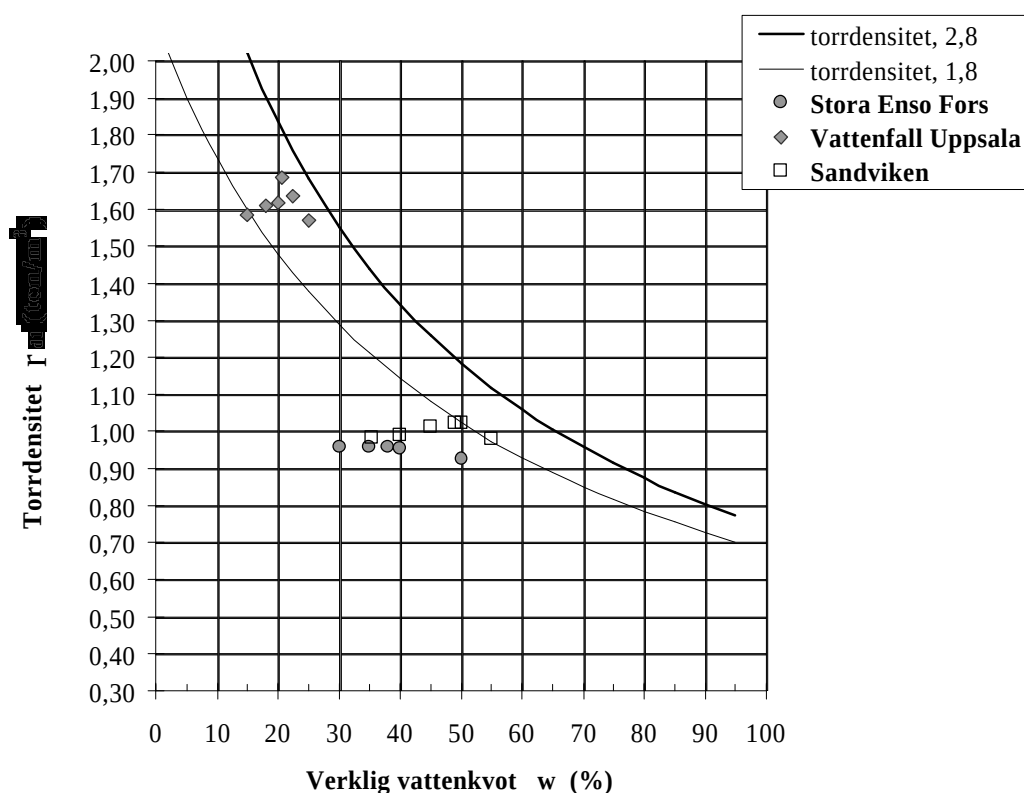
Flygaskornas torrdensitet vid optimal vattenkvot varierar, tabell 3.2. Flygaskan från SEF har en låg torrdensitet, ca 960 kg/m³. Flygaskan från SE har en torrdensitet på, ca 1025 kg/m³ och flygaskan från VVU har en torrdensitet på, ca 1684 kg/m³. Flygaskornas optimala vattenkvot vid packning varierar mellan 20,6 % - 49 %, figur 3.1.

Tabell 3.2 Sammanställning av uppmätta parametrar [1].

Table 3.2 Compilation of measured parameters.

	pH	CaO [%]	Torr densitet [kg/m ³]	w _{opt} [%]	T [°C]	Enaxligt tryckförsök, [MPa]
SEF	12,8	12,4	960	38	90	4,5
SE	11,9	1,7	1025	49	20	1,4
VVU	12,8	9,9	1684	20,6	45	2

SEF – Flygaskans ursprungliga vattenkvot är 0,4 %. Vid uttaget tillsattes det vatten till flygaskan, och vattenkvoten höjdes till mellan 30 – 50 %. Uppnådd torrdensitet vid en vattenkvot på 30 % är 958 kg/m³. Genom att höja vattenkvoten (tillsätta mer vatten) kan materialets torrdensitet efter packning höjas. Den högsta torrdensiteten hos flygaskan uppnås vid en vattenkvot på 38 %. Vid optimal vattenkvot ligger flygaskans torrdensitet på 960 kg/m³, figur 3.1 För att kompensera mängden vatten som binds kemiskt tillsattes mer vatten till flygaskan än dess optimala vattenkvot. Kemiskt bundet vatten mäts inte vid mätning av vattenkvot.



Figur 3.1 Packningskurvor för respektive flygaska.

Figure 3.1 Dry density – water content relationship for different fly ash

VVU – Flygaskans ursprungliga vattenkvot är 0,3 %. Uppnådd torrdensitet vid en vattenkvot på 15 % är 1585 kg/m^3 , figur 3.1 Genom att höja vattenkvoten (tillsätta mer vatten) kan materialets torrdensitet efter packning höjas. Den högsta torrdensiteten hos flygaskan uppnås vid en vattenkvot på 20,6 %. Vid optimal vattenkvot ligger flygaskans torrdensitet på 1684 kg/m^3 , figur 3.1 För att uppnå 93 % packningsgrad krävs ca 10 slag/skikt och då är hållfastheten ca 2 MPa. I det aktuella fallet blandades flygaska med grusmaterial i syfte att stabilisera/härda grusmaterialet.

3.2 Norberg

3.2.1 Allmänt

En provsträcka renoverades med flygaska under hösten 2002. Flygaskan nyttjades förstärknings-/bärlagret som ett homogent skikt. En referenssträcka undersöktes parallellt med försöket.

Provsträckans läge är ca 1200 m från korsningen Stensjövägen/väg 270. Provsträckan är ca 60 m och referenssträckan är ca 80 m. Bockhopsberget ligger söder om provsträckan. Referenssträckan renoverades enbart genom att grusmaterial (slitlager) lagdes ut över sträckan.

Vid det aktuella pilotförsöket på Stensjövägen nyttjades flygaska från Stora Enso Fors AB som förstärkningslager och undersöktes med avseende på geotekniska och miljötekniska egenskaper. Renoveringsarbetet dokumenterades och referensprovtagning av vatten, densitetsmätning, etc. utfördes i samband med utläggningsarbetet.

Stora Enso Fors AB levererade flygaskan under två dagar, 30 september (tisdag) och 2 oktober (torsdag). Den 1 oktober utfördes inget renoveringsarbete på sträckan. Den totala mängden flygaska som levererades var sex lass under dag 1 och tre lass under dag 3, totalt ca 144 m^3 flygaska. Under dag 2 skulle flygaska levereras från Sandviken. Flygaskan från Sandviken kunde dock enbart levereras torrt, vilket medförde att denna flygaska inte kunde nyttjas på sträckan.

3.2.2 Platsbeskrivning

Markprofilen på den aktuella sträckan är sandig siltig morän, se figur 3.2 a. Jordprofilen undersöktes i 7 punkter ner till ca 2 m djup med skruvprovtagning figur 3.2 b. Jordartsbedömningen redovisas i Bilaga A. Den befintliga vägen bedömdes ha dålig bärighet under tjällossningsperioden.

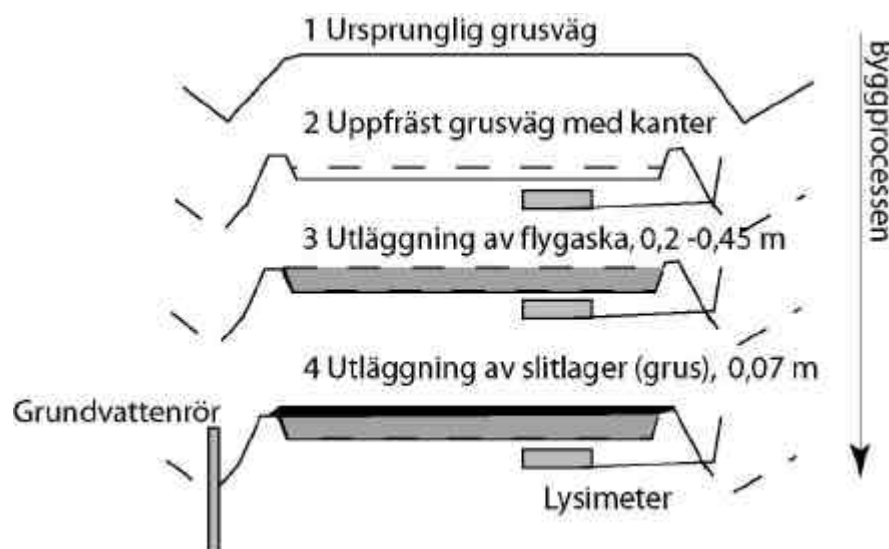


Figur 3.2 (a) Markytan består av en siltig sandig morän, (b) Skruvprovtagning av markprofilen och installation av grundvattenrör, Gv 10 (vänster) Gv3 (höger).

Figure 3.2 (a) The surface consist of silty sandy moraine (b) Soil sampling and ground water sampling Gv10 (left) and Gv3 (right).

3.2.3 Utförande

Renoveringen av grusvägen utfördes enligt den schematiska beskrivningen som redovisas i figur 3.3.



Figur 3.3 Schematisk bild av förberedelser och utläggning av flygaska som förstärkningslager.

Figure 3.3 Schematic figure of preparation of the fly ash and construction of the sub-base layer of fly ash.

På tisdag den 30 september påbörjades renoveringsarbetet genom att en traktorgrävare plöjde upp vägen med väghyvel, se figur 3.4 a. Vid hyvlingsarbetet bildades vallar i vägkanterna. Lysimetrarna installerades i vägkroppen, figur 3.4 b. Installerade lysimetrar täcktes med befintligt vägmateriel. Därefter stabiliserades sträckan genom att ett ca 30 – 45 cm tjockt skikt av flygaska lades ut och packades.



(a)



(b)

Figur 3.4 (a) Hyvling av vägmateriel, vid hyvlingensarbetet bildades vallar i vägkanterna. och (b) installation av lysimeter i vägkroppen.

Figure 3.4 (a) Planning of the road (b) installation of lysimeter

Ungefär 80 ton (torrsbstans, TS) flygaska nyttjades vid renoveringsarbetet. Lassen med flygaska lades ut och jämnades av med traktorgrävare direkt efter leverans, figur 3.5 a och b.



(a)



(b)

Figur 3.5 (a) Utläggning av flygaska på vägen och (b) avjämning med skopa.

Figure 3.5 The fly ash tipped from the lorry (a). Construction of the road with fly ash (b)

Utläggingsarbetet upprepas för varje lass flygaska. Tjockleken på skiktet med flygaska var mellan ca 0,3 till 0,5 m. När all flygaska var utlagd och utjämnad med traktorgrävaren, kopplades en vibrovält på traktorn, figur 3.6 a och b. Traktorn körde två gånger på sidorna och 4 gånger i mitten med vibrovälten. I och med att välten vibrerade luckrades askan upp en aning. Genom att välten kördes utan påslagen vibration packades flygaskan utan uppluckring. Välten vägde 3 ton, vid påslagen vibration slog den med ca 6 ton. Bedömningen var att flygaskans vattenkvot var lägre än dess optimala vattenkvot. Den packade flygaskan bomberades sedan i syfte att underlätta avrinning av nederbördsvatten. Den andra oktober lades det ut slitlager (Naturgrus från Avesta) över

försöks- och referenssträckorna. Syftet var att få lika förhållanden på referenssträckan som på provsträckan. Totalt har grus från två lastbilar med släp tippats ut på vägen. Slutligen packades sträckan med vibrovält. Efter att gruset har lagts på, packades även vägslänterna. Därefter hyvlas vägen åter för att få ett jämnt gruslager på vägsträckan. Gruslagret blev ca 0,07 m tjockt.



Figur 3.6 (a) Packning av den flygkastabiliserade vägen, med grundvattenrören, Gv 10 (vänster) Gv3 (höger) och (b) den färdiga vägen med utlagt slitlager.

Figure 3.6 (a) Compaction of the fly ash-stabilized road with the groundwater pipes Gv 10 (left) Gv3 (right). (b) The final road.

Från varje lass togs det prov på flygaskan. Under tisdagen lades det ut flygaska med 34 volym % vatten. Totalt levererades det 96 m³ flygaska ut på sträckan. Under onsdagen den 1 oktober utfördes inget arbete på provsträckan. Tre lass med flygaska levererades under dagen, totalt ca 48 m³. Flygaskans kvalitet var något sämre, den har hunnit härda medan den kördas fram till provsträckan, figur 3.7. Även större klumpar förekom. Den tillsatta vattenvolymen var densamma som tisdagens aska, dvs. 34 volym %. Det gick trots detta bra att lägga ut och packa flygaskan.



Figur 3.7 Flygaskan hann börja härda under transporten.

Figure 3.7 The fly ash started to set during the transportation

En svacka på sträckan, där lysimetrarna 3 och 4 installerades (runt Gv 3 och Gv10), fylldes ut med en skiktjocklek på flygaskan på ca 5 cm figur 3.8.

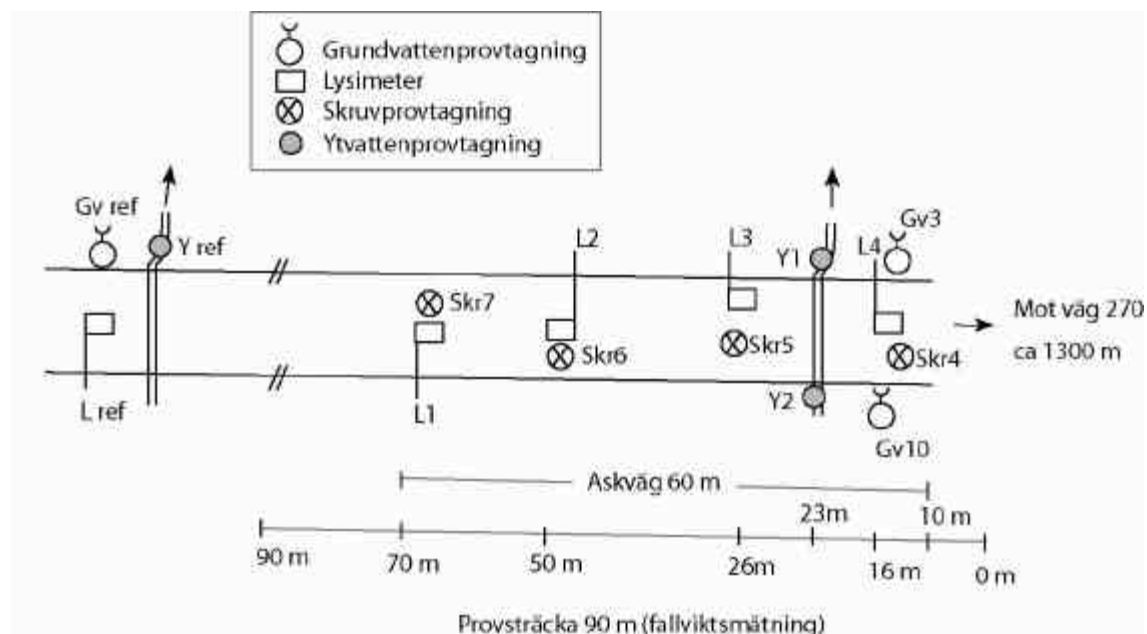


Figur 3.8 Flygaskans skiktjocklek runt Gv3 och 10 var ca 45 cm.

Figure 3.8 The thickness of the fly ash layer around Gv3 and 10 was 45 cm.

3.2.4 Utfört kontroll under renoveringsarbetet

I figur 3.9 redovisas en schematisk bild av provtagningspunkternas lägen. Fyra stycken lysimeter installeras på provsträckan och en på referenssträckan. Lysimeter 1, 2, 4 och referenslysimetern placerades mitt på vägen. Lysimeter 3 placerades på norra sidan av vägen (höger kant sett från väg 270). Vid installation av lysimeter 4 påträffades torv med trärester på ca 0,3-0,5 meters djup.



Figur 3.9 Beskrivning av provtagningspunkternas läge på prov- och referenssträckan, Norberg.

Figure 3.9 Description of the location of the sampling points on test and reference sites, Norberg.

Viktiga parametrar som styr resultatet vid renoveringsarbetet är flygaskans vattenkvot, packningsgraden och skiktets tjocklek. Flygaskan bevattnades vid uttaget, kördes ut och lastades av på vägen utan förvaring. Flygaskans skrymdensitet vid transport var ca 0,9 ton/m³ (torrdensiteten ca 0,56 ton/m³). Den totala mängden flygaska som användes på försökssträckan var ca 80 – 85 ton (TS vikt). Flygaskans våtvikt låg runt 130 ton. Flygaskan lades ut i skiktjocklek mellan 0,3 – 0,5 m, se tabell 3.3. Flygaskans vattenkvot låg mellan 38 och 44 %, tabell 3.4.

Tabell 3.3 Flygaskans skiktjocklek längs sträckan.

Table 3.3 The thickness of the layer of fly ash along the stretch			
Sträcka	Skiktjocklek	Torrdensitet, ton/m ³	Övrigt
0 – 30 m	0,4 – 0,5 m	1,0, 0,96	Lysimetrarna 3 och 4
30 – 70 m	0,3 m	Lysimeter 2	Lysimeter 2
70 – 90 m	0,35 m	Lysimeter 1	Lysimeter 1

Vattenkvot, w , är en viktig faktor vid bedömning av ett materials geotekniska egenskaper. Inom tillverkningsprocessen används torrsubstanshalt, TS, istället för vattenkvot. För att underlätta förståelsen redovisas här förhållandet mellan materialets TS i % och dess vattenkvot i %, $w = (1 - TS)/TS$ och $TS = 1/(1+w)$, tabell 3.6.

Materialets totala vikt (m) består av torrsubstansens vikt (TS) och vattnets vikt (m_w), dvs. $TS + m_w = m$. Vattenhalten är m_w/m . Ett materials TS bestäms genom att torka materialet på 105 C grader under 24 timmar.

Vid uttaget av flygaskan på Stora Enso Fors fabrik tillsattes vatten så att en vattenkvot på ca 53 % erhöles. Askprover som togs vid vägen, när flygaskan lagts ut visar på vattenkvoter på mellan 38-42 % för flygaskan som lades ut under tisdagen (dag 1). Askan som lades ut under torsdagen (dag 3) hade en något högre vattenkvot, ca 43 – 44 %, tabell 3.4. Det visar att det sker avgång av vatten orsakad av avdunstning (pga. värmeutveckling) under transporten samt att vatten binds kemiskt till flygaskan, dvs. det sker en viss härdning redan under tiden för transport.

Tabell 3.4 Vattenkvot och TS-halt av flygaska direkt från lastbil 1-6 togs ut under tisdagen medan lass 7-9 togs ut under torsdagen.

Table 3.4 Water content and dry solid of fly ash.

Lass	w, %	TS-halt, %
1 (dag 1)	38,3	72,3
2 (dag 1)	39	72
3 (dag 1)	42,4	70,2
4 (dag 1)	40,4	71,2
5 (dag 1)	38,2	72,4
6 (dag 1)	39,9	71,5
Blandprov 7, 8, 9 A (dag 2)	42,9	70
Blandprov 7, 8, 9 B (dag 2)	42,9	70
9 (dag 2)	43,9	69,5

Efter att askan lagts ut och packats, gjordes det kontroll av densiteten på askan. Prover på togs när flygaskan har legat två dygn på vägen. Prover togs även på torsdagens aska under samma dag. De sistnämnda proverna togs efter att kanterna vikts in, dvs. grusmaterial hade lagts ut på vägen. Detta innebar att dessa prover innehöll en viss

mängd grusmaterial. Vattenkvoten på proverna på tisdagens aska låg mellan 45-50 %, tabell 3.5. Det bör noteras att det regnade mellan tisdagen och torsdagen.

Tabell 3.4 Flygaskans vattenkvot och torrdensitet.

Table 3.5 Water content and dry density of the fly ash.

	Densitetskontroll	w, %	TS-halt, %	Torrdensitet, ton/m ³	Packning
10	Lysimeter 1 Norr	44,6	69,1	1,00	Väl packat
11	Lysimeter 1 mitten	45,8	68,6	0,96	Löst packat
12	Lysimeter 2 Norr	50,0	66,7	1,03	Väl packat
13	Lysimeter 4 Norr	15,8	86,4	2,17 ^{\$}	Väl packat
14	Lysimeter 4 Söder	34,1	74,6	1,24 ^{\$}	Löst packat

^{\$} Hög torrdensitet pga. grusinblandning

Packningsgrad och skrym-/torrdensiteten undersöktes med hjälp av vattenvolymeter efter att askan har lagts ut och packats.

I tre punkter kontrollerades packningsgraden på flygaskan två dagar efter utläggning. Två av proverna togs vid lysimeter 1, det ena på högra sidan av vägen och det andra i mitten av vägen. I mitten av vägen har inte traktorn kunnat köra med däck, dvs packningen bedöms som mindre i mitten av vägen än på sidorna. Ett prov togs även vid lysimeter 2 på högra sidan. Ytterligare två prover togs på torsdagens flygaska, vid lysimeter 4. När dessa prover togs samma dag som flygaskan har lagts ut. Vägkanterna har vikts in vilket medförde att grusmaterial följde med proverna.

Flygaskan som lades ut dag 1 hade skrymdensiteten mellan 1,40-1,55 ton/m³, medan torrdensiteten låg mellan 0,96 - 1,03 ton/m³. Vattenkvoten på askan efter två dygn var 45 - 50 %.

Flygaskan som lades ut dag 2 hade skrymdensiteten mellan 1,67 och 2,51 ton/m³, medan torrdensiteten låg på 1,25 och 2,16 ton/m³. Vattenkvoten på askan (med grusinblandning) var 15,8 och 34,1 %.

Vid tidigare laboratorieförsök har följande kommit fram angående flygaskan från Stora Enso Fors:

Flygaskans ursprungliga vattenkvot är 0,4 %. Materialet kan ej packas i torrt tillstånd. Uppnådd torrdensitet vid en vattenkvot på 30 % är 958 kg/m³. Genom att höja vattenkvoten (tillsätta mer vatten) kan materialets torrdensitet efter packning höjas. Den högsta torrdensiteten hos flygaskan uppnås vid en vattenkvot på 38 %. Vid optimal vattenkvot ligger flygaskans torrdensitet på 960 kg/m³. För att uppnå 93 % packningsgrad krävs ca 16 slag/skikt och då är hållfastheten ca 4,5 MPa. Brott sker vid ca 0,6 och 0,9 % axiell kompression, vid 93 och 91 % packningsgrad.

Genom att undersöka skrymdensiteten och torrdensiteten efter att askan lagts ut och packats fås en uppfattning om packningsgraden. För att ta reda på densiteten togs askprov ut från vägen och vägdes, hålrummet som askan lämnade fylldes med vatten för att få vetskap om volymen.

3.3 Provsträcka med flygaska från Vattenfall Uppsala

Grusvägarna som är byggda med flygaska i förstärkningslagret är traktorvägar. Innan förstärkning med flygaska gjordes låg traktorvägarna på naturlig mark. Två delsträckor valdes ut för kontroll av vägen samt en referenssträcka. Delsträckorna som har valts ut ligger alla i ett område som utgörs av postglacial lera.

