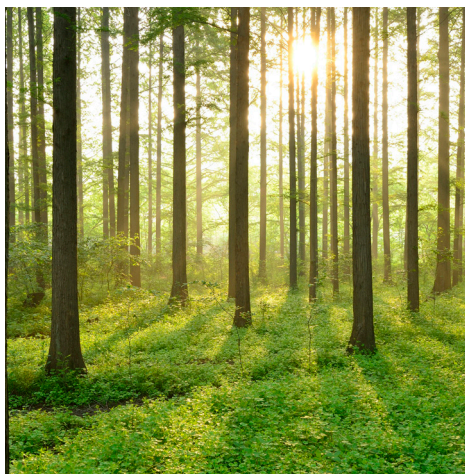


# LÅNGTIDSUPPFÖLJNING AV GRUSVÄG STABILISERAD MED BIOFLYGASKA

RAPPORT 2016:264



MILJÖRIKTIG ANVÄNDNING  
AV ASKOR





# **Långtidsuppföljning av grusväg stabiliserad med bioflygaska – Sörkrångevägen**

JENNY VESTIN, DESIREE NORDMARK, MARIA ARM, ANDERS LAGERKVIST, BO B LIND

ISBN 978-91-7673-264-9 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt Q14-204 Långtidsuppföljning av grusväg stabiliserad med bioflygaska – Sörkrångevägen (Energimyndighetens projektnummer 39217-1) inom programmet Miljöriktig användning av askor som bedrivs av Energiforsk. Programmet startade inom ramen för Värmeforsks forskningsprogram och ingår liksom all övrig forskningsverksamhet inom Värmeforsk numera i Energiforsk.

Rapporten redovisar tekniska och miljömässiga egenskaper hos en med flygaska uppgraderad skogsväg fem-sex år efter uppgraderingen.

Projektet har genomförts av Statens geotekniska institut (SGI) och Luleå tekniska universitet (LTU) med Jenny Vestin som huvudprojektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av

Daniel Ivarsson, Jämtkraft

Niklas Hansson, Vattenfall

Johanna Vöks, Kalmar Energi

Inge Johansson, SP

Stockholm april 2016

Helena Sellerholm

Områdesansvarig

Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

## Sammanfattning

2009 uppgraderade Skogsstyrelsen i Västernorrland tillsammans med Statens geotekniska institut (SGI) och Luleå tekniska universitet (LTU) en skogsbilväg med bioflygaska från ett av regionens pappersbruk. Syftet var att undersöka om bioflygaska, utan övriga tillsatser av bindemedel, kunde användas för att stabilisera en skogsbilväg. Den uppgraderade vägen har två olika provsträckor och fyra olika referenssträckor. Vägens tekniska och miljömässiga egenskaper undersöktes. Sammanfattningsvis visade resultaten att asksträckorna hade ett initialt utläckage av framför allt kalium, natrium, klorid och sulfat men efter två år var utläckaget från asksträckor och referenssträckor lika. Fallviktsmätningarna visade att asksträckorna hade högre bärighet än referenssträckorna framför allt under tjällossningsperioderna. De tidigare erhållna resultaten visar att den använda bioflygaskan har stor potential för att fungera som bindemedel i grusvägar.

Föreliggande projekt "Långtidsuppföljning av grusväg stabiliserad med bioflygaska – Sörkrångevägen" är en uppföljande studie av Sörkrångevägen. Projektet syftar till att undersöka vägens tekniska och miljömässiga egenskaper drygt fem år efter att vägen uppgraderades. Projektet syftar även till att göra en långtidsprognos för vägens tekniska egenskaper samt att en bedömning av hur det askstabiliserade materialet kan tas om hand efter att vägen har tjänat ut.

Resultaten visar att askstabiliseringen har en fortsatt positiv effekt på vägens bärighet, framför allt i provsträcka 2 med tjockare ask/moränlager. Resultatet av den konventionella uppgraderingen med enbart grus avklingar relativt snabbt och efter sex år återstår ca 10 % förbättring, medan provsträcka 2, med 20-25 cm ask/moränlager, har vid samma tidpunkt ca 50 % bättre styvhet än de icke uppgraderade sträckorna. Projektet visar också att det stabiliserade ask-moränmaterialets syraneutraliserande förmåga är hög och att det därför är möjligt att återanvända materialet vid en restaurering av vägen. Initialt sker en liten påverkan genom utlakning av salt, men ingen långvarig negativ miljöpåverkan har observerats efter askstabiliseringen av vägen i Sörkrånge.

## Summary

### BACKGROUND

In 2009, Swedish Forest Agency together with Swedish Geotechnical Institute (SGI) and Luleå Technical University (LTU) initiated a project in which part of a gravel road was upgraded and stabilized with fly ash from a local paper mill. The fly ash contains mainly calcium and silicate oxides and has thus hardening properties which give high compression strength and high bearing capacity.

The upgraded road consists of two different test sections upgraded with fly ash and four different reference