Delsträcka 1 är ca 150 meter lång. En tredjedel av sträckan är byggd med 100 % flygaska i förstärkningslagret. Resterande del av sträckan är byggd med 30 % grus och 70 % flygaska i förstärkningslagret. Förstärkningslagret är täckt med ett tunt (ca 5 cm) slitlager bestående av grus (kross). Denna del av vägen byggdes våren 2002. Delsträcka 2 är ca 250 meter lång. Hela sträckan är byggd med 30 % grus och 70 % flygaska i förstärkningslagret. Förstärkningslagret är täckt med ett tunt (ca 5 cm) slitlager bestående av grus (kross). Även delsträcka 2 är byggd våren 2002. Referenssträcka valdes vid en äldre grusväg några 100 meter ifrån askvägarna, vid Alsta. Sträckan är ca 200 meter. Denna grusväg är mer trafikerad än askvägarna. Den är därmed uppbyggd med tjockare förstärkningslager och slitlager.

Fallviktsmätning

Provsträckorna vid Stensjövägen och utanför Uppsala har undersökts med hjälp av fallviktsmätning november 2003 och april 2004. Utifrån fallsviktsdata har enkla bärighetsmått beräknats enligt Vägverkets metodbeskrivning 114:2000 "Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat". Mått som beräknats är

- Ytmodul - beskriver hela konstruktionens styvhet
- Uppskattad undergrundsmodul.
- SCI – Surface Curvature Index - ett relativt jämförelsemått på styvheten för den övre delen av konstruktionen, främst de översta 300 mm. Ju lägre värde SCI har, desto styvare konstruktion.

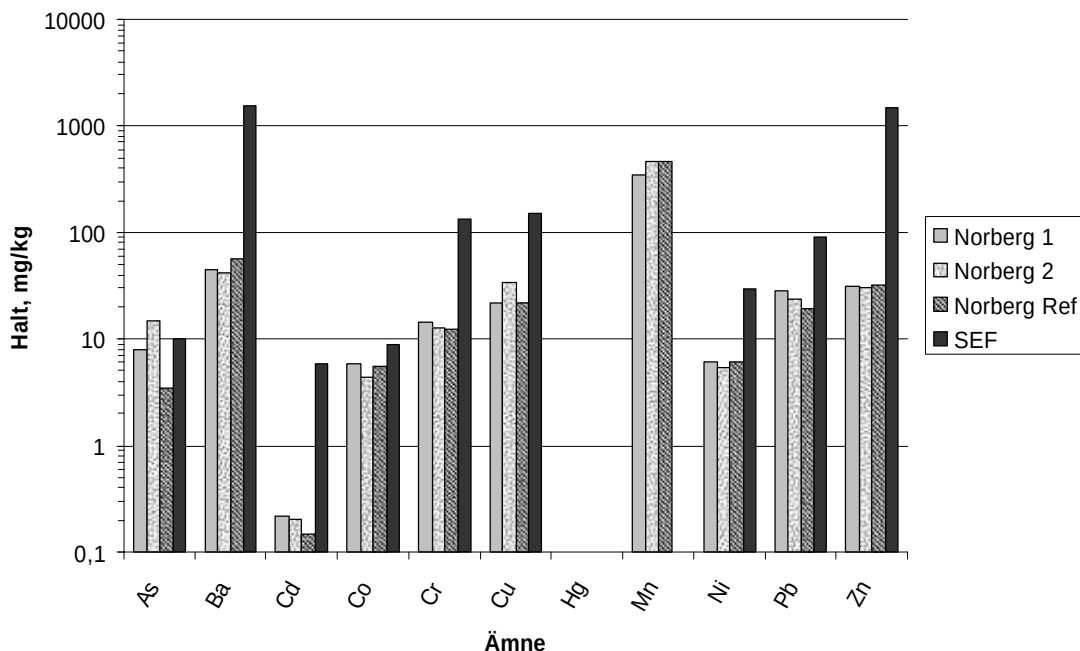
Vid jämförelse mellan provsträckor och referenssträckor har medianvärden för samtliga mätpunkter beräknats och redovisats, d.v.s. medianen av både höger och vänster sidas mätvärden.

Medianvärdet har använts vid jämförelse eftersom man där tar bort effekten från enstaka extremvärdens inverkan.

Mätningarna utfördes under de perioder då vägens hållfasthet är lägst. Under hösten försämras vägarnas hållfasthet orsakad av höjning av jordens och vägmaterialets vattenkvot. Under våren pågår tjällossning som försämrar vägmaterialets hållfasthet. Miljö (Norberg)

Flygaskans innehåll av polyaromatiska kolväten, fenoler, olja och bensen har undersökts tidigare av Stora Enso Fors AB. Resultaten visar att innehållet av cancerogena PAH, PCB, olja och aromater ligger under eller nära detektionsvärdet för valda analyser. Undersökning av flygaskans totalinnehåll och lakbarhet av metaller i laboratorium visar

att flygaskan är anrikad på Zn och Cd, samt på Ca, Na, K och S. Även övriga metaller ligger något över de bakgrundhalter som finns längs provsträckan, figur 3.10. Flygaskans innehåll av organiskt kol (TOC) är 0,34 % av TS vikten.



Figur 3.10 Bakgrundshalter respektive flygaskans innehåll av metaller.

Figure 3.10 Background levels and metal content of fly ash.

Vattenprovtagning utfördes vid tre tillfällen, tabell 3.5. Vid det första tillfället, 2003-10-20, togs det prover från grundvattenrör 3, referens grundvattenröret samt från ytvattenreferensen. Vid det andra tillfället togs det prover från samtliga punkter. Lysimeterproverna analyserades som ett samlingsprov. Vid det sista mättillfället 2004-10-27 togs det prov från samtliga punkter med undantag av grundvattenrör 3 som var uppsplitet. Några veckor innan provtagningstillfället utfördes gräsklippning i dikeskanten. Vid detta tillfälle förstördes lysimeterslangar och grundvattenrör 3.

Tabell 3.5 Provtagningschema.

Table 3.5 Schedule for sampling

Datum	Gv 3	Gv 10	Gv ref	Ytv ref	Ytv Uppströms	Ytv Nedströms	Lysimeter 1 - 4	Lysimeter 1 - 2	Lysimeter 3 - 4
03-10-20	ja	-	ja	ja	-	-	-	-	-
04-04-26	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	-	-
04-10-27	- ^E	ja	ja	ja	ja	ja	-	ja	ja

-^E Grundvattenröret var förstört, antagligen utfördes gräsklippning i dikeskanten.

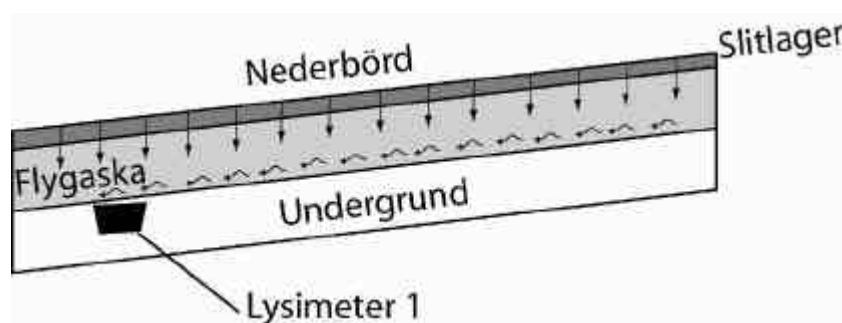
Lysimeter vs lakningsförsök

Lysimetrarna tömdes vid två tillfällen, tabell 3.6. De installerade lysimetrarna ligger direkt under skiktet av flygaska. Resultaten tyder på att i slutet av provsträckan, dvs. i anslutning till lysimeter 1, ansamlas det vatten, (figur 3.11). Det ursprungliga vägmaterialet är tätare än flygaskan, vilket medför att vatten kan ansamlas utan möjlighet att rinna av eller infiltrera. Från lysimeter 1 har det pumpats ut ca 29 liter vatten vid provtagningstillfället 2004-04-26. Lysimeterns kapacitet att lagra vatten ligger på ca 10 liter. Detta innebär att vatten har ansamlats i flygaskans porvolym, eftersom det underlagande jordmaterialets genomsläpplighet är lägre än flygaskans genomsläpplighet. I de övriga lysimetrarna ansamlades mellan 1 och 6 liter vatten under det första halvåret efter installation. Mängden 1 – 3 liter motsvarar en genomsläpplighet mellan ca 20 och 50 liter vatten per kvadratmeter väg.

Tabell 3.6 Mängd uppsamlat vatten från lysimetrarna.

Table 3.6 Amount assembled water in the lysimeter

Lysimeter	2004-04-26	2004-10-27
	Liter	Liter
Ref:	3	1,5
1	29	12,5
2	6	4,5
3	1	1,5
4	4	3,5

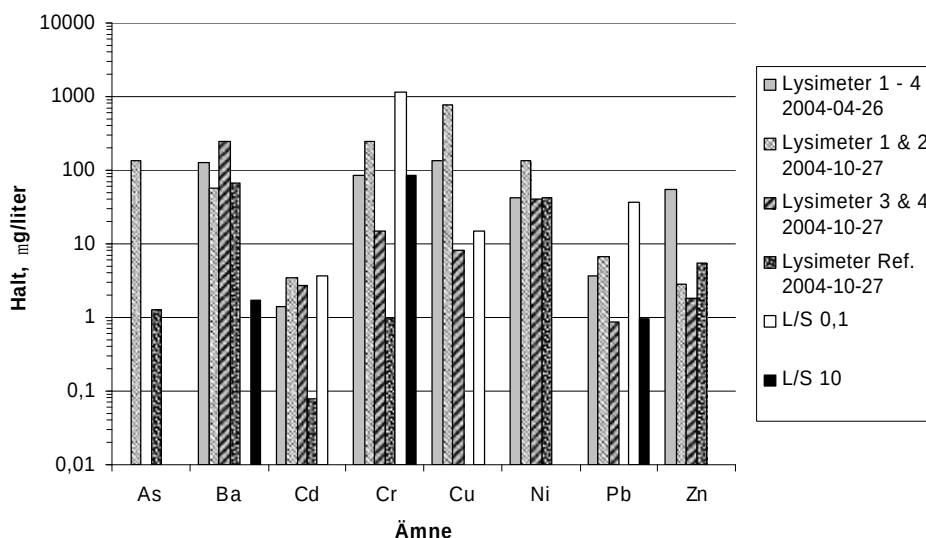


Figur 3.11 Tät undergrund medförde att lysimeter 1 fylldes med vatten som har infiltrerat längre upp på sträckan.

Figure 3.11 Lysimeter 1 was overflowed with water, due to impermeable underground and water infiltrating from the road construction higher up in the road construction.

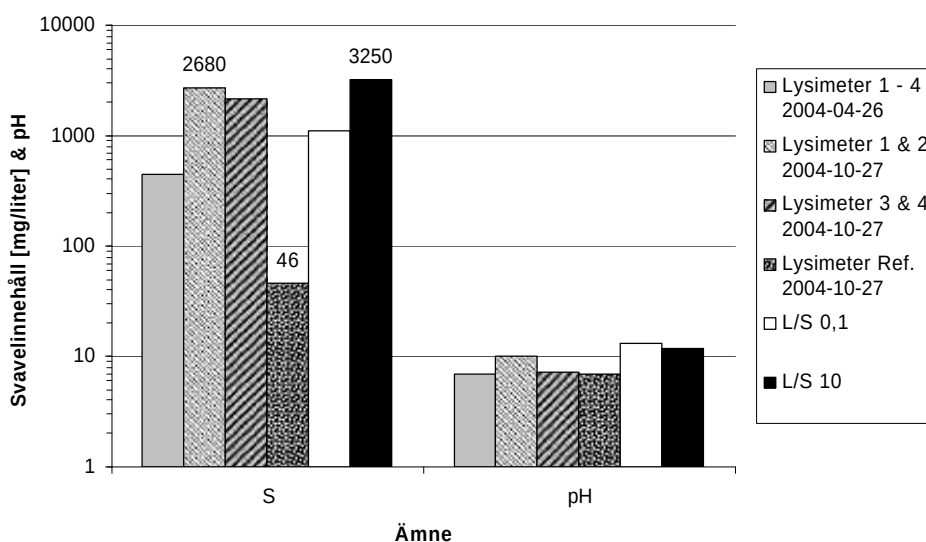
Som det framgår i bilaga B är halterna av K, Na och S förhöjda i lysimetervattnet från askvägen. Lysimetervattnet är även anrikat på bl.a. aluminium, krom och koppar. Samlingsprovet från lysimetrarna 1 och 2 hade pH runt 10 vid mättillfället i oktober 2004. Det höga pH i vattnet sammanfaller med högre metallhalter, figur 3.12. En jämförelse mellan halterna från lysimetrarna och från lakningsförsök i laboratorium visar att Lysimetervattnet halter av S ligger i nivå med den från lakningsförsök vid L/S-kvot 10. Detta tyder på att vattnet som är ansamlat i lysimetrarna har dämts upp i konstruktionen och att flygaskan är i kontakt med vatten, vilket medför lakning. Vidare tyder resultaten på att det sker en viss anrikning av metaller i lysimetervattnet. Innehållet av bl.a. Ba, Cd, Cu och Zn är högre i lysimetervattnet än i lakvattnet från laboratorium. Halterna av Ba, Ni och Zn i vattenprover från referenslysimetern ligger i nivå med de

halter som uppmättes i lysimetrarna från askvägen. Som det framgår i figur 3.13 är det bl.a. halten av svavel (i form av sulfat) som är markant högre i lysimetrarna från provsträckan, jämfört med referenssträckan.



Figur 3.12 Lysimetervattenprovernans halter av tungmetaller och pH från prov- och referenssträckan, samt i lakvattenprover med L/S = 1 och 10.

Figure 3.12 Content of S and pH of water samples from lysimeters from the test and reference sites and from leachate test with L/S = 1 and 10.



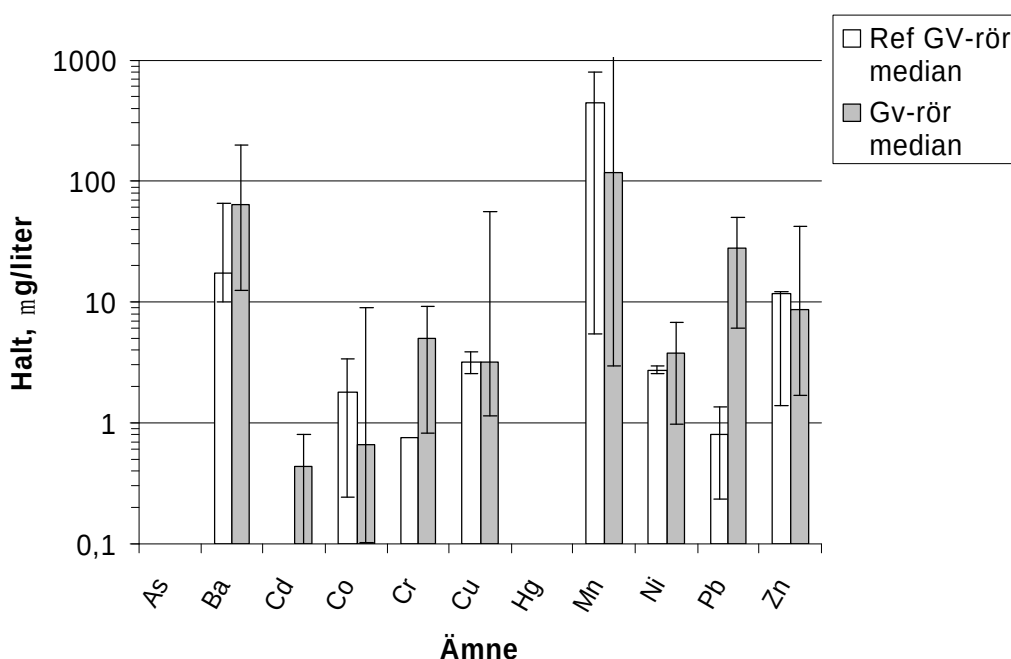
Figur 3.13 Lysimetervattenprovernans halter av S och pH från prov- och referenssträckan, samt i lakvattenprover med L/S = 1 och 10.

Figure 3.13 Content of S and pH of water samples from lysimeters from the test and reference sites and from leachate test with L/S = 1 and 10.

Grund- och ytvatten

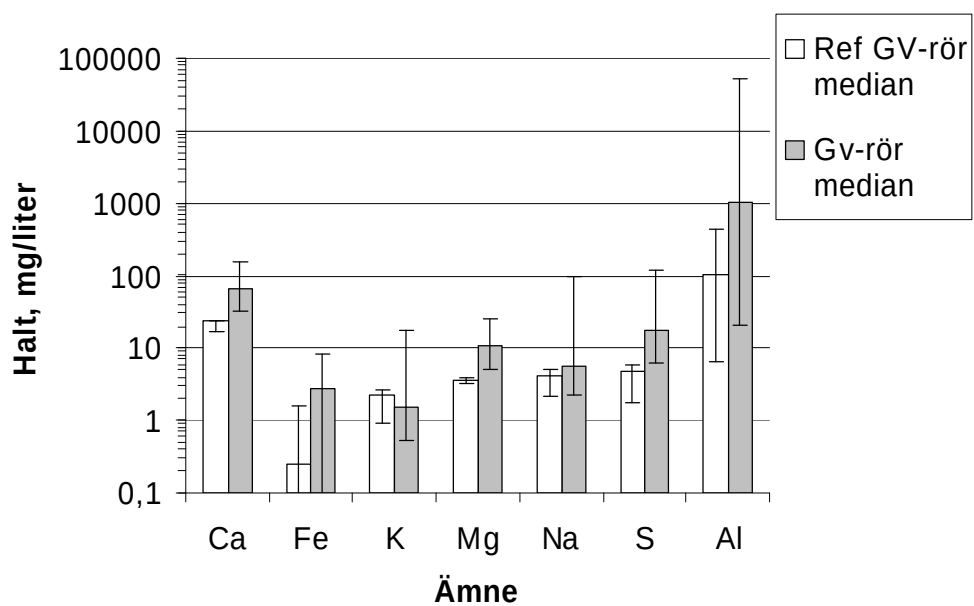
Vid referenspunkten utfördes mätning av vattnets innehåll av metaller vid tre mättillfällen. Undersökningen visar att det finns stor naturlig variation i halt vad gäller Al, Mn och Zn. Grundvattnets pH inom referensområdet ligger mellan 6,3 och 6,4. Ytvattnets pH ligger något högre, ca 6,7 och halterna av metaller ligger lägre än grundvattnets halter från samma tidpunkt

Grundvattenrören på provsträckan, Gv3 och Gv10, installerades några decimeter intill väggkanten. Vattenprovernas pH ligger mellan 6,5 – 7. En jämförelse mellan grundvatten från referenspunkten och provsträckan, figur 3.14 visar att halten för de flesta metaller är lägre men ligger i samma storleksordning. Vid vissa mättillfällen var det högre halter vid andra är det lägre halter av metaller som kunde detekteras i grundvattnet från provsträckan jämfört med referenssträckan.



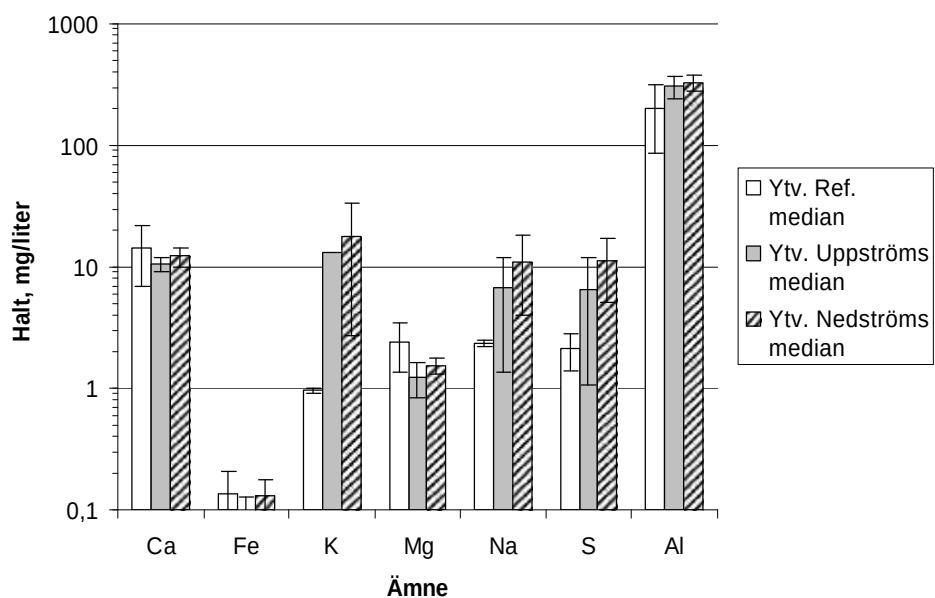
Figur 3.14 Metallhalter i grundvattenprover från teststräckan

Figure 3.14 Constituent analyses on groundwater samples from the test site



Figur 3.15 Grundvattenprovernans medianhalter av Ca, Fe, K, Mg Na S och Al intill provsträckan och i referenspunkten.

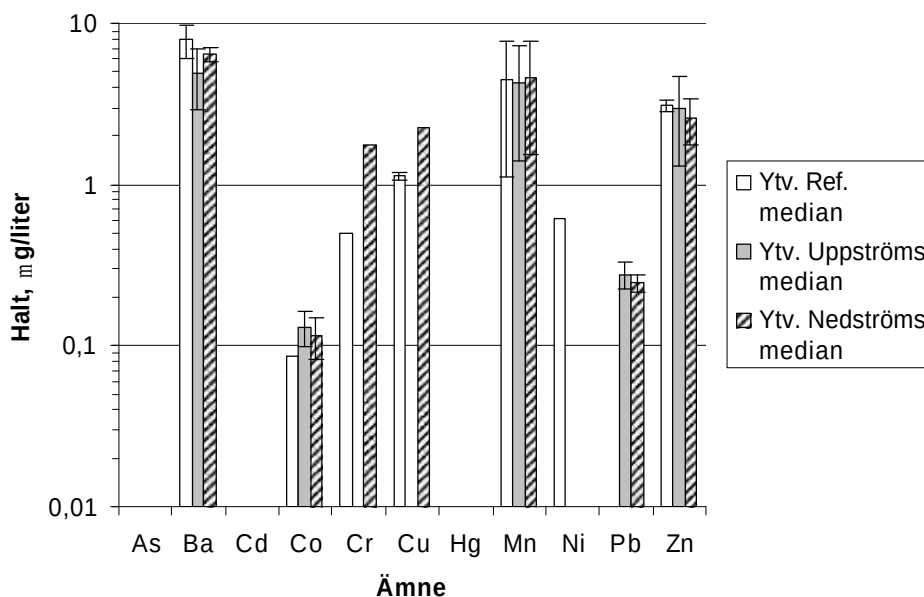
Figure 3.15 Contents of Ca, Fe, K, Mg, Na S and Al in ground water samples at the site and at a reference point.



Figur 3.16 Ytvattenprovernans halter av Ca, Fe, K, Mg Na och S nedströms provsträckan och i referenspunkten.

Figure 3.16 Contents of Ca, Fe, K, Mg, Na and S down streams and at the reference point.

Som det framgår i figur 3.15 är grundvattnets halter av Ca, K, Mg Na och S högre intill askvägen än intill referensvägen. På motsvarande sätt är ytvattnets halter av samma ämnen också något förhöjda vid provsträckan, figur 3.16. Ytvattnets halter är ca 10 gånger lägre i ytvattnet än i grundvattnet. I figuren nedan redovisas uppmätta halter av metaller i ytvatten från provsträckan och referenssträckan. Halten av metaller ligger på samma nivå i ytvattnet oberoende provtagningspunkt.



Figur 3.17 Ytvattenprovernans tungmetallhalter (medianvärde, minimivärde och maxvärde) nedströms, uppströms provsträckan och i referenspunkten.

Figure 17 Contents of heavy metals and pH down streams and at the reference point.

3.4 Fallviktsmätning

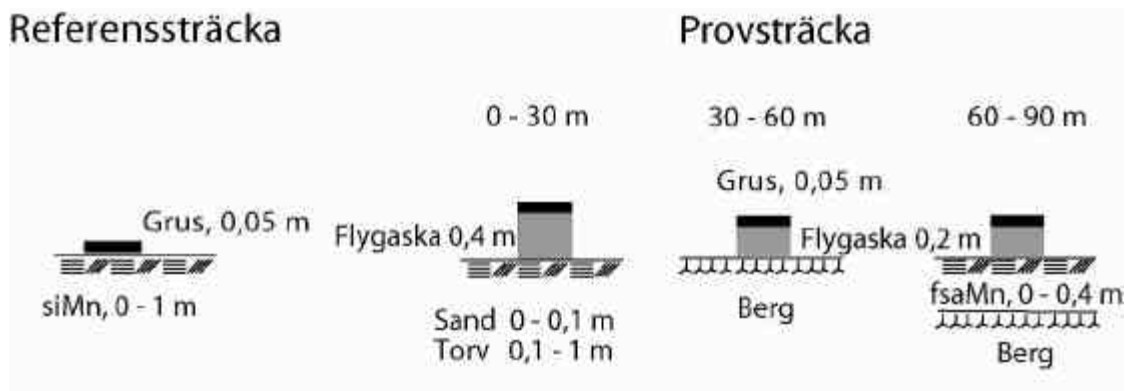
3.4.1 Norberg

Fallviktsmätning utfördes vid två tillfällen, nov 2003 och april 2004 [9]. I detta avsnitt redovisas enbart resultat från vänstra väghalvan. Den första mätningen utfördes en månad efter det att flygaskan lades ut på vägen. Den andra mätningen utfördes under tjällossningsperioden, drygt ett halvår efter utläggning. Referens- och provsträckan är uppbyggd enligt följande, figur 3,18.

- Referenssträckan renoverades enbart genom utläggning av nytt slitlager av grus (0,05 m).

- Provsträckans första 30 m är uppbyggd med ca 0,4 m flygaska och slitlager av grus (0,05 m)
- Resten av provsträckan är uppbyggd med 0,2 m flygaska och slitlager av grus (0,05 m).

Undergrunden varierar från berg i dagen till morän (Mn) och torv.



Figur 3.18 Referens- och provsträckans uppbyggnad, Norberg.

Figure 3.18 The structure of the reference and test sites.

Efter en månads härdningstid var ytmodulens medianvärde 145 Mpa (Min- och maxvärden på 89 respektive 267 MPa), tabell 3.7. Referenssträckans ytmodul låg under samma period mellan 40 och 244 MPa, med medianvärde på 85 MPa, tabell 3.8.

Tabell 3.7 Provsträckans yt- och undergrundsmodul samt SCI-värde, Norberg

Table 3.7 The test sites surface and undergrounds modulus and SCI-value, Norberg

	Värde	Ytmodul (Mpa)		Undergrundsmodul (Mpa)		SCI (mikrometer)	
		Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.
0 – 90 m	medianvärde	147	61	316	78	768	1774
	max	267	114	2298	3538	1190	2352
	min	147	30	316	3	768	1030
0 – 30 m	medianvärde	111	48	9	7	882	1772
	max	138	95	13	13	1190	2352
	min	89	42	6	3	680	1030
30 – 90 m	medianvärde	187	64	550	136	721	1872
	max	267	114	2298	3538	1052	2266
	min	136	30	191	19	566	1097

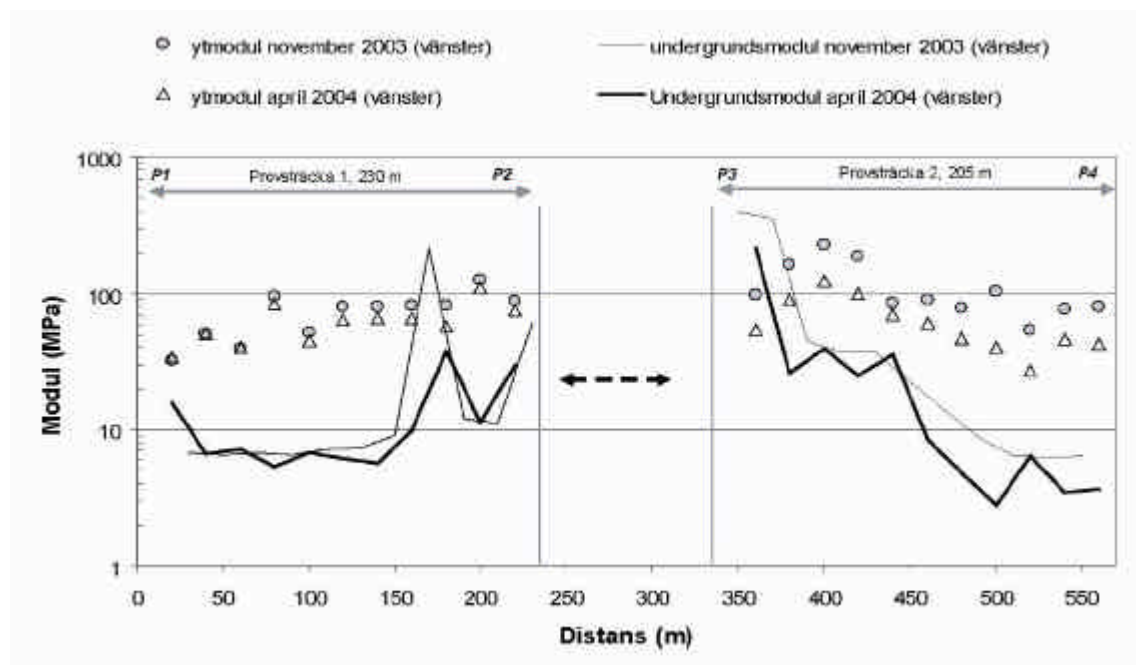
Tabell 3.8 Referenssträckans yt- och undergrundsmodul samt SCI-värde, Norberg

Table 3.8 The reference sites surface and undergrounds modulus and SCI-value, Norberg

Värde	Ytmodul (Mpa)		Undergrundsmodul (Mpa)		SCI (mikrometer)	
	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.
medianvärde	85	60	93	26	1011	2034
max	244	79	2298	124	2995	2844
min	34	43	5	11	521	1632

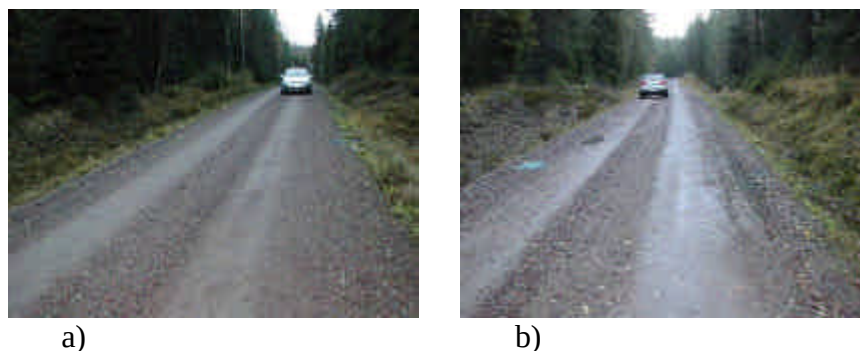
Baserat på jordartsbedömning, i borrhunkterna *skr 4* och *skr 5*, samt resultat från fallviktsmätning, bedöms de första 30 m på provsträckan bestå av högförmultnad torv ner till ca 1 m djup. På sträckan 30 m till 60 m låg bergsmaterial alternativt blockig morän direkt under askan. Denna delsträcka har hög undergrundsmodul, se figur 3.19. Undergrundsmodulen minskar från 60 m till 75 m, för att öka något mellan 75 m och 90 m, figur 3.19.

Det låga värdet på undergrunds- och ytmodul i april på delsträcka 65 m – 75 m tyder på att marken och askan hade hög vattenkvot, figur 3.20a. Detta kunde bekräftas vid tömningen av lysimetrarna. Lysimeter 1, som installerades ca 72 m från sträckans start, har dränkts med infiltrerat vatten vid mätningen i april, till skillnad från resten av sträckan där mängden vatten i lysimetrarna var begränsad till $< 5 \text{ liter/m}^2$ och år. Mätningen i november 2004 visade att mängden ansamlad vatten i lysimetrarna 1 och 2 var mindre än hälften jämfört med mätningen i april.



Figur 3.19 Provsträckans yt- och undergrundsmoduler från mätningar i november 2003 och april 2004. Skruvprovtagningens punkters läge redovisas i figuren..

Figure 3.19 The test sites surface and underground modulus from measurements in November 2003 and April 2004. The sites of soil sampling are shown in the figure as *skr 4* to *skr 7*)



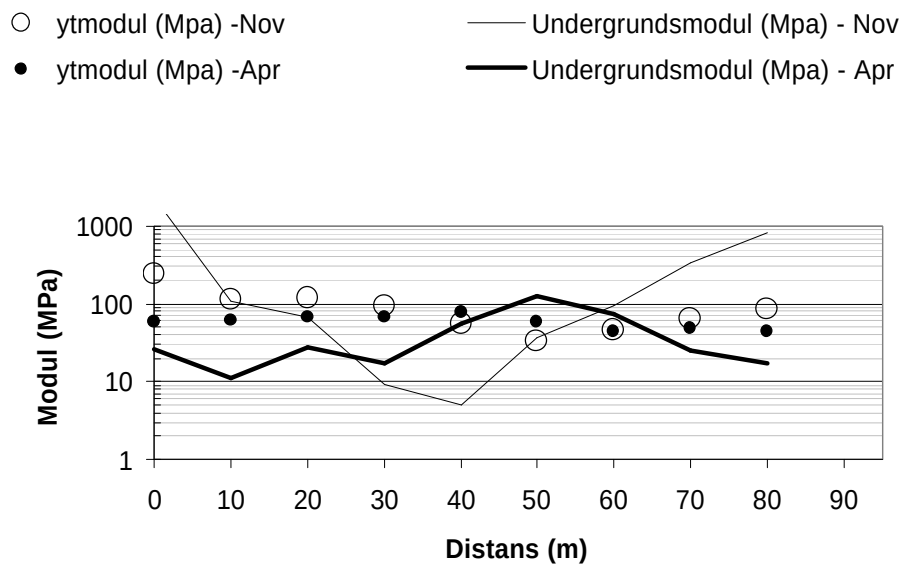
Figur 3.20 Vattenansamling ca 70 – 75 m från provsträckans start (a) och resten av provsträckan (b).

Figure 3.20 Water saturated road section, ca 70 – 75 m from the start of the pilot road (a) And the rest of the road section.

Tabell 3.7 och 3.8, redovisar median, max och min värdena på yt- och undergrundsmoduler för vägsträckans vänstra halva. Av dessa resultat framgår att det är svårt att dra långtgående slutsatser eftersom undergrunden varierar dels mellan prov- och referenssträckan, dels inom sträckan som är undersökt. Under tjällossningsperioden höjs vattenmättnadsgraden i flygaskan och i undergrunden, vilket medför att vägens hållbarhet minskar under denna period.

Ungefär 40 m in på referenssträckan är det ett vattendrag som korsar vägen igenom en vägtrumma. Under november var undergrundsmodulen lägre än vid mätningen i april, figur 3.21. Referenssträckan är ett problemområde vad gäller vägens bärighet.

Norberg referenssträcka



Figur 3.21. Referenssträckans yt- och undergrundsmoduler från mätningar i november 2003 och april 2004.

Figure 3.21 The reference sites surface and underground modulus from measurements in November 2003 and April 2004.

3.4.2 Uppsala

Produkten flygaska blandat med grus användes i förstärkningslagret för att höja bärigheten av en traktorväg. Innan förstärkning med flygaska gjordes låg traktorvägarna på naturlig mark, figur 3.22.

Två delsträckor valdes ut för kontroll av vägen samt en referenssträcka. Delsträckorna som har valts ut ligger alla i ett område som utgörs av postglacial lera, bilaga borrprotokoll. Provsräckornas kvalitet innan renoveringen motsvarar den på figur 3.22. Grus stabiliserades på en separat station och kördes ut på sträckan. Blandningen lades ut direkt på marken (traktorvägen). Tjockleken på det askstabiliserade gruset var ca 0,2 m.



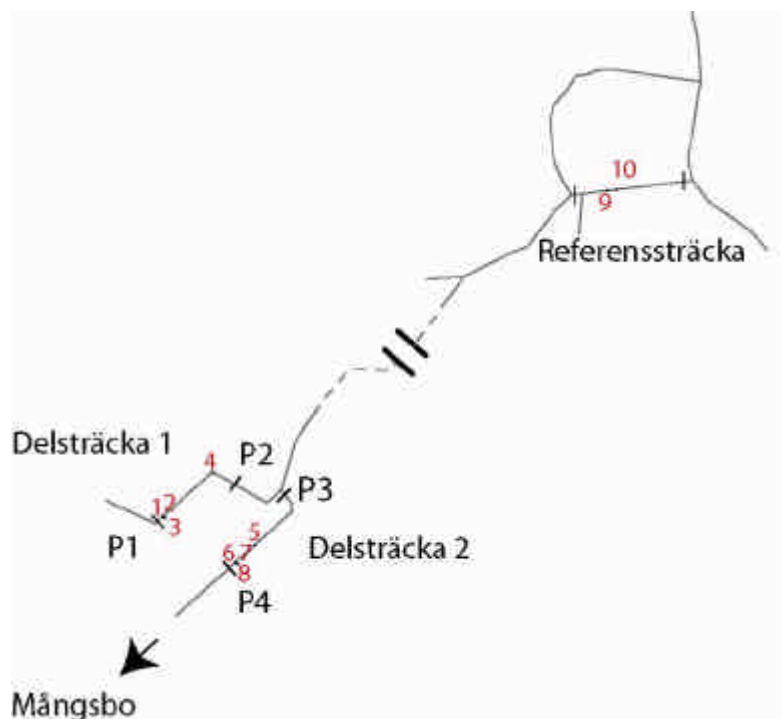
Figur 3.22 Typen av väg som renoverades med flygaskastabiliserat grus, Uppsala.

Figure 3.22 Road before renovation with fly ash stabilized gravel, Uppsala.

Delsträcka 1 (mellan P1 och P2) är ca 150 meter lång, figur 3.23. En tredjedel av sträckan är byggd med 100 % flygaska i förstärkningslagret. Resterande del av sträckan är byggd med 30 % grus och 70 % flygaska i förstärkningslagret. Förstärkningslagret är täckt med ett tunt (ca 5 cm) slitlager bestående av grus (kross). Denna del av vägen byggdes våren 2002.

Delsträcka 2 (mellan P3 och P4) är ca 250 meter lång, figur 3.23. Hela sträckan är byggd med 30 % grus och 70 % flygaska i förstärkningslagret. Förstärkningslagret är täckt med ett tunt (ca 5 cm) slitlager bestående av grus (kross). Även delsträcka 2 byggdes under våren 2002.

Referenssträcka valdes vid en äldre grusväg några 100 meter ifrån askvägarna, vid Alsta, figur 3.23. Sträckan är ca 200 meter. Denna grusväg är mer trafikerad än askvägarna. Den är därmed uppbyggd med tjockare förstärkningslager och slitlager.



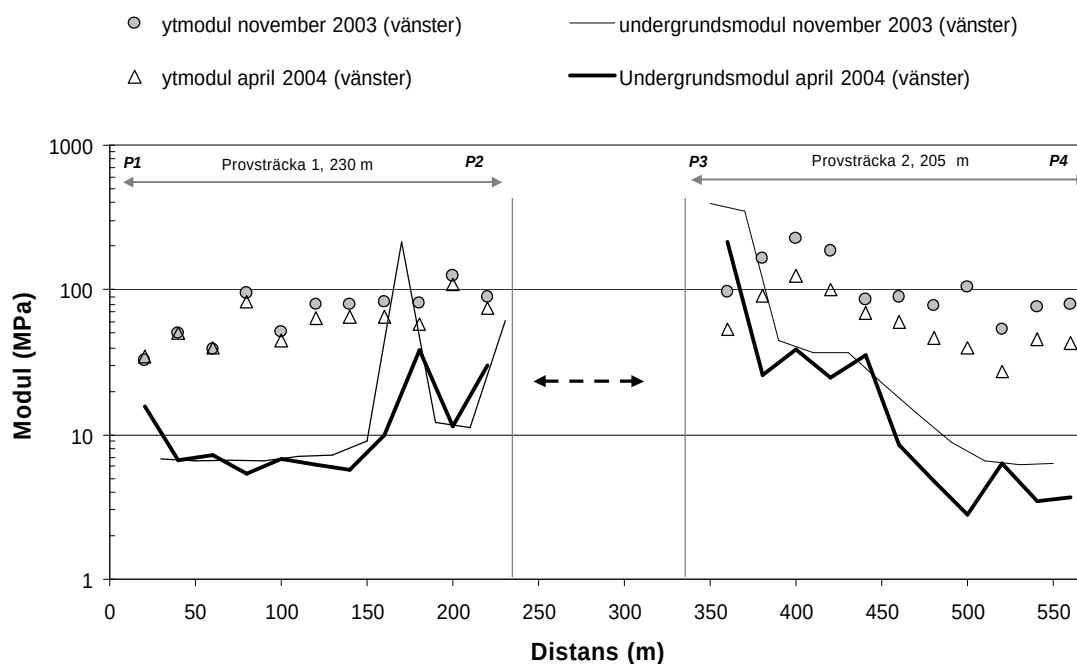
Figur 3.23 Beskrivning av provtagningspunkternas läge på prov- och referenssträckan, Börje.

Figure 3.23 Description of the locations of sampling points on the test and reference sites, Börje.



Figur 3.24 Referens- och provsträckans uppbyggnad, Börje.

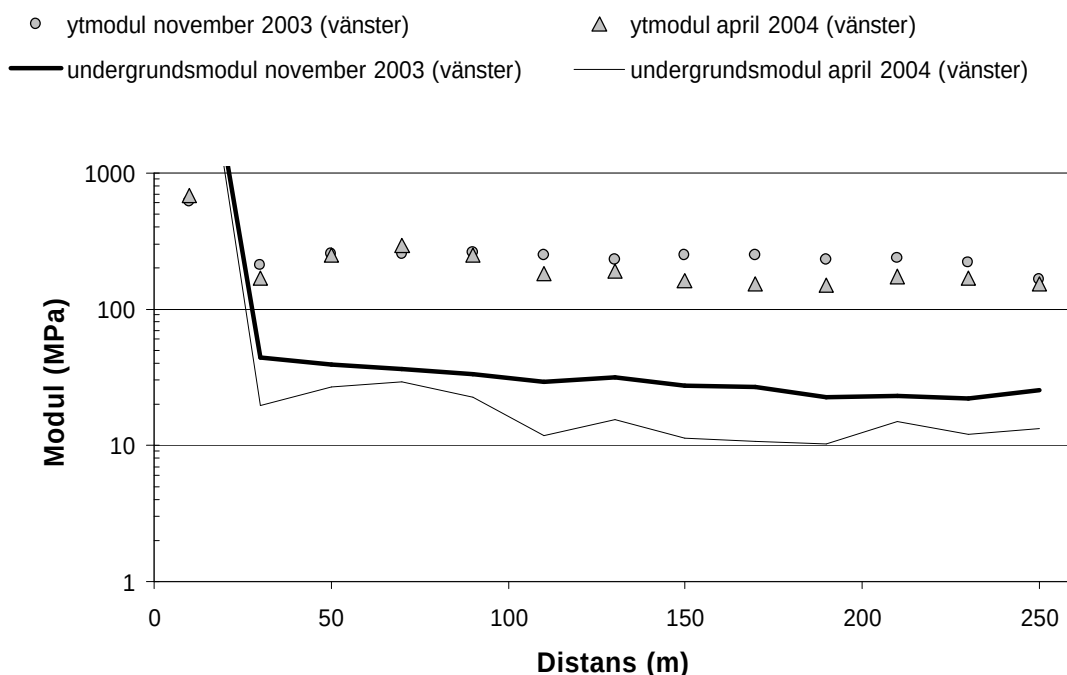
Figure 3.24 The structure of the reference and test sites, Börje.



Figur 3.25 Yt- och undergrundsmodul från mätningar i november 2003 och april 2004 Delsträcka 1 och 2.

Figure 3.25 The test site's surface and underground modulus from measurements in November 2003 and April 2004.

Delsträcka 1 hade ytmodul mellan 32 och 126 MPa, med medianvärde på 80 MPa. Undergrundsmodulens värde under novembermätningen låg mellan 7 MPa och 40 MPa (figur 3.25 och tabell 3.9). Vid mättillfället i april 2004 var undergrundsmodulen på samma nivå, dvs. medianvärdet var 7 MPa, precis som under hösten. Detta kan förklaras med att marken består av lera med hög täthet, vilket medför att markens (lerans) vattenkvot varierar lite. På sträcka 2 varierar undergrundsmodulen något mer än på delsträcka 1. Utifrån borrprotokoll går det ej att tolka orsaken till detta. En hypotes är att markens vattenkvot är högre under mätningen i april än under mätningen i november på delsträcka 2.



Figur 3.26 Yt- och undergrundsmodul från mätningar i november 2003 och april 2004, provsträcka.

Figure 3.26 The reference site's surface and underground modulus from measurements in November 2003 and April 2004.

Referenssträckan är en större grusväg som har nyttjats under tiotals år. Vägen är uppbyggd av slitlager (0,1 m), underlagrad av 0,5 m grusig (stenig) finsand. Ursprungsmarken är > 0,5 m silt. Undergrundsmodulens medianvärde under november var 28 MPa, medan vid mätningen i april var medianvärdet 13 MPa. Ytmodulvärdets medianvärde var 247 MPa vid den första mätningen i november. Mätningen under tjällossningen visar ett medianvärde på 196 MPa (figur 3.26 och tabell 3.10).

Tabell 3.9 Provsträckan

Table 3.9 The test site

Delsträcka	Värde	Ytmodul (MPa)		Undergrundsmodul (Mpa)		SCI (mikrometer)	
		Nov.	Apr.	Nov	Apr.	Nov.	Apr.
1	medianvärd						
	e	80	64	7	7	989	1303
	max	126	109	40	38	2155	2050
2	min	32	34	7	5	643	820
	medianvärd						
	e	89	54	14	8	926	1393
	max	227	125	104	214	1401	2160

min	54	27	5	3	386	742
-----	----	----	---	---	-----	-----

Tabell 3.10 Referenssträckan

Table 3.9 The reference site

Värde	Ytmodul (Mpa)		Undergrundsmodul (Mpa)		SCI (mikrometer)	
	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.	Nov.	Apr.
medianvärde	247	196	28	13	352	411
max	299	282	46	152 (27)	564	635
min	143	130	22	9	276	268

Värdet i parantes representerar undergrundens maxvärde för referenssträckan, exklusive de första 20 m.

4 Resultatanalys

I detta projekt ingick två undersökningar av två provsträckor, en i Norberg och en i Börje (Uppsala). I fallet Norberg användes flygaska som en monolit utan tillsats av bindemedel exempelvis cement. Enbart i Norberg ingick förutom teknisk bedömning även en miljöbedömning. Grundvattenrör och lysimetrar installerades för att bedöma miljöpåverkan. Den tekniska bedömningen i Norberg och Uppsala gjordes utifrån jordartsbedömning längs sträckorna samt fallviktsmätning vid två tillfällen, under hösten och under tjällossningen (Norberg och Börje).

4.1 Provsträckan I Norberg

Norbergsträckan ca 90 m lång byggdes under september 2003. Vägen byggdes enligt principen att det ursprungliga grusmaterialet hyvlades upp ner till ca 0,2 – 0,5 m djup. Därmed bildades det vallar på vänster och höger vägkant. Mellan vallarna lades det ut flygaska i 0,2 m till 0,4 m tjocklek. Den utlagda askan packades sedan med vibrovält. Efter packning lades det ut ett 0,07 m tjockt slitlager bestående av grus (singel).

Erfarenheter från projektet visar att det fungerar väl att hyvla upp vägen och lägga ut askan och packa den. Detta fungerade enbart eftersom det fanns tillräckligt mycket befintligt vägmateriäl att hyvla upp. Erfarenhet från denna och andra sträckor visar att undergrunden kan variera på korta sträckor från sandig, grus till blockig morän och berg. Avsaknad av befintligt vägmateriäl medför att metodiken inte är tillämpbar överallt. På vägsträckan i Norberg fungerade dock utläggningsmetoden.

Konstruktionen med invallning har den fördelen att flygaskan inte sprids utanför vägen, bl.a. i vägdiket. Nackdelen var att invallningen har visat sig vara förhållandevis tät, vilket ledde till att vatten som har infiltrerat genom flygaskan inte kunde rinna vidare ner i marken utan följde vägens lutning längs med vägen. Vattenansamling ca 65 – 75 m från sträckans start medförde att vägkroppens vattenkvot blev hög. Ansamlingen av vatten i vägkroppen har lett till två negativa effekter, nämligen att:

- Vägmaterialets (flygaskans) stabilitet minskade efter den första tjällossningen, genom frostsprängning samt genom att härdning inte kunde komma igång i vattendränkt tillstånd.
- Utlakning från flygaskan ökade, vilket har lett till att lösliga ämnen som Na, K sulfat får en större spridning.

Flygaskaskiktets genomsläpplighet motsvarar ca 20 – 50 liter/m² och år.

Vid miljöundersökningen var det fokus på vad som kan lakas ut från flygaskan. För att få svar på denna fråga har lakning utförts i laboratorium och i fält togs det prover från lysimetrar, grundvattenrör samt från ytvatten.

Analysvaren från lysimetrarna visade att halterna var direkt jämförbara med de halter som detekterades i lakvatten från laboratorieundersökningen. Att resultaten i båda fallen blev likvärdiga tyder på två viktiga aspekter:

- Flygaskan som har lagts ut på vägen är i kontakt med vatten.

- Utspädningen i lysimetrarna är begränsad, dvs. det vatten som lysimterarna samlade upp kom i stor utsträckning direkt från askskiktet.

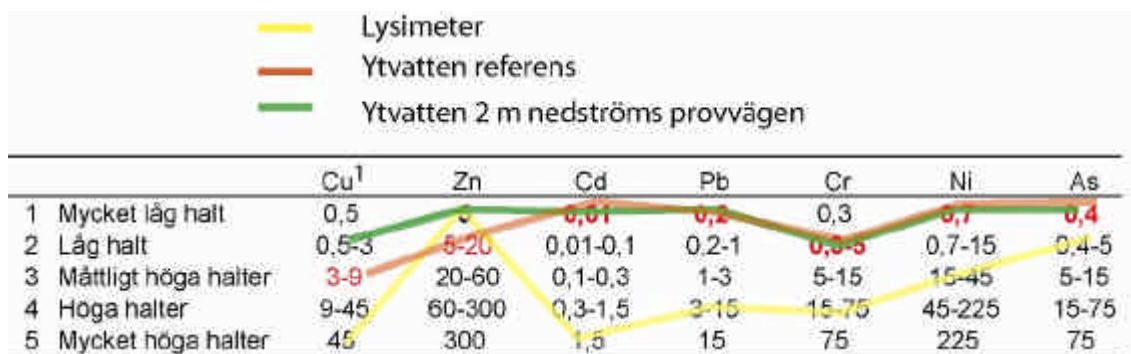
Dessa slutsatser samt den stora volymen vatten som lysimeter 1 och 2 tog emot tyder på att vatten som har perkolerat askskiktet perkolerar igenom askskiktet längs med vägen. Detta kan förklaras med följande:

- Flygaskan är invallad med material som är förhållandevis täta. Detta medför att nederbörds- och smältvatten från vägen rinner längs vägkroppen.
- Under tjällossningsperioden är undergrunden frysen och perkolation i djupled förhindras av en tät frysfront.
- Infiltrationen i marken är begränsad.

Grundvattenrören installerades för nära vägen, dvs. på fel sida om vägdiket.

Undersökningen visar att halterna av tungmetaller är i paritet med referenspunktens halter. Halterna av K, Na och sulfat är högre än referenspunktens halter.

Analysresultaten visar att vattenprovernans halter av tungmetaller är högst i lysimetrarna som ligger direkt under askskiktet, följd av grundvattenrören. Även dessa ligger intill vägen. Ytvattenprovernans halter av tungmetaller går ej att härleda till provsträckan, dvs ligger på samma nivå på referenssträckan och provsträckan. Undersökningen omfattade även analys av Ca, K, Mg, Na och S. Dessa ämnen räknas som lätt lakbara och en jämförelse med lakningsresultat i laboratorium för S (sulfat) indikerar att lysimetervattnets halter ligger i paritet med lakvatten från L/S 10. Detta tyder på att askskiktet är partiellt vattenmättat. En okulär besiktning av sträckan tyder på att på slutet på sträckan blir askan uppluckrad på grund av hög vattenmättnad, se figur 4.1. På motsvarande sätt som för tungmetaller är halterna högst i lysimetrarna, följd av grundvattenrören och ytvattendraget.

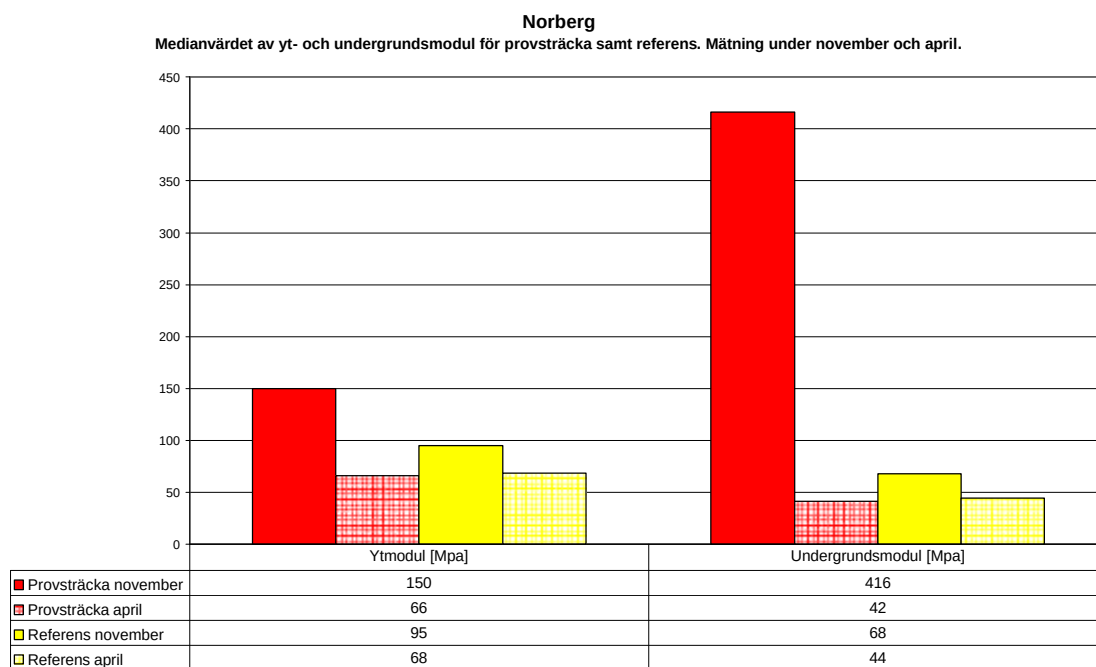


Figur 4.1 Tillstånd, metaller i vatten (µg/liter). 1 Dessa värden gäller framför allt för sjöar och mindre vattendrag (Källa : Sjöar och vattendrag NV rapport 4913 Bedömningsgrunder för miljö kvalitet.)

Ytvattenprovernans halter av tungmetaller visar att vissa metaller lakas ut mer från referenssträckan andra mer från provsträckan. Metallhalterna kan klassas som låga till mycket låga enligt "bedömningsgrunder för miljö kvalitet" NV-rapport 4913, Sjöar och vattendrag. Ytvattnets halter av Ca, Na, K och Mg klarar dricksvattenkriterier.

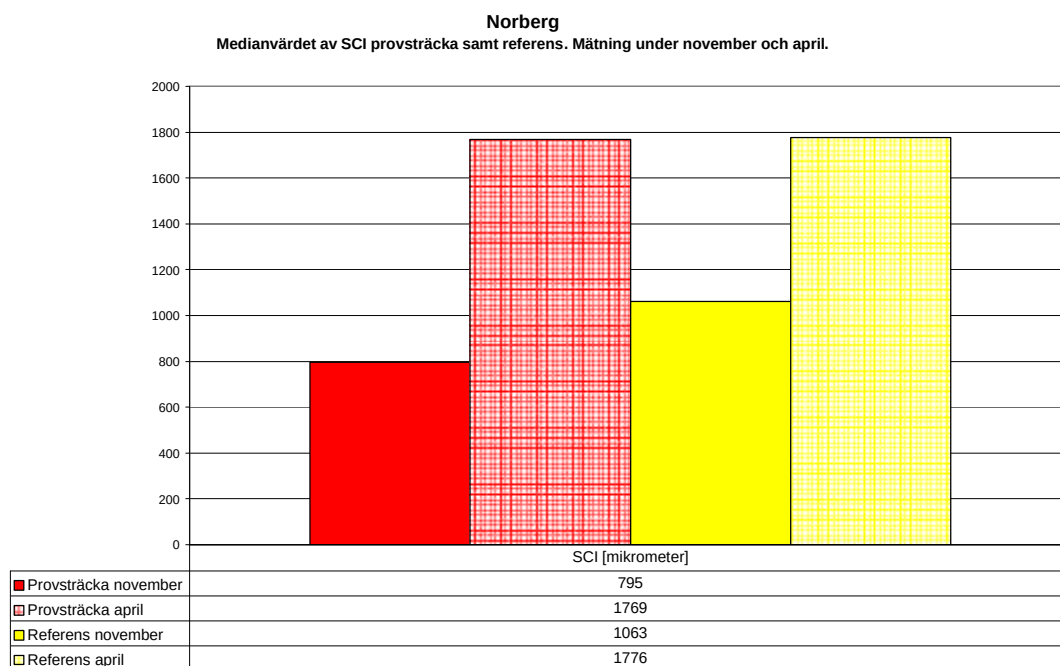
Figurena 4.2 och 4.3 redovisar resultat från fallviktsmätningen längs prov- och referenssträckorna. En jämförelse mellan referenssträckans respektive provsträckans modul under november och april visar följande:

- Vid mätningen i november 2003 var provsträckans ytmodul högre än referenssträckans ytmodul, 150 MPa jämfört med 95 MPa.
- Vid mätningen i april låg ytmodulen på prov- och referenssträckorna på samma nivå, ca 66 MPa.
- Vid mätningen i november 2003 var provsträckans ytmodul avsevärt högre än under tjällossningsperioden i april, mellan 2,3 – 2,9 gånger högre längs sträckan.



Figur 4.2 Uppmätt yt- och undergrundsmodul under höst och vår längs prov- och referens sträckorna.

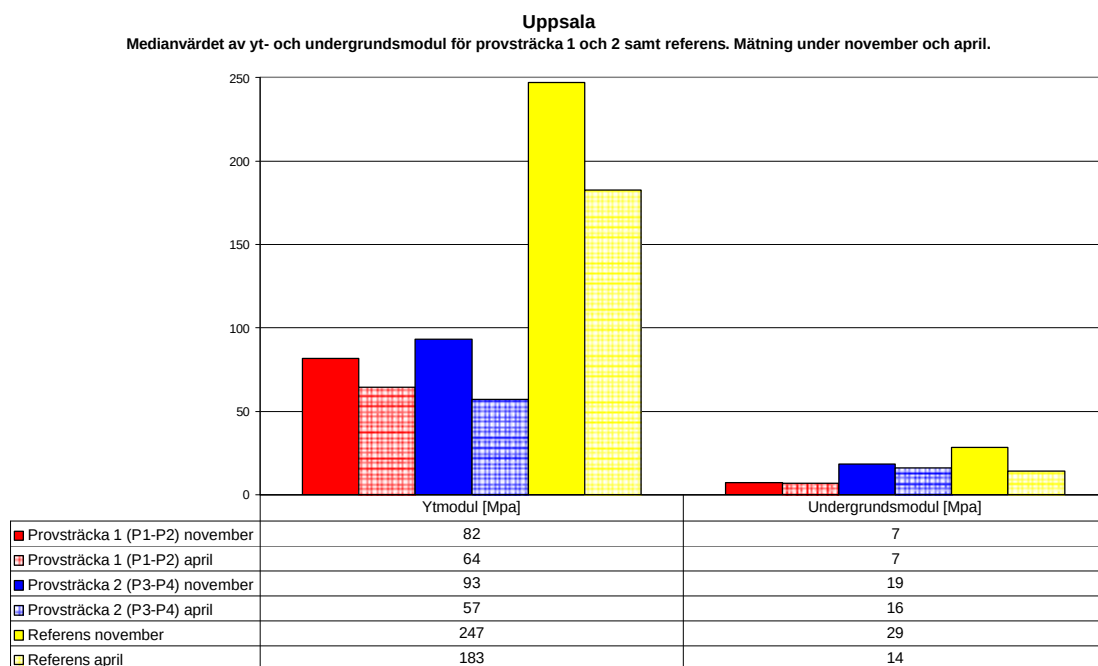
Figure 4.2 Detected surface and underground modulus during autumn and spring on the test end reference sites



Figur 4.3 Uppmätt SCI under höst och vår längs prov- och referens sträckorna.

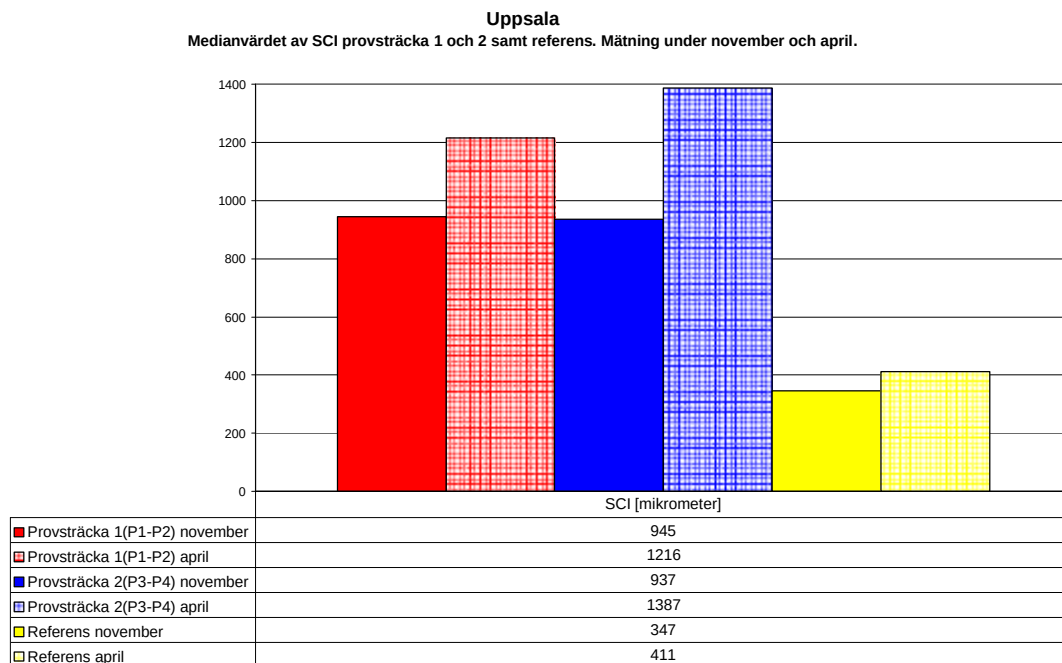
Figure 4.3 Detected SCI value during autumn and spring on the test end reference sites.

Figureerna 4.4 och 4.5 redovisar resultat från fallviktsmätningen längs prov- och referenssträckorna i Uppsala. Förstärkningslagret består av flygaska blandat med grus (FBG), där innehållet av flygaska ligger mellan 50 och 70 %. Vägen som förstärktes var ursprungligen en traktorväg med lerigt undergrund med låg bärighet. Vägens bärighet jämförs här med en äldre grusväg med ca 1 m tjock bär och förstärkningslager. Undergrundmodulen längs provsträckan ligger på samma låga nivå under vår och höstmätningen. Genom utläggning av FBG och slitlager har vägens bärighet höjts och vägen kan trafikeras året runt. Undersökningen visar dock att vägens bärighet försämras under tjällossningsperioden.



Figur 4.4 Uppmätt yt- och undergrundsmodul under höst och vår längs prov- och referens sträckorna.

Figure 4.4 Detected surface and underground modulus during autumn and spring on the test end reference sites.



Figur 4.5 Uppmätt SCI under höst och vår längs prov- och referens sträckorna.

Figure 4.5 Detected SCI value during autumn and spring on the test end reference sites

5 Slutsatser

Två produkter med flygaska undersöktes med avseende på bärighet, en produkt med enbart flygaska (Norberg) och en där flygaska bandades med 30 % grus (Börje, Uppsala). Grund-, yt- och lysimetervatten undersöktes enbart längs sträckan i Norberg. Flygaska från Stora Enso Fors bruk (Norberg) och från Vattenfall Uppsala (Börje, Uppsala) ingick i fältförsöken.

Flygaskornas halter av As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni och Zn är något förhöjda jämfört med omgivande mark, men analys på yt- och grundvatten visar att transport av tungmetaller från konstruktionen (med flygaska) är begränsad. Transporten av tungmetaller från naturmaterial ligger i samma storleksordning som från en konstruktion med flygaska. Lätt lakbara ämnen som Na, K, sulfater etc. styrs av mängden vatten. Mängden vatten som kommer i kontakt med flygaskan begränsas i vanliga fall av nederbörden, flygaskaskiktets täthet (< 25 mm/år) och konstruktionens utformning (dränerande funktion). I konstruktioner där flygaska utsätts för lakning genom vattenomsättningen sker det utlakning av bl.a. Na, K och sulfater. Konstruktioner med flygaska som kommer under yt- eller grundvatten bör undvikas för att minimera utlakningen. Vattenmättat tillstånd försämrar även flygaskans bärighet.

Undersökningen visar att vägens bärighet försämras efter tjällossningen. Detta gäller speciellt under den första tjällossningen. Flygaskor härddar långsamt och kan åter börja härda efter avslutad tjällossning. I Norberg och i Börje, Uppsala användes flygaska utan tillsats av bindemedel. Laboratoriestudier [8] visar att bindemedeltillsats kan höja materialets frostbeständighet.

Båda produkterna, enbart flygaska och flygaska blandat med 30 % grus kan med fördel användas på vägar med dålig bärighet. Under hösten 2004 har ett stort antal timmerlastar (ca 90 stycken) transporterats igenom vägsträckan i Norberg, 90 tomma lastbilstransporter in och 90 fullastade transporter ut. Provvägssträckan höll och uppvisade inga tecken på dålig bärighet, trots den ”vattenmättade” delsträckan. Sträckan i Börje, Uppsala används nu tredje till fjärde året utan bärighetsproblem, trots mycket låg undergrundsmodul. Vid provtagningen 2003 gick det inte att penetrera genom FSG-materialet med skruvborr från borrhandsvagn tack vare härdning.

6 Diskussion

Användning av flygaska i vägkonstruktioner ger ökad bärighet. I denna rapport studerades två olika produkter:

- en med enbart flygaska
- och en med flygaska blandat med 30 % grus (FBG).

Två olika vägtyper ingick i studien:

- skogsbilväg, med siltig morän till torv i terrassen (Norberg).
- grusväg, med lera i terrassen (Börje, Uppsala).

Undersökningen i Norberg visar att bärigheten ökar och trots vattenmättat tillstånd i delar av konstruktionen håller vägen för timmertransport. Flygaskan är ett tätt material efter härdning, men i vattenmättat tillstånd kommer härdningen inte igång. I icke härdat tillstånd är flygaskan ett icke bundet material som består av partiklar i silt- och sandfraktion med förhållandevis hög permeabilitet. Detta i kombination med vattenomsättning bidrar till utlakning från flygaskan. Transport av tungmetaller begränsas dock genom utfällning, mineralisering, adsorption etc. i markzonen under vägkonstruktionen. Na, K och sulfater kan dock transporteras ut ur vägområdet med ytvattnet. För att minska utlakning och transport av dessa ämnen bör konstruktion med flygaska inte hamna under yt- eller grundvatten.

Undersökningen i Börje Uppsala visar att FBG går att nyttja för att höja bärigheten och möjliggöra året runt trafik på en före detta traktorväg där terrassen består av lera. Vägen har tydliga vägdiken som minimerar risken för att FBG hamnar under ytvatten. Det bör noteras att undergrundsmodulen i Börje, Uppsala och delar på sträckan i Norberg hade ett lågt medianvärde, runt 10 MPa.



Figur 6.1 Vägen i Norberg, november 2004 efter timmertransporten.

Figure 6.1 The stabilised road section in November 2004 after timber transports.

Packning under utförandet är en viktig faktor för att säkerställa vägens bärighet. Erfarenheter från Rv90 indikerar att härdning och trafiklast kan med tiden kompensera sämre packningsgrad. Av figur 6.1 framgår att Norbergsvägen klarade timmertransporten utan spårbildning. Däremot är det viktigt att slitlagret underhålls efter större trafikbelastning.

7 Rekommendationer och användning

Undersökningen visar att det är av stort intresse att förutom bedömning av flygaskans tekniska egenskaper, innehåll av ämnen och lakbarhet även beakta applikationen och omgivningen. Applikations och omgivningsfaktorer har inverkan på både miljö och bärighet hos en vägkonstruktion. Yt- och grundvatten kontakt med flygaskaprodukter bör begränsas eftersom utlakningen av främst Na, K och sulfater ökar, konstruktionens täthet, bärighet, och frostbeständighet försämrar. Konstruktioner med flygaska bör placeras > 0,5 m över yt- eller grundvattennivån.

Enbart flygaska i en konstruktion medför att stora volymer flygaska krävs per löpmeter väg. Flygaskan bör vara färsk, dvs. inte ha lagrats efter tillsatts av vatten. Lagring av flygaska medför extra kostnader, risk för damning och dålig kontroll av vattenkvoten som är nödvändig för att flygaskan ska härda. Härdningskapaciteten hos lagrad flygaska kan förbättras med tillsats av bindemedel, cement, merit etc.

I fallet Börje tillverkades FBG-materialet av entreprenören på en stationär anläggning, där mängdförhållanden och mängd vatten kunde kontrolleras. FBG lades ut i ca 0,2 m skiktjocklek direkt på en traktorväg med tydliga vägdiken. FBG-materialet packades med vält och försågs med slitlager. Flygaskan från Vattenfall Uppsala härddar långsamt. För att säkerställa FBG-materialets långtidshållfasthet användes FBG med 30 % grusmaterial, dvs förhållandevis stor andel flygaska användes i blandningen. Mängden tillsatt flygaska kan minskas om snabbare härdande flygaska används, eller om bindemedel tillsätts.

Vid hantering av produkter baserade på flygaska bör följande arbetsmiljöaspekter beaktas:

- damning,
- högt pH
- känslighet för vatten, t ex nederbörd eller översvämning.

Involverade i utförandet bör informeras och operatörer inskolas. 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.

Packning är mycket viktig för att erhålla bästa egenskaper hos hela konstruktionen, såväl som hos lager med flygaskaprodukten. 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 %. Under torra och varma väderleksförhållanden behöver vägen normalt bevattnas (efter installation av slitlager) för att nå optimal härdning.

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

8 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Under perioden 2001 – 2004 byggdes det ett större antal väl dokumenterade vägar med olika flygaskaprodukter. Dokumentation omfattar i de flesta fall både miljö och bärighetsutveckling. För att underlätta att flera grusvägar upprustas med skikt av flygaskaprodukt, bör befintliga vägar följas upp och dokumenteras under en längre tid med avseende på bärighet, miljö och underhållsbehov. Nedan följer en lista av möjlig utredningsbehov:

- Korrelationen mellan bärighet och hållfasthetsutveckling i laboratorium.
- Bärigheten efter tjällossningen, efter första året och efter flera år.
- Korrelationen mellan frostbeständighet hos produkten och bärigheten i konstruktionen.
- Fallviktsmätningen bör korreleras med lasten en väg tål.
- Transporten av tungmetaller, Na, K och sulfater under en längre tid.
- Dokumentation av underhållsbehov hos dessa grusvägar, jämfört med andra ej åtgärdade.
- Idag saknas det provobjekt där FBG med bindemedel (exempelvis cement) undersöks. Bindemedeltillsats kan minska mängden flygaska per löpmeter väg, öka frostbeständigheten och minska utlakningspotentialen.
- Terrasstabilisering med flygaska och bindemedel vid exempelvis bräddning av vägar.

9 Litteraturreferenser

- [1] Mácsik J., Svedberg B., Lenströmer S. och Nilsson T. *Flygaska i geotekniska applikationer – Etapp 1: inventering/tillämplighet*, Värmeforsk, Stockholm, 2004.
- [2] Lahtinen P., “Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for low-Volume roads”, Finnish Road Administration, Finnra Reports 70/2001, 2001.
- [3] Mácsik et al., ”Askblandningar i anläggningsprocesser - Användning av askblandningar vid provväg och täckning av tipp”, EU strukturfond mål 1 projekt, <http://www.z.lst.se/eu/index.htm>, projektbank, 2003.
- [4] Pousette K., Mácsik J. 2003. *Flygaska som vägbyggnadsmaterial*, Bygg och teknik, 2003, nr:1, pp 31 – 34.
- [5] Larsson R., ”Hållfasthet i friktionsjordar”, SGI, 1989.
- [6] Ribbing C., “Kulrullning”, Institutionen för Mineralberedning, 1975.
- [7] Svedberg B., 2003, ”Miljögeotekniskt bedömningssystem: applikation på väg- och järnvägsbyggnadsmaterial”, Licentiatuppsats, ISSN 1402-1757 / ISRN LTU-LIC--03/46--SE / NR 2003:46.
- [8] Lahtinen P., Jyrävä H., Maijala A. och Mácsik J., 2004, *Flygaskor som bindemedel för stabilisering av grusmaterial*, Värmeforskrapport 918 Värmeforsk Service AB, Stockholm.
- [9] Wiklund K., och Ekdahl P., 2004, *Askvägar i Norberg och Uppsala – Olika mått på konstruktionsstyrka baserat på fallviktsmätning*. Ramböll.
- [10] Lenströmer S., 2003, PM-Anmälan – Flygaska som förstärkningslager, provsträcka Stensjövägen. Scandiaconsult 810768

Bilagor

A Jordartsbedömning

A.1 Jordartsbedömning Norberg

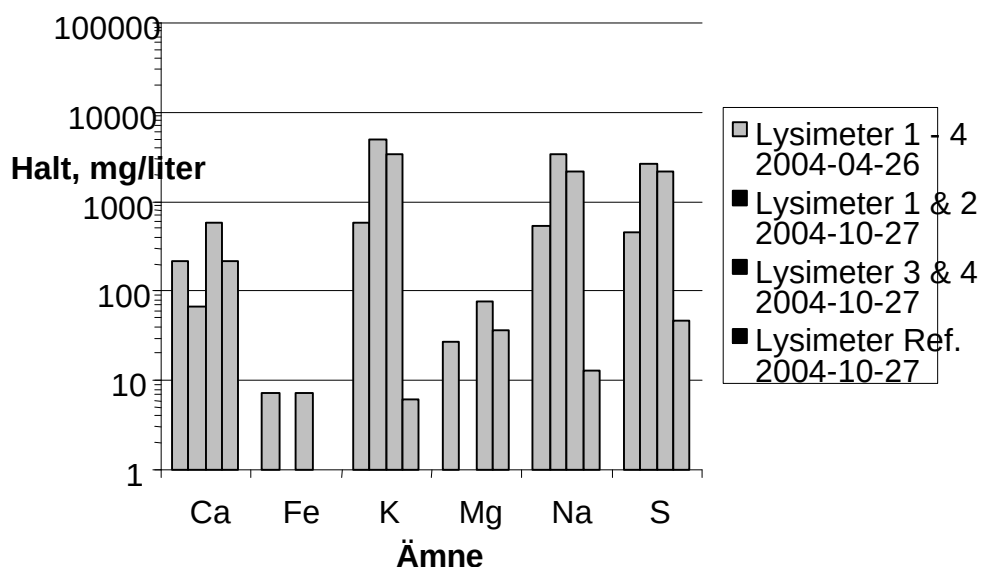
4	0,0-0,1 0,1-0,6 0,6-1,0	grusig Sand grusig Sand med växtdelar högförmultnad Torv	Skruvprovtagning
5	0,0-0,1 0,1-0,5 0,5-1,0	grusig Sand grusig sandig Silt Torv med trärester	Skruvprovtagning
6	0,0-0,1 0,1-	grusig Sand grusig sandig Morän Stopp i block eller berg	Skruvprovtagning
7	0,0-0,1 0,1-0,4	Grusig Sand med svart inslag Finsandig Morän Stopp i block eller berg	Skruvprovtagning
8	0,0-0,2 0,2-0,7 0,7-1,0	grusig fin Sand sandig grusig siltig Morän Torv med trärester	Skruvprovtagning
9	0,0-0,1 0,1-0,5 0,5-0,8 0,8-1,0	sandig Torv med trärester något grusig sandig Silt grusig sandig siltig Morän grusig sandig siltig Morän	Skruvprovtagning

A.2 Jordartsbedömning Börje, Uppsala

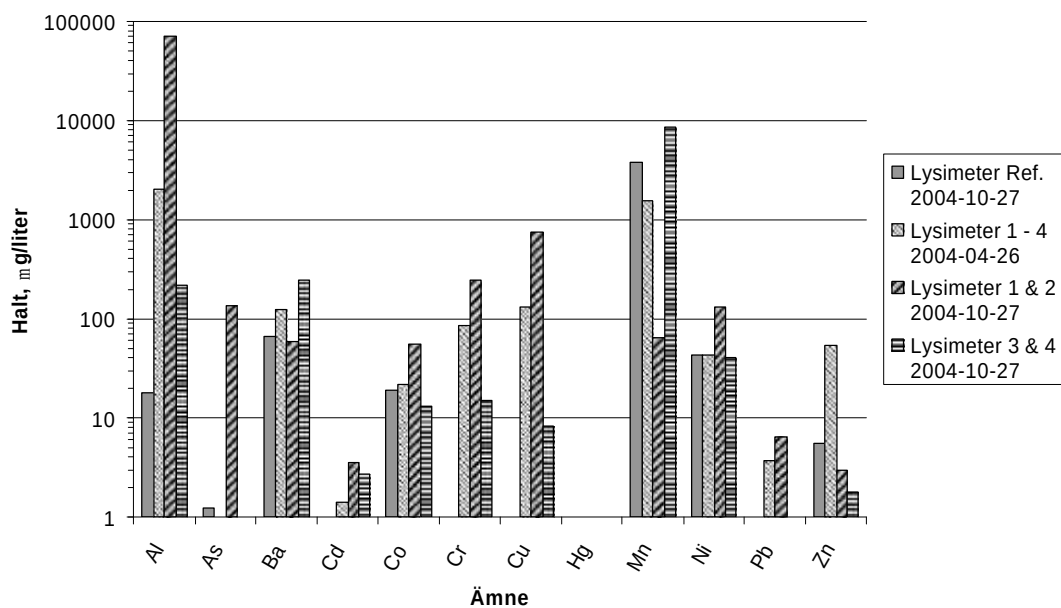
1	0,0-0,1 0,1-0,2 0,2-1,0	grusig flygaska Härdad flygaska?? siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
2	0,0-0,3 0,3-0,5 0,5-1,0	Mull siltig Lera med sandskikt siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
3	0,0-0,4 0,4-0,5 0,5-1,0	något lerig Mull siltig Lera med sandskikt siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
4	0,0-0,1 0,1-0,5 0,5-1,0	Aska sandig Silt siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
5	0,0-0,1 0,1-0,2 0,2-0,5 0,5-1,0	Aska lerig Mull lerig Mull siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
6	0,0-0,1 0,1-0,2 0,2-0,4 0,4-1,0	Aska grusig lerig Mull grusig lerig Mull siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
7	0,0-0,3 0,3-0,5 0,5-1,0	Lerig Mull siltig Lera med sandskikt siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
8	0,0-0,3 0,3-0,5 0,5-1,0	Lerig Mull siltig Lera med sandskikt siltig Lera med sandskikt	Skruvprovtagning
9	0,0-0,1 0,1-0,5 0,5-1,0	grusig Finsand grusig Finsand grusig sandig Silt	
10	0,0-0,1 0,1-0,5 0,5-1,0	grusig Sand grusig stenig Finsand Silt	Skruvprovtagning

B Analyser

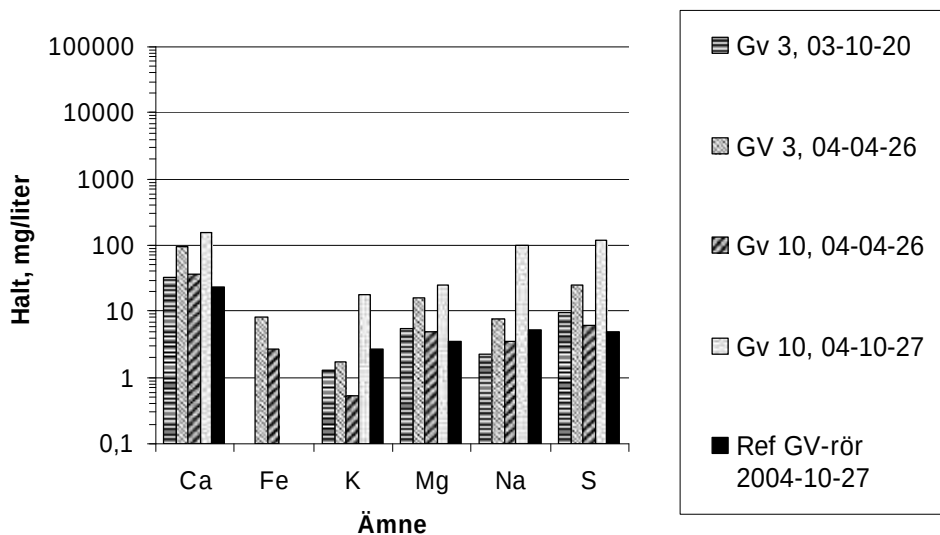
B.1 Detekterade halter av Ca, Fe, K, Mg, Na och S i vattenproverna från lysimetrarna, inklusive från referenssträckan.



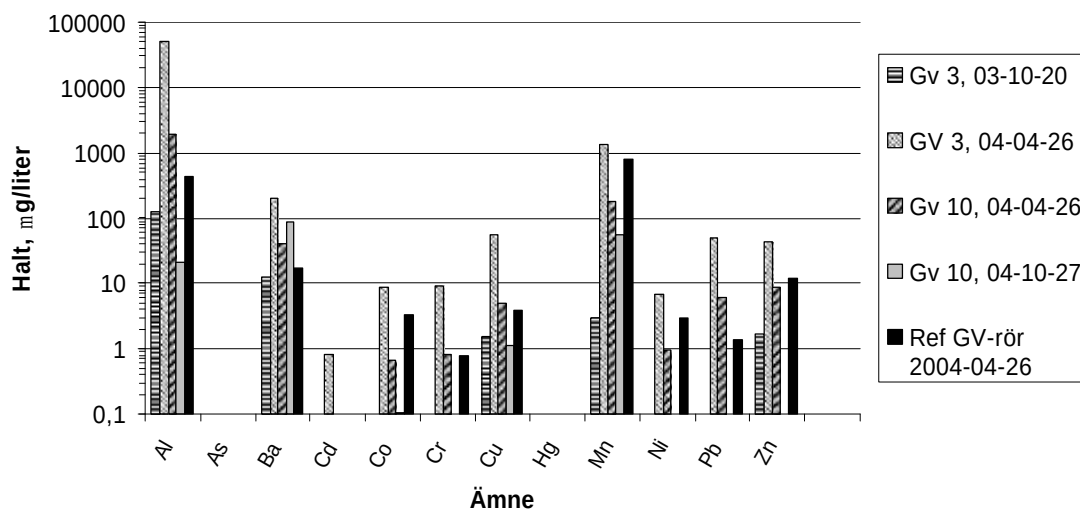
B.2 Detekterade halter av metaller i vattenproverna från lysimetrarna, inklusive från referenssträckan.



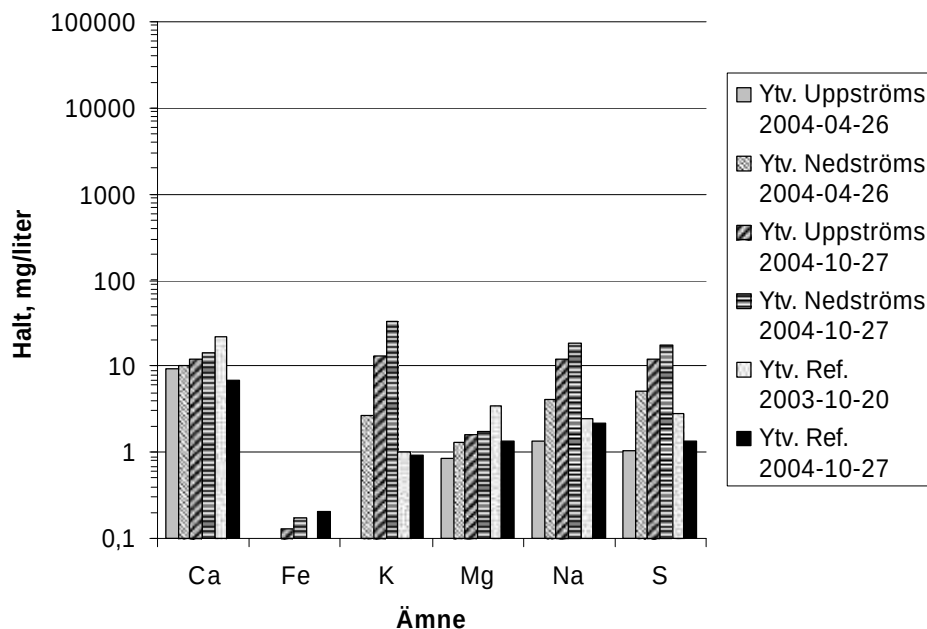
B.3 Detekterade halter av Ca, Fe, K, Mg, Na och S i grundvatten direct under vägkonstruktionen. Gv 3 och 10 är installerade längs provsträckan med flygaska och referensröret under referenssträckan.



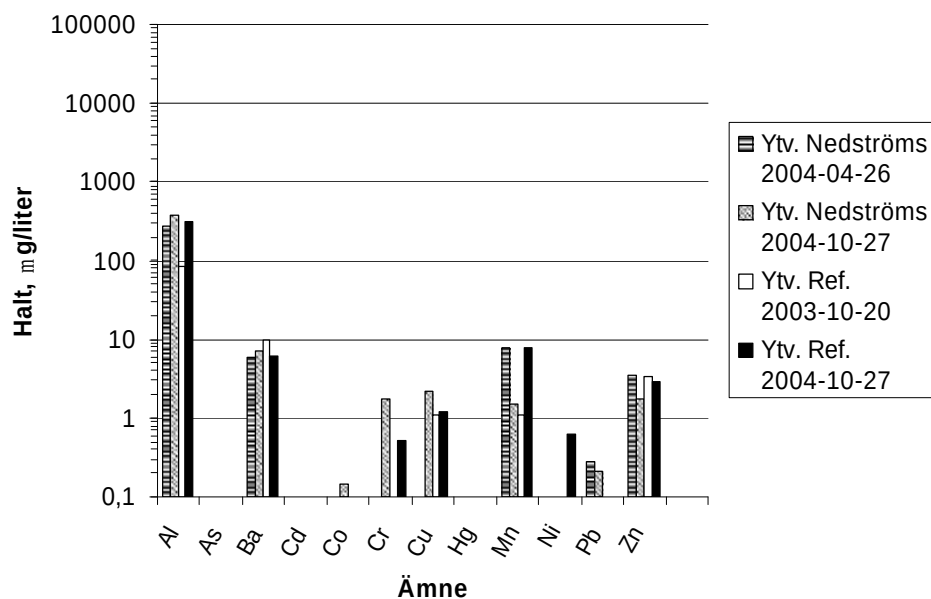
B.4 Detekterade metallhalter i grundvatten direct under vägkonstruktionen. Gv 3 och 10 är installerade längs provsträckan med flygaska och referensröret under referenssträckan



B.5 Detekterade halter av Ca, Fe, K, Mg, Na och S i ytvatten direkt under vägkonstruktionen längs prov- och referenssträckan. Gv 3 och 10 är installerade längs provsträckan med flygaska och referensröret under referenssträckan.



B.6 Detekterade metallhalt i ytvatten direkt under vägkonstruktionen längs prov- och referenssträckan. Gv 3 och 10 är installerade längs provsträckan med flygaska och referensröret under referenssträckan



C Flygaskornas innehåll av metaller

Stora Enso Fors AB nyttjar en CFB-panna, där bränslet är bark, flis, bränslepellets och en mindre mängd slam med innehåll av bl.a träfiber, lera och krita. Slammängden påverkar hårdningsegenskaperna hos askan och tillsätts efter ett visst recept för att få en flygaska som brinner ihop på ca 24 timmar. Totalhalter av oorganiska ämnen i flygaska från Stora Enso Fors AB (Analys utförd av Analytica AB).

Ämne	Enhet	Halt	Ämne	Enhet	Halt
TS	%	71,5	Cr	mg/kg TS	135
SiO ₂	% TS	25,5	Cu	mg/kg TS	153
Al ₂ O ₃	% TS	23,0	Hg	mg/kg TS	0,108
CaO	% TS	22,9	La	mg/kg TS	17,0
Fe ₂ O ₃	% TS	2,32	Mo	mg/kg TS	<5
K ₂ O	% TS	4,01	Nb	mg/kg TS	<5
MgO	% TS	2,24	Ni	mg/kg TS	29,6
MnO ₂	% TS	1,02	Pb	mg/kg TS	92,2
Na ₂ O	% TS	2,09	S	mg/kg TS	14700
P ₂ O ₅	% TS	2,11	Sc	mg/kg TS	2,17
TiO ₂	% TS	0,238	Se	mg/kg TS	0,775
Summa TS	% TS	85,4	Sn	mg/kg TS	< 20
LOI	% TS	10,2	Sr	mg/kg TS	639
As	mg/kg TS	10,1	V	mg/kg TS	30,5
Ba	mg/kg TS	1550	W	mg/kg TS	<50
Be	mg/kg TS	0,803	Y	mg/kg TS	10,9
Cd	mg/kg TS	5,87	Zn	mg/kg TS	1510
Co	mg/kg TS	9,03	Zr	mg/kg TS	311

Lakningsresultat, flygaska från Stor Enso Fors bruk (Lakning SGI/analys Analytica AB).

		L/S 0,1	L/S 2	L/S 10
As	µg/liter			
Ba	µg/liter			1,8
Cd	µg/liter	3,7	5,3	
Cr	µg/liter	1140	1568	87
Cu	µg/liter	15,0		
Hg	µg/liter			
Mo	µg/liter	995	1442	49
Ni	µg/liter			
Pb	µg/liter	36,6	10,7	1,0
S	µg/liter	1100	30400	3250
Sb	µg/liter	4,7	5,3	1,0
Se	µg/liter	30,5	47,9	1,4
V	µg/liter	157	225	13,1
Zn	µg/liter			
DOC(NPOC)	mg/liter	38	8,3	1,7
Cl	mg/liter	1600	1500	98
F	mg/liter	5,5	6,3	1,1
SO ₄	mg/liter	3200	4300	130

Vattenfall Värme Uppsala, pulver där bränslet är torv och trä. Uppsala Energi AB använder normalt torv/spån (70 % / 30 %) som bränsle i Kraftvärmeverkets ångpanna (KVV) och en fastbränsleeldad hetvattenpanna (HVC) per år. Totalhalter av oorganiska ämnen i flygaska från Vattenfall Värme Uppsala, ref.: MKB [1].

Analys	Halt	Flygaska 2000-02-17	Flygaska 2000-03-21	Flygaska 2000-03-25
SiO ₂	%	27,0	21,2	25,1
Al ₂ O ₃	%	3,99	4,81	4,08
CaO	%	32,3	33,7	32,3
Fe ₂ O ₃	%	7,46	10,7	8,38
SO ₄	%	9,09	4,47	9,18
K ₂ O	%	0,684	0,948	0,682
MgO	%	9,66	13,5	8,98
MnO ₂	%	0,232	0,343	0,235
Na ₂ O	%	0,454	0,263	0,160
P ₂ O ₅	%	0,852	1,1	0,904
TiO ₂	%	0,092	0,133	0,0973
Summa	%	91,8	91,2	90,1
LOI	%	10,3	10,0	9,8
As	mg/kg TS	19,9	18,8	6,83
Ba	mg/kg TS	573	778	691
Be	mg/kg TS	2,55	2,73	1,85
Cd	mg/kg TS	1,36	1,67	<0,121
Co	mg/kg TS	9,67	19,4	12,9
Cr	mg/kg TS	39,2	46,8	47,2
Cu	mg/kg TS	37,0	32,8	35,2
Hg	mg/kg TS	0,490	0,331	0,474
La	mg/kg TS	36,9	39,7	53,7
Mo	mg/kg TS	14,7	13,6	14,8
Nb	mg/kg TS	<0,609	<5,69	7,45
Ni	mg/kg TS	29,1	24,4	23,7
Pb	mg/kg TS	32,6	22,7	28,5
Sc	mg/kg TS	5,29	5,06	6,73
Sn	mg/kg TS	<24,4	<22,8	<22,2
Sr	mg/kg TS	290	323	301
V	mg/kg TS	52,5	44,7	49,6
W	mg/kg TS	<60,9	<56,9	<55,4
Y	mg/kg TS	42,4	55,5	47,8
Zn	mg/kg TS	140	293	121
Zr	mg/kg TS	46,5	59,8	50,3

D Fallviktsmätning - Askvägar i Norberg och Uppsala

**-Olika mått på konstruktionsstyrka baserat på fallviktsmätning.
Fallviktsmätta november 2003 och april 2004.**

Datum	2004-05-06
Uppdragsnummer	810768-01
Utgåva/Status	
Handläggare	Karoline Wiklund
Uppdragsledare	Peter Ekdahl
Granskare	Peter Ekdahl

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

www.ramboll.se

Innehållsförteckning

E.1	Uppdrag
E.2	Organisation
E.2.1	Ramböll med underkonsulter
E.3	Beskrivning av objekten
E.3.1	Norberg
E.3.2	Uppsala
E.4.	Genomförande
E.4.1	Fallviktsmätning
E.4.2	Analys
E.5.	Resultat från mätning november 2003
E.5.1	Norberg
E.5.1.1	Bärighetsmått på provsträckan
E.5.1.2	Bärighetsmått på referenssträckan
E.5.2	Uppsala
E.5.2.1	Bärighetsmått på provsträckorna
E.5.2.2	Bärighetsmått på referenssträckan
E.6.	Resultat från mätning april 2004
E.6.1	Norberg
E.6.1.1	Bärighetsmått på provsträckan
E.6.1.2	Bärighetsmått på referenssträckan
E.6.2	Uppsala
E.6.2.1	Bärighetsmått på provsträckorna
E.6.2.2	Bärighetsmått på referenssträckan
E.7.	Resultat Jämförelse mellan prov- och referenssträcka
E.7.1	Norberg
E.7.2	Uppsala

D.1 Uppdrag

Två vägar, i Uppsala respektive Norberg, har belagts med flygaska. Ramböll RST har utfört fallviktsmätning på dessa vägar vid två tillfällen, november 2003 och april 2004, samt analyserat fallviktsdata från dessa två tillfällen. Val av tidpunkter har valts med avseende att få information om vad flygaskan tillför vägen före tjäle och under tjällossning, dvs. vid bra respektive sämre förhållanden. Denna rapport behandlar båda dessa mättillfällen.

D.2 Organisation

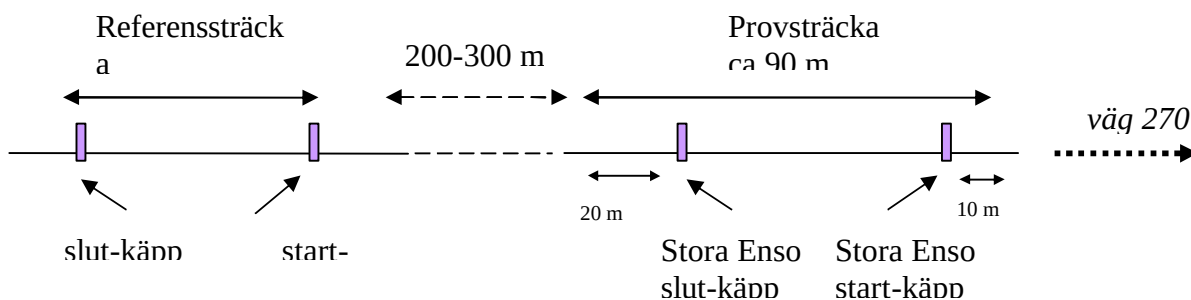
För Rambölls räkning har olika personer involverats i projektets olika skeden. Ansvariga för respektive område listas nedan:

D.2.1 Ramböll med underkonsulter

Uppdragsledare	Peter Ekdahl, Ramböll RST
Fallviktsmätning	VTI
Analys	Karoline Wiklund, Ramböll RST

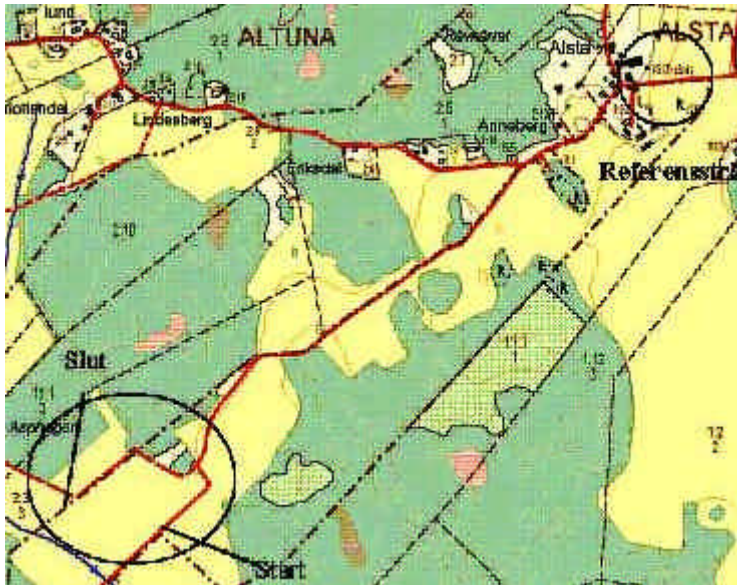
D.3 Beskrivning av objekten

D.3.1 Norberg

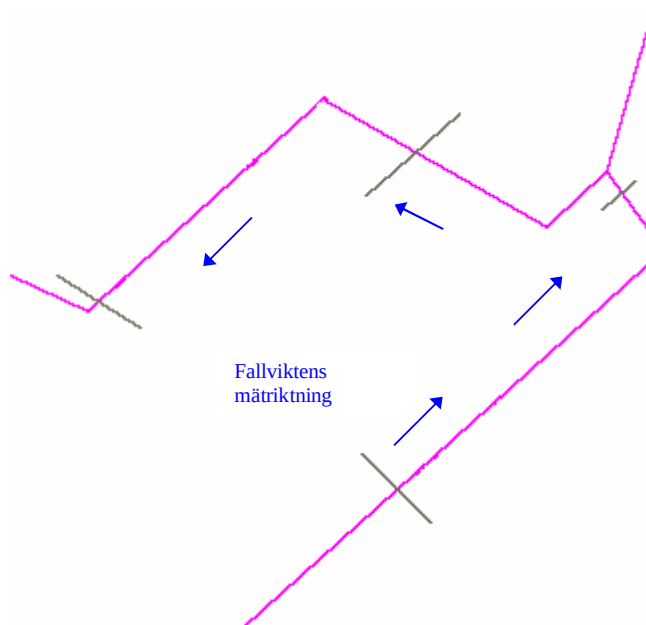


Skiss över prov- och referenssträckan i Norberg.

D.3.2 Uppsala



Översiktlig bild av provsträckorna och referenssträckan i Uppsala.



Ovan ses en skiss över de två delprovsträckorna i Uppsala. Sträckan mellan P1 och P2 representerar provsträcka 1, och sträckan mellan P3 och P4 representerar provsträcka 2. Fallvikten har mätt i riktning från P4 till P1, men resultaten är redovisade i riktning från P1 till P4.

D.4 Genomförande

D.4.1 Fallviktsmätning

Vid fallviktsmätningen har använts en fallviktsdeflektometer av typen KUAB. Mätning utfördes enligt uppgjorda planer på båda sidor av vägen saxat. Mätningen gjordes med tre belastningar på ca 700 kPa i varje punkt. Använda geofonavstånd var 0, 200, 300, 450, 600, 900 och 1200 mm. Datum för fallviktsmätningarna var 2003-11-05 samt 2004-04-20.

Mätningen har utförts enligt Vägverkets metodbeskrivning 112:1998. Mätning har utförts av VTI och analysen har utförts av Ramböll RST.

D.4.2 Avsnitt [bilagerubrik 2]

Utifrån fallsviktsdata har enkla bärighetsmått beräknats enligt Vägverkets metodbeskrivning 114:2000 "Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat". Mått som beräknats är

- ✓ Ytmodul - beskriver hela konstruktionens styvhet
- ✓ Uppskattad undergrundsmodul.
- ✓ SCI – Surface Curvature Index - ett relativt jämförelsemått på styvheten för den övre delen av konstruktionen, främst de översta 300 mm. Ju lägre värde SCI har, desto styvare konstruktion.

Vid jämförelse mellan provsträckor och referenssträckor har medianvärden för samtliga mätpunkter beräknats och redovisats, d.v.s. medianen av både höger och vänster sidas mätvärden.

Medianvärdet har använts vid jämförelse eftersom man där tar bort effekten från enstaka extremvärdens inverkan.

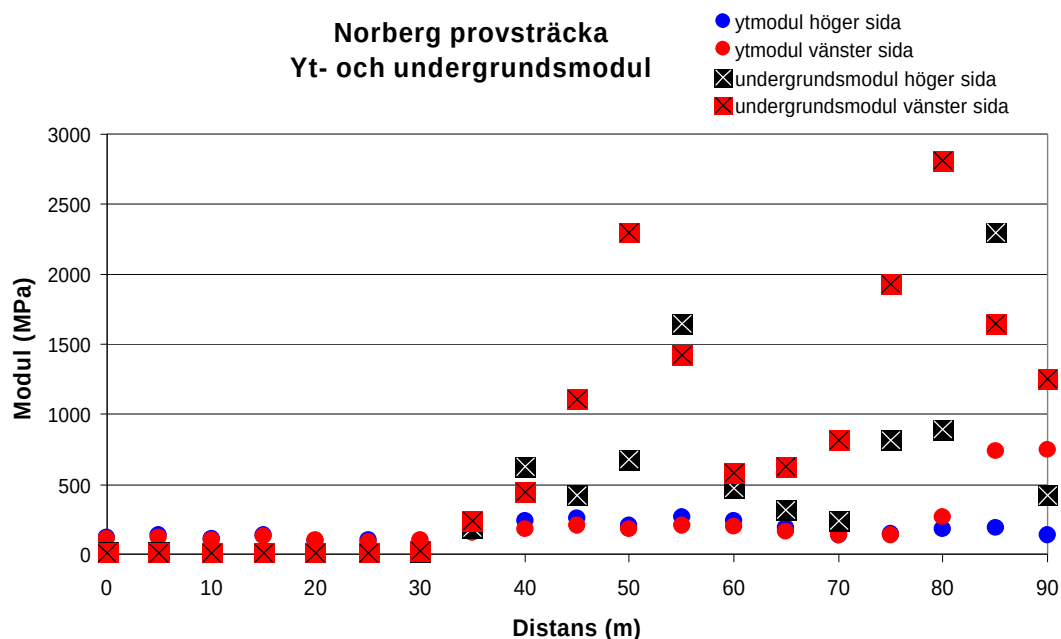
D.5 Resultat från mätning november 2003

D.5.1 Norberg

D.5.1.1 Bärighetsmått

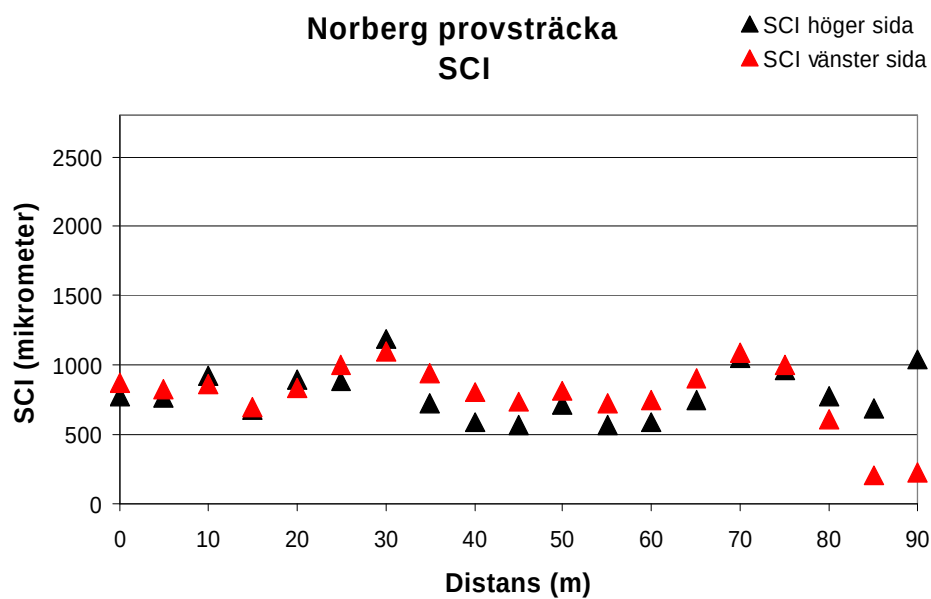
Ytmodulen ligger på en relativt konstant nivå kring 100 MPa de första 30 m av provsträckan (Figur 5.1), för att sedan i princip dubblas undantaget de sista två mätpunkterna för vänster sida som avviker med ett noterbart högt värde.

Undergrundsmodulen ligger stadigt på ca 10 MPa de första 30 m (Figur 5.1). Därefter ökar den markant för både höger och vänster sida. Stora lokala variationer finns mellan mätpunkterna efter de första 30 m.



Figur E5.1 Yt- och undergrundsmodul för provsträckan i Norberg mätt i november 2003, höger och vänster sida.

Variationen av SCI ser ungefär likadan ut för höger som för vänster sida av provsträckan, och ligger kring 500-1000 μm . Den vänstra sidan ser ut att vara generellt något svagare för en stor del av sträckan. (Figur 5.2).

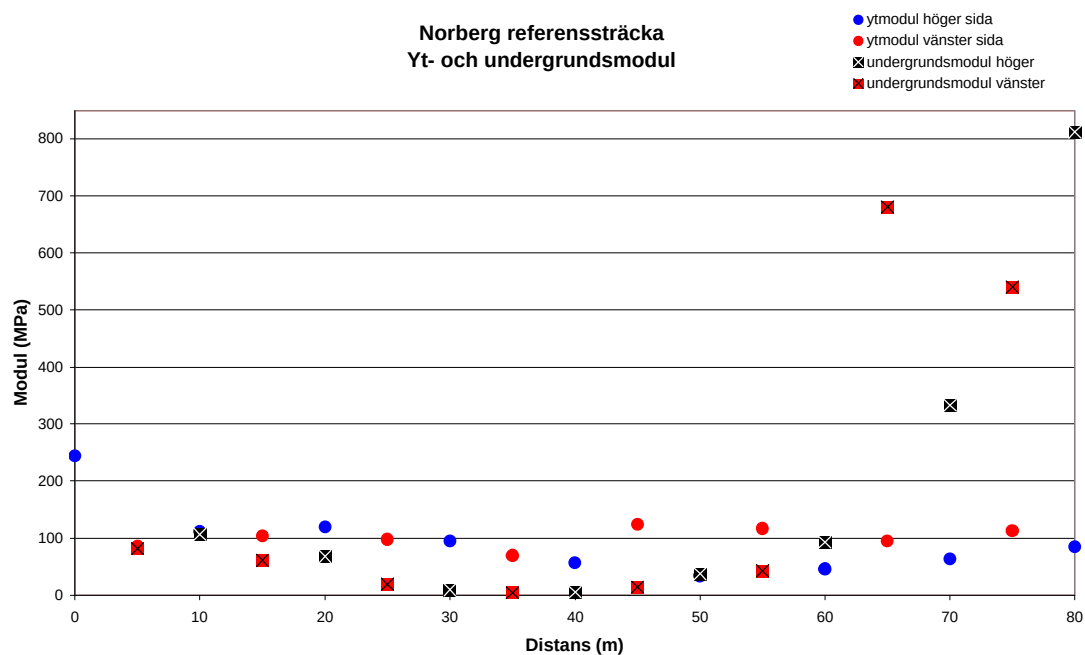


Figur 5.2 SCI för provsträckan i Norberg mätt i november 2003, höger och vänster sida.

D.5.1.2 Bärighetsmått på referenssträckan

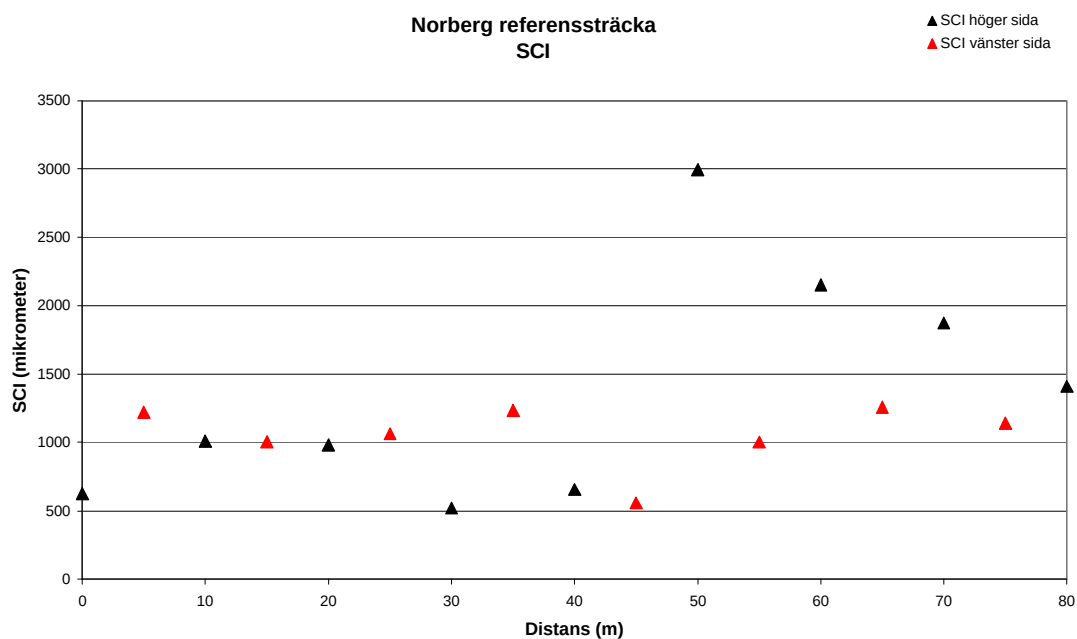
Ytmodulen ligger på en jämn nivå kring 100 MPa längd hela referenssträckan för båda sidorna (Figur 5.3).

Undergrundsmodulen för båda sidor följs åt längs hela vägen, men varierar lite i nivå, från 100 MPa i början av sträckan, till runt 10 MPa på mellan 25 och 45 m (Figur 5.3). De sista 20 metrarna har en mycket högre undergrundsmodul.



Figur E5.3 Yt- och undergrundsmoduler för referenssträckan i Norberg mätt i november 2003, höger och vänster sida.

SCI för höger och vänster sida följer varandra längs referenssträckan och ligger kring 1000 μm , förutom vid ca 50 m där den högra sidans styrka plötsligt minskar, för att sedan öka igen till samma nivå som tidigare vid slutet av sträckan (Figur 5.4).



Figur E5.4 SCI för referenssträckan i Norberg mätt i november 2003, höger och vänster sida.

D.5.2 Uppsala

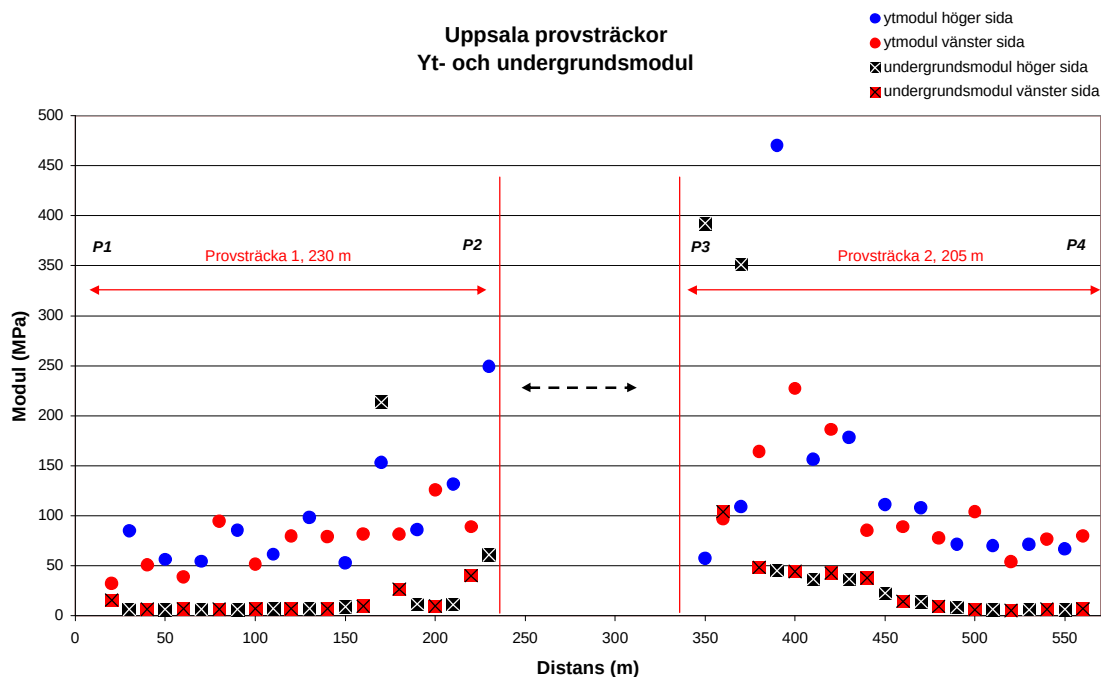
D.5.2.1 Bärighetsmått på provsträckorna

Ytmodulen varierar något för båda sträckorna och båda sidorna (Figur 5.5). Den pendlar mellan 50 och 100 MPa längs båda sträckorna. Den är generellt något högre på sista delen av första sträckan och första delen av andra sträckan.

Undergrundsmodulen ligger på en jämn nivå längs hela provsträcka 1 och 2 kring 10 MPa, undantaget slutet av sträcka 1 och i början av sträcka 2 där den ökar något för både sidorna (Figur 5.5).

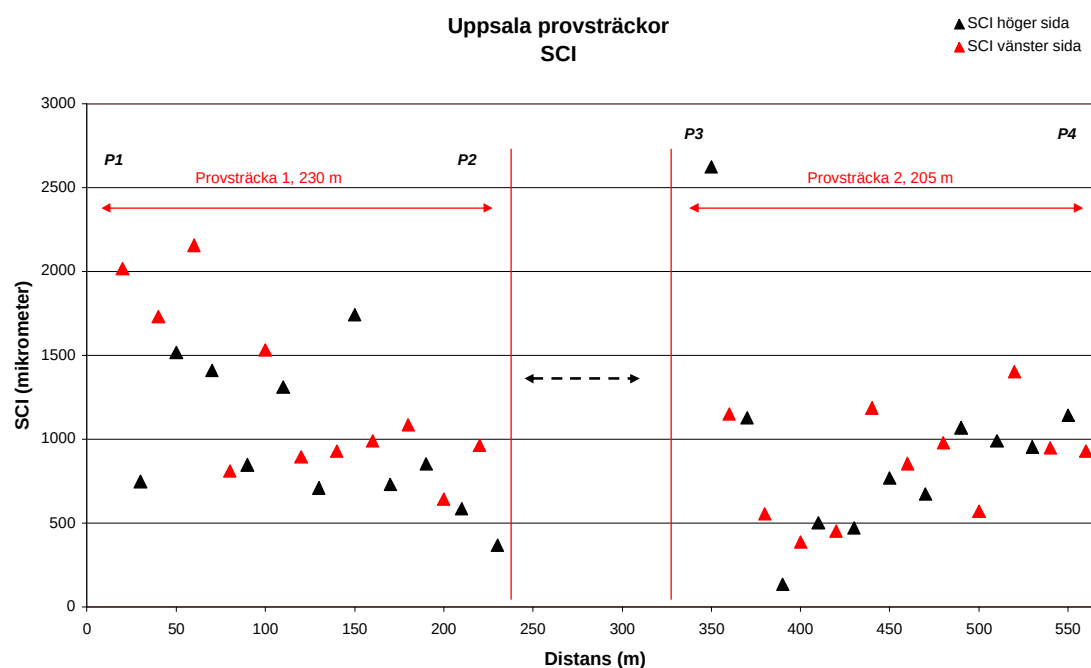
Ytmodulen varierar något för båda sträckorna och båda sidorna (Figur 5.5). Den pendlar mellan 50 och 100 MPa längs båda sträckorna. Den är generellt något högre på sista delen av första sträckan och första delen av andra sträckan.

Undergrundsmodulen ligger på en jämn nivå längs hela provsträcka 1 och 2 kring 10 MPa, undantaget slutet av sträcka 1 och i början av sträcka 2 där den ökar något för både sidorna (Figur 5.5).



Figur 5.5 Yt- och undergrundsmodul för provsträckorna i Uppsala mätt i november 2003, höger och vänster sida.

Styrkan i den övre konstruktionsdelen (SCI) ökar generellt längs sträckans riktning på sträcka 1 och avtar igen längs sträcka 2 (Figur 5.6). SCI-värdet pendlar mellan 100 och 2000 μm .

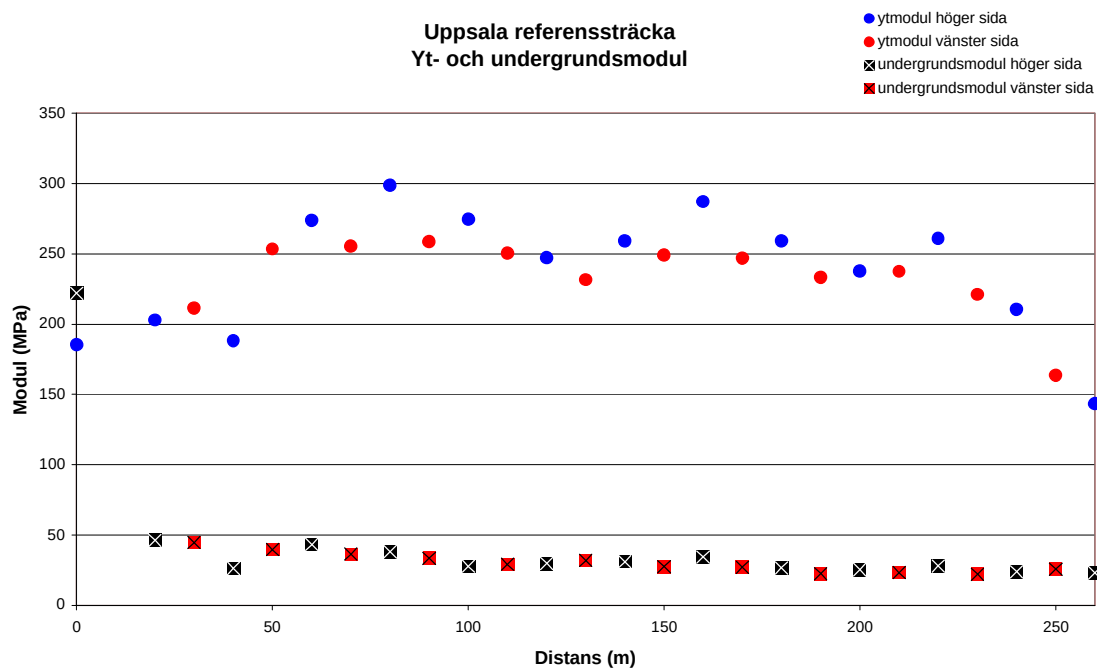


Figur E5.6 SCI för provsträckorna i Uppsala mätt i november 2003, höger och vänster sida.

D.5.2.2 Bärighetsmått på referenssträckan

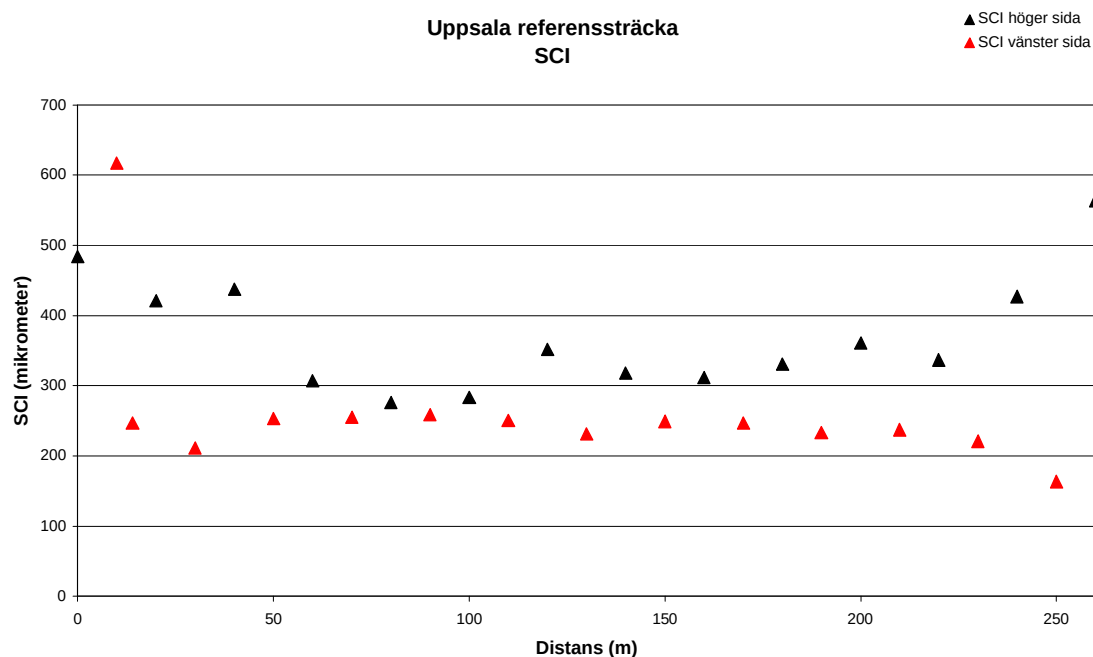
Ytmodulen varierar något men höger och vänster sida följer varandra åt längs sträckan (Figur 5.7). Generellt ligger ytmodulen runt 250 MPa, men är lägre i början och i slutet av sträckan.

Undergrundsmodulen ligger på en relativt jämn nivå längs hela referenssträckan kring 30 MPa (Figur 5.7). Dock kan man se en något högre modul i början av sträckan.



Figur E5.7 Yt- och undergrundsmoduler för referenssträckan i Uppsala mätt i november, höger och vänster sida.

Styrkan i den övre konstruktionsdelen (SCI) skiljer sig åt för höger och vänster sida. Höger sida är svagare i början och slutet av sträckan (Figur 5.8). På vänster sida är trenden generellt motsatt, d v s en något bättre styrka i början och slutet av sträckan. I mitten av sträckan ligger de på rätt liknande nivå kring 300 μm .



Figur E5.8 SCI för referenssträckan i Uppsala mätt i november, höger och vänster sida.

D.6 Resultat från mätning april 2004

D.6.1 Norberg

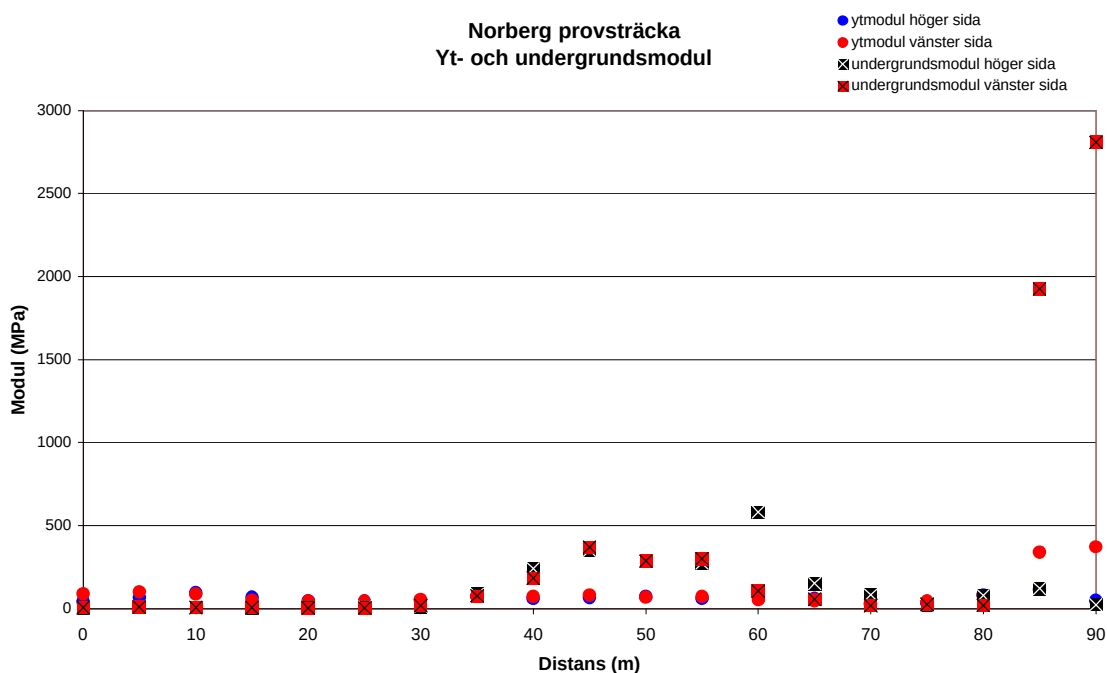
D.6.1.1 Bärighetsmått på provsträckan

Ytmodulen ligger relativt konstant omkring 100 MPa längs hela sträckan (Figur 6.1), undantaget de sista två mätpunkterna för vänster sida som avviker med ett noterbart högt värde.

Undergrundsmodulen ligger stadigt på ca 10 MPa de första 30 m (Figur 6.1). Därefter ökar den markant för både höger och vänster sida t.o.m. 60 m, för att sedan gå tillbaka till samma nivå som i början. De sista mätpunkterna ökar undergrundsmodulerna för vänster sida väldigt mycket (eventuellt beroende på högt liggande block eller berg).

Vid jämförelse november (Figur 5.1) och april ligger ytmodulen lägre och på en mer på en konstant nivå i april, medan den i november har en tydligare ökning efter ca 40 m. De två sista punkterna finns representerade som högre värden både i november och april.

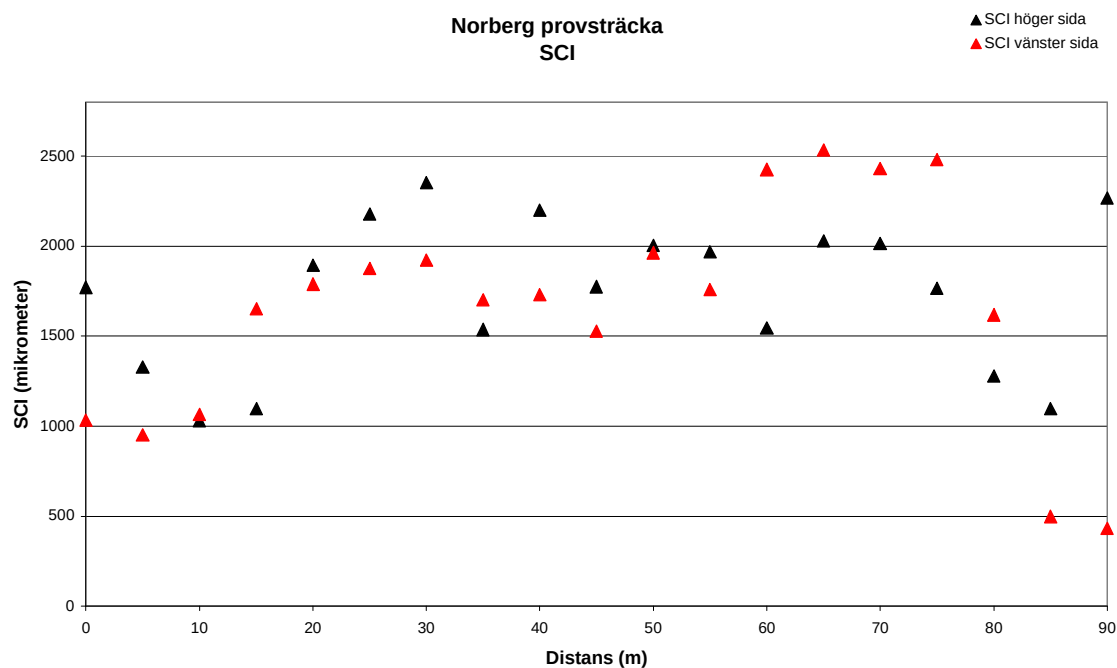
Undergrundsmodulen ligger på samma nivå för november (Figur 5.1) och april fram till ca 30 m. Därefter varierar novembermätningen betydligt mer än för april, och på betydligt högre nivåer. De två sista punkterna finns representerade för båda mättillfällena, men för dessa är det april som har högre värden än november.



Figur 6.1 Yt- och undergrundsmodul för provsträckan i Norberg mätt i april 2004, höger och vänster sida.

Variationen i SCI ser ungefär likadan ut för höger som för vänster sida av provsträckan (Figur 6.2), och pendlar mellan 1000 och 2500 μm . Från ca 20 m t.o.m. 70 m visar SCI-värdet att denna del är något svagare än resten av sträckan.

En tendens man kan märka är att man har en liknande variation längs sträckan för de två mättillfällena (figur 5.2 och 6.2). Toppen runt 30 m för båda sidor kan ses tydligt även för novembermätningen, och samma sak med toppen kring 60-70 m. Den sista punkten följer också samma mönster för båda mättillfällena. Nivån skiljer dock avsevärt mellan november- och aprilmätningarna. Styrkan i överdelen av konstruktionen var avsevärt bättre i november än i april.



Figur 6.2 SCI för provsträckan i Norberg mätt i april 2004, höger och vänster sida.

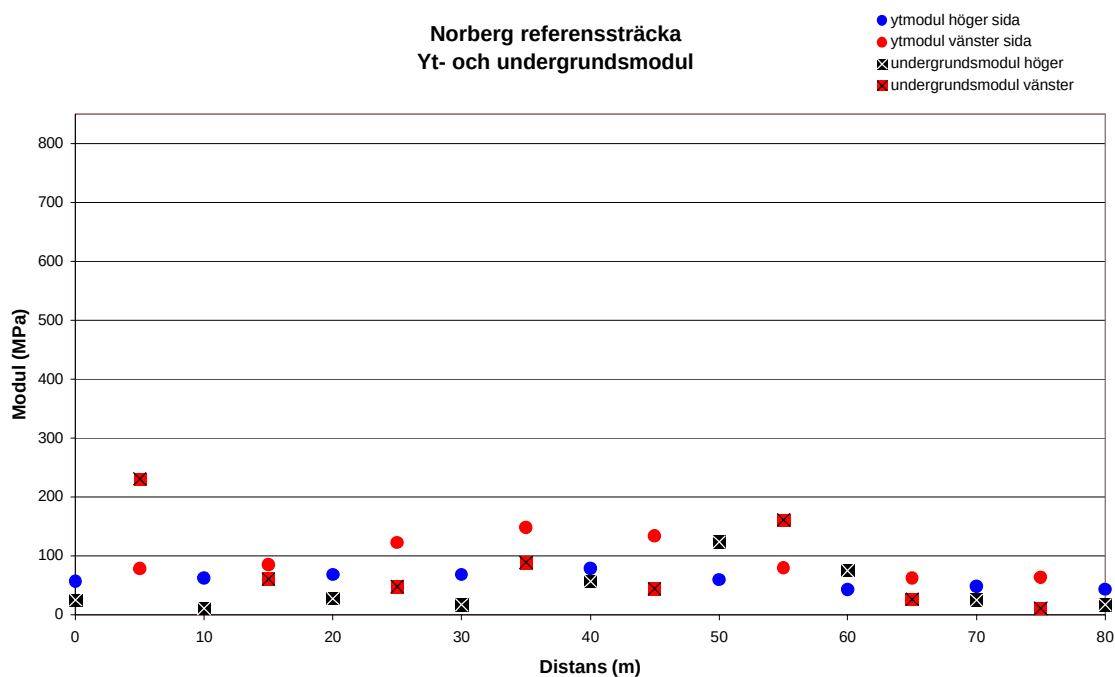
D.6.1.2 Bärighetsmått på referenssträckan

Ytmodulen för båda sidor ligger på en relativt jämn nivå mellan 50-70 MPa. Värden på vänster och höger sida följer varandra längs sträckan (Figur 6.3). På den vänstra sidan har man en ökning mellan 25- 45 m.

Undergrundsmodulen varierar något mellan höger och vänster sida (Figur 6.3). Höger sida ligger på 20-30 MPa fram till 30 m, sedan ökar den och lägger sig runt 100 MPa t.o.m. 60 m, för att sedan åter sjunka tillbaka. Vänster sida ligger mellan 50 och 70 MPa t.o.m. 50 m, för att sedan sjunka till ca 30 MPa. Två toppar kan noteras, en vid 5 m och en vid 55 m.

Vid jämförelse mellan mätning i november och april kan förhöjda värden för ytmodulen på vänster sida vid 45-55 m ses vid båda mättillfällena, och de ligger även på liknande nivå.

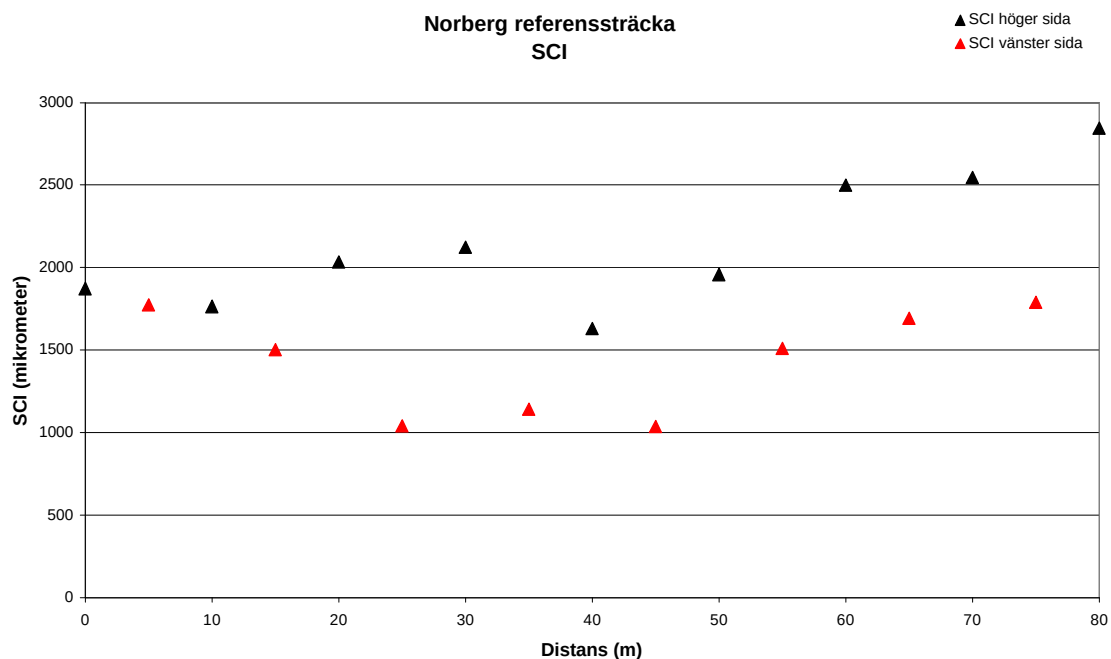
Novembermätningar visar på höga värden för undergrundsmodulen i slutet av sträckan (Figur 5.3), vilket inte kan ses i aprilmätningen vilket kan bero på tjälrelaterade orsaker i terrassen.



Figur 6.3 Yt- och undergrundsmoduler för referenssträckan i Norberg mätt i april 2004, höger och vänster sida.

SCI för höger och vänster sida varierar något i storlek (figur 6.4) men båda sidor ligger kring ett SCI-värde på 2500 μm i början av sträckan. Höger sida är något svagare än den vänstra sidan för nästan hela sträckan.

Ingen särskild koppling kan ses mellan novembermätningen (figur 5.4) och aprilmätningen. Nivån är dock ca 50 % högre för aprilmätningen, dvs. styrkan i den övre konstruktionen är avsevärt svagare i april.



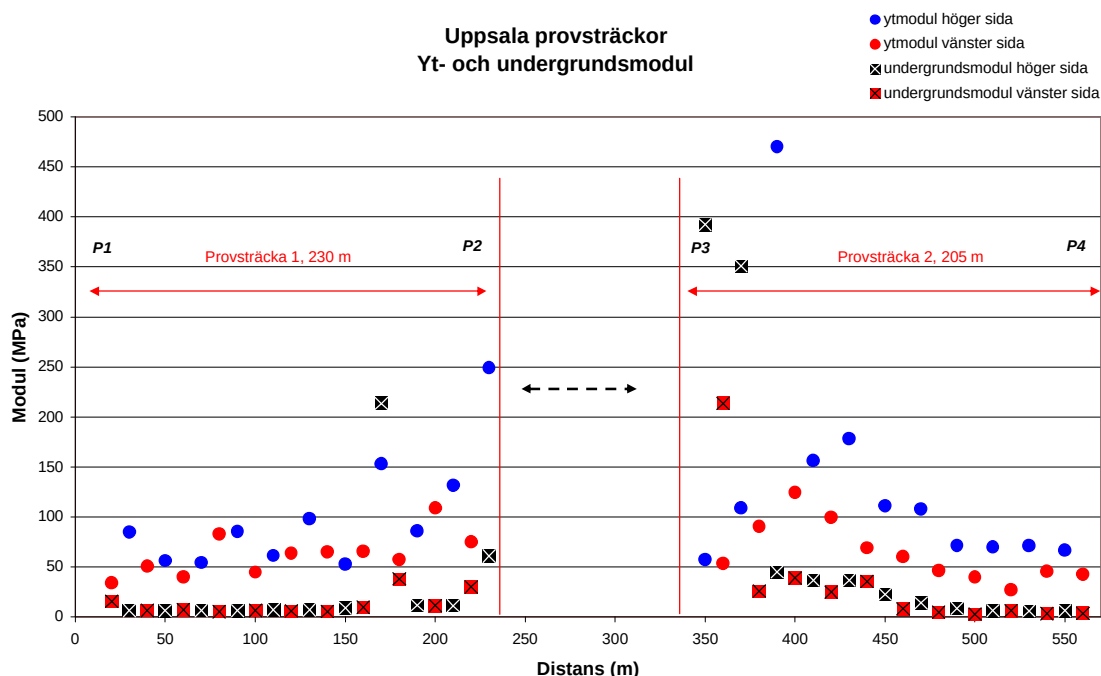
Figur 6.4 SCI för referenssträckan i Norberg mätt i april 2004, höger och vänster.

D.6.2 Uppsala

D.6.2.1 Bärighetsmått på provsträckorna

Ytmodulen varierar något för båda sträckorna och sidorna, men ligger i snitt runt 50-70 MPa (figur 6.5). Ytmodulen är generellt något högre på sista delen av första sträckan och första delen av andra sträckan. Samma slags variation av data kan man se för novembermätningarna (figur 5.5). Konstruktionen verkar generellt ha något högre ytmodul i november jämfört med april d v s starkare.

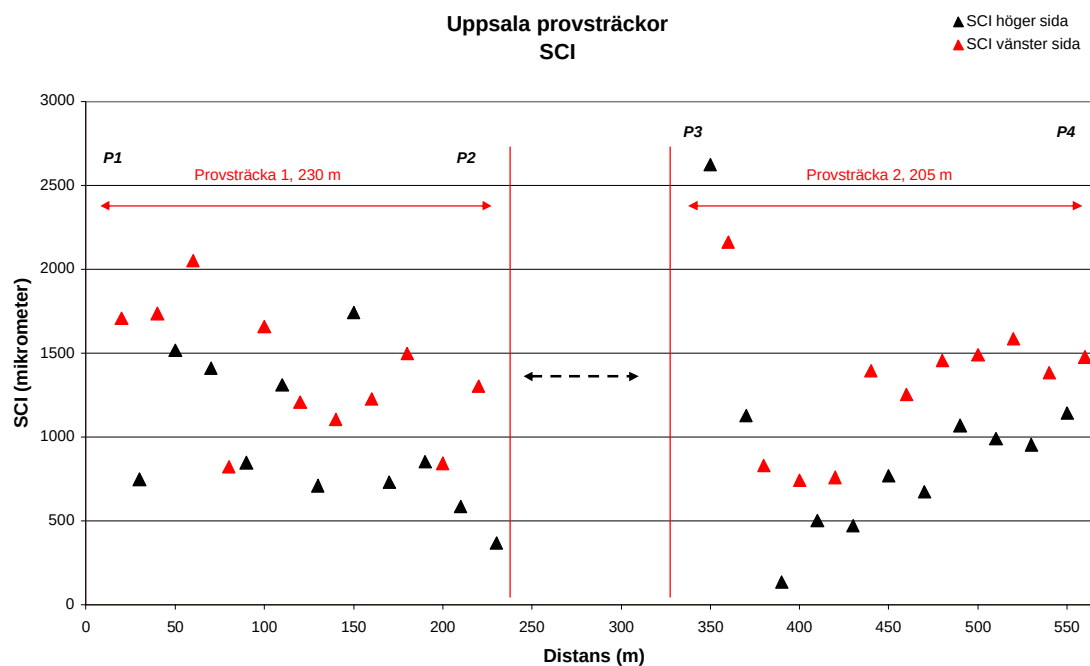
Undergrundsmodulen ligger på en jämn nivå (ca 10 MPa) längs hela provsträcka 1 och 2. Undantaget är slutet av sträcka 1 och i början av sträcka 2 där undergrundsmodulen ökar något för både sidorna (figur 6.5). Särskilt några punkter är lätta att identifiera för båda mätillfällena t.ex. undergrundsmodulerna som avviker uppåt på 170 och 350-370 m, och slutet för sträcka 1. Nivån är dock något lägre vid mätningarna i april.



Figur E6.5 Yt- och undergrundsmodul för provsträckorna i Uppsala mätt i april 2004, höger och vänster sida.

Styrkan i den övre konstruktionsdelen (SCI) ökar generellt längs sträckans riktning på sträcka 1 och avtar igen längs sträcka 2 (figur 6.6). För provsträcka 1 ligger värdena mellan 1000 och 2000 μm och för sträcka 2 ligger de ungefärligt mellan 500 och 1500 μm .

Resultatet från april uppvisar samma beteende som från november. Mätresultatet från april visar på cirka 50 % högre SCI-värden, överbyggnaden har alltså tappat en stor del av sin styrka jämfört med november.



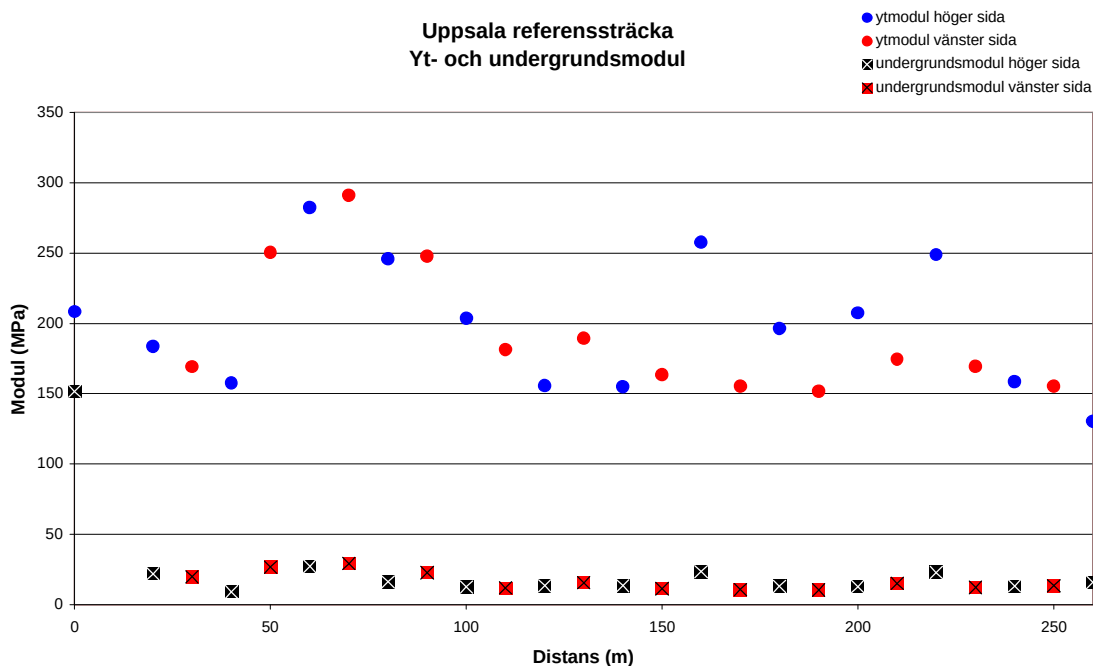
Figur E6.6 SCI för provsträckorna i Uppsala mätt i april 2004, höger och vänster sida.

D.6.2.2 Bärighetsmått på referenssträckan

Ytmodulen varierar mellan 150 MPa och 250 MPa längs sträckan på båda sidor.

Ytmodulen för april följer samma mönster som ytmodulen för november. Toppen kring 70 m finns representerad i båda resultaten. Samma sak gäller för slutpunkterna som ligger mycket lägre än de tidigare punkterna. Nivån är generellt cirka 40 % lägre i april än i november.

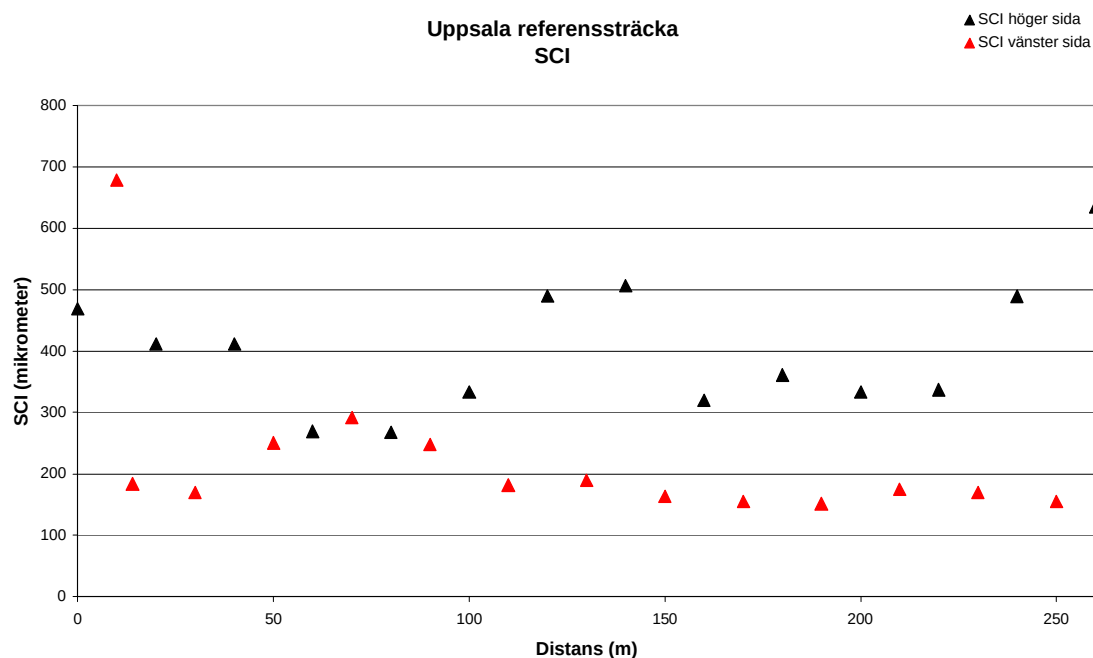
Undergrundsmodulen ligger på en relativt jämn nivå runt 20 MPa längs hela referenssträckan, med något högre värden runt från 50 m till 70 m. Undergrundmodulen följer ett liknande mönster för november som i april. Nivån för undergrundsmodulen har minskat med ca 20 % från november till april.



Figur E6.7 Yt- och undergrundsmodul för referenssträckan i Uppsala mätt i april 2004, höger och vänster sida.

Styrkan i den övre konstruktionsdelen (SCI) för höger och vänster sida följs åt t.o.m. 100 m, sedan skiljer de sig åt. Runt 50-100 m har sträckan en bättre styrka i den övre delen av konstruktionen. Detta ses även för höger sida runt 160-220 m.

Den högra sidan uppvisar i april generellt samma tendens som i november.
För vänster sida kan inget mönster hittas som förenar april och novembers mätningar.



Figur 6.8 SCI för referenssträckan i Uppsala mätt i april 2004, höger och vänster sida.

D.7 Resultat Jämförelse mellan prov- och referenssträcka

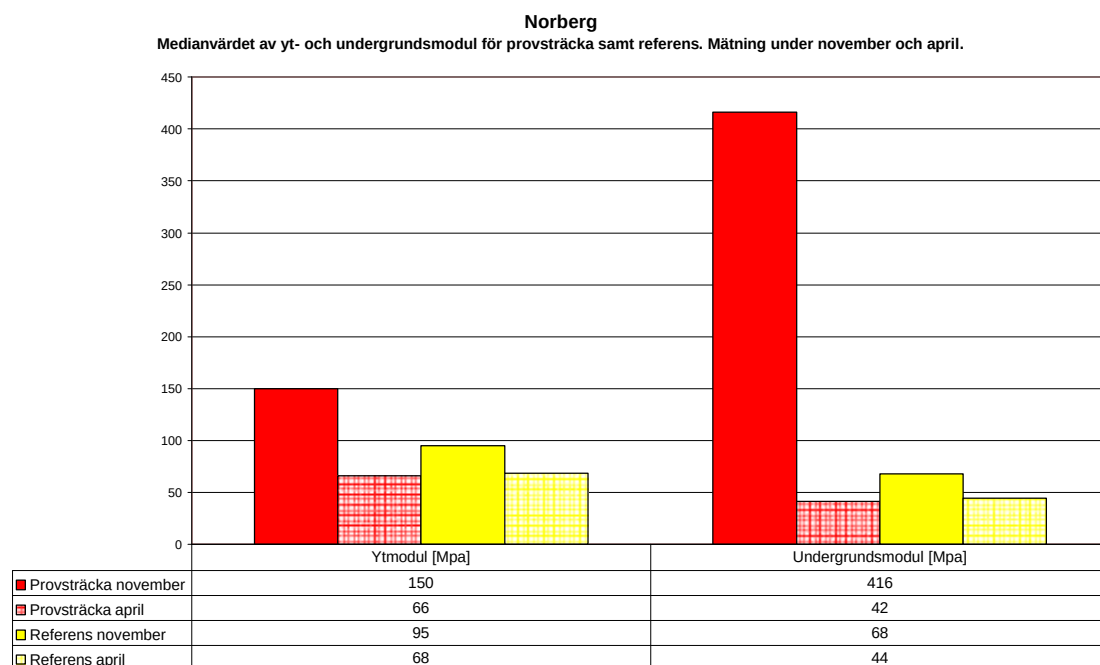
D.7.1 Norberg

Ytmodulen för provsträckan har minskat med mer än 50 % från november till april (Figur 7.1). Även referensen har minskat, men bara med ca 30 %.

En jämförelse mellan prov- och referenssträckan i november visar att provsträckan var ca 40 % starkare än referensen. I april hade sträckorna med liknande värden på ytmodulen.

Undergrundsmodulen har minskat med ca 90 % för provsträckan från november till april. För referensen är motsvarande minskning ca 35 %.

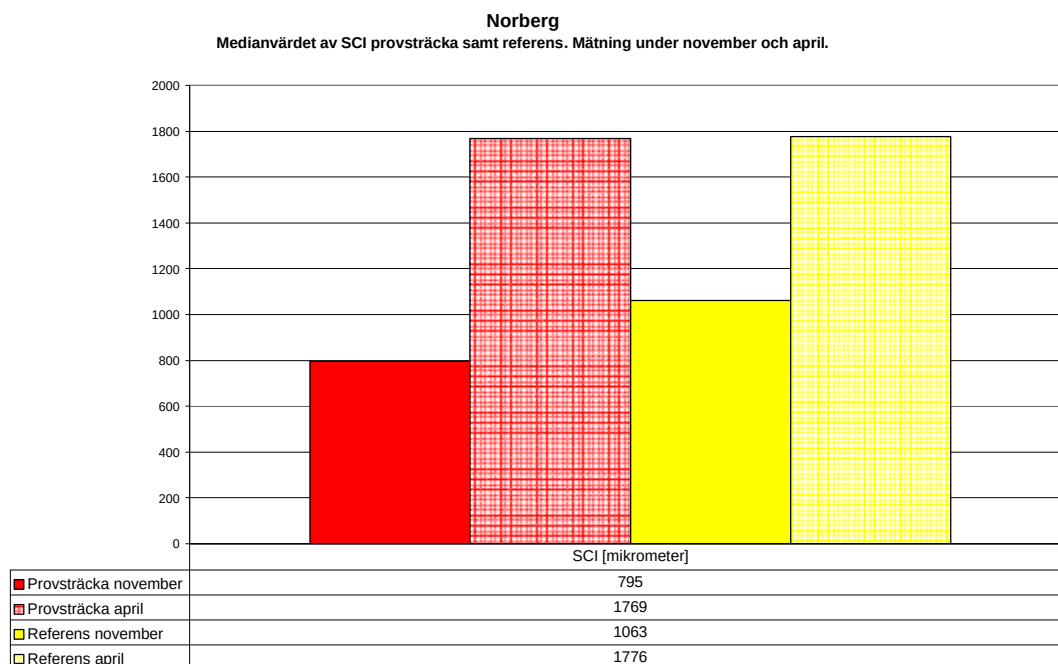
En jämförelse mellan prov- och referenssträckan visar att provsträckan var ca 80 % starkare än referensen i november. I april hade de samma ungefär styrka i undergrunden.



Figur E7.1 Jämförelse mellan medianen av yt- och undergrundsmodulen för provsträckan och referenssträckan i Norberg november 2003 och april 2004.

För provsträckan har SCI-värdet ökat drygt 50 % från november till april. Även för referensen har SCI-värdet ökat, men i detta fall med ca 40 %. Konstruktionen har alltså i båda fallen mist styrka i överbyggnaden från november till april.

En jämförelse mellan prov- och referenssträcka i november visar att referenssträckan hade cirka 30 % lägre styrka i den övre delen av konstruktionen. Samma jämförelse i april visar att de båda sträckorna har likvärdig i styrka i den övre konstruktionsdelen, men att de blivit svagare jämfört med november.



Figur 7.2 Jämförelse mellan medianen SCI för provsträckan och referenssträckan i Norberg november 2003 och april 2004.

Som slutsats kan man konstatera att ...

Provsräckan är starkare än referensen med avseende konstruktionen som helhet. Den största skillnaden finns i undergrunden, medan den övre konstruktionsdelen är mer likvärdig.

Vid tjällossningen i april har prov- och referenssträckorna ungefär samma styrka. Flygaskan bidrar alltså inte med någon större förstärkning under tjällossning.

D.7.2 Uppsala

Samtliga ytmoduler på provsträcka 1 och 2 samt referensen har minskat i april jämfört med november, i storleksordning ca 20 till 40%.

Referensen hade ca 150-200 % högre ytmodul än provsträckorna vid båda mättillfällena.

Undergrundsmodulen för provsträcka 1 är oförändrad november-april medan den för provsträcka 2 har minskat ca 15 %. För referensen har undergrundsmodulen minskat med ca 50 % i april.

Referensen var 30 % starkare i undergrunden än provsträcka 2 och ca 80 % starkare i undergrunden än provsträcka 1. I april var referensen bara 50 % starkare än provsträcka 1 och lika stark som provsträcka 2.

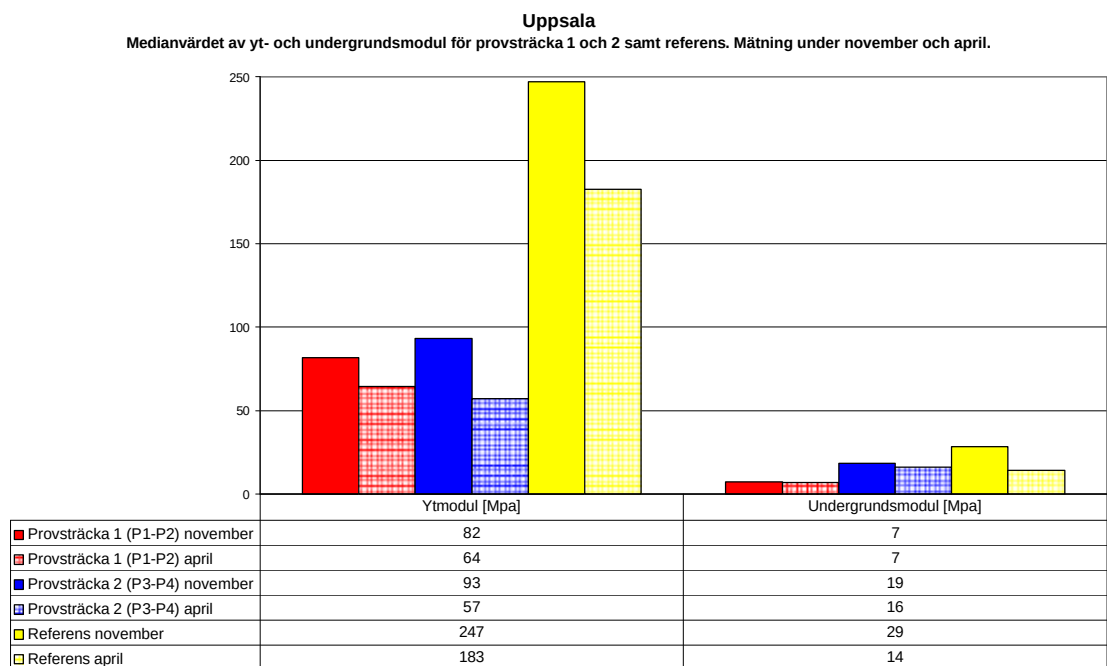
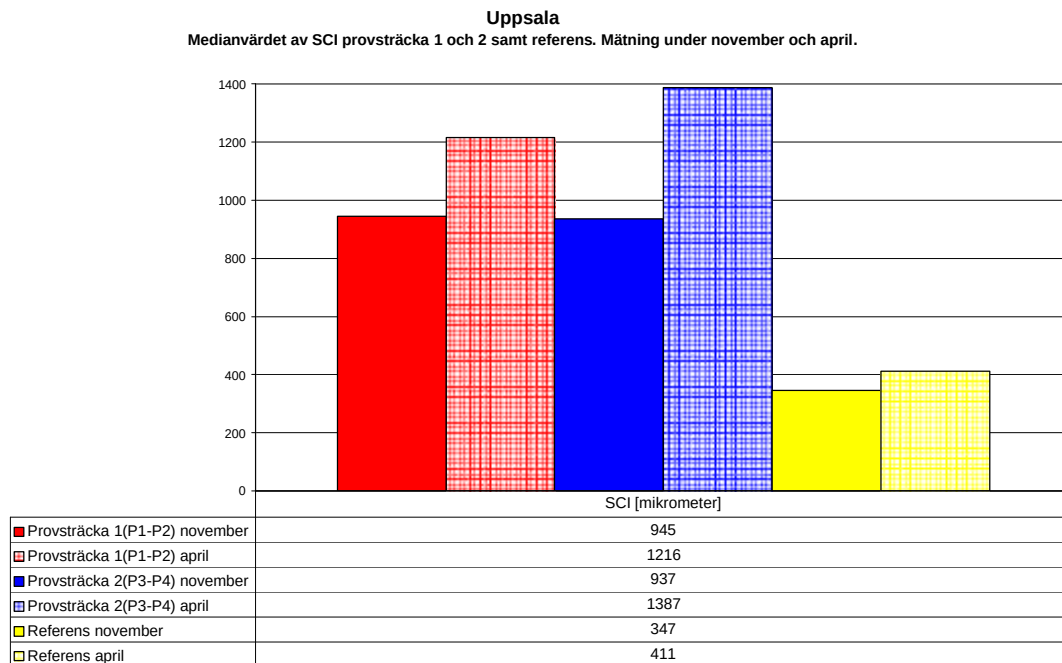


Diagram 19 Jämförelse mellan medianen av yt- och undergrundsmodulen för provsträckorna och referenssträckan i Uppsala november 2003 och april 2004.

Samtliga sträckor har förlorat i styrka från november till april med avseende på SCI (20-30%).

Styrkan för de två provsträckornas övre konstruktionsdel i november var ungefär likvärdiga. Referensen var vid detta tillfälle ca 60 % starkare. I april var provsträckorna 70-80 % svagare än referensen.



Figur 7.4 Jämförelse mellan medianen SCI för provsträckorna och referenssträckan i Uppsala november 2003 och april 2004

Som slutsats kan man konstatera att ...

Referensen var i november avsevärt starkare än provsträckorna. Skillnaden fanns både i undergrund och i överbyggnad. Denna tendens finns även under tjällossning i april.

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 ENERGIKOMMISSIONEN

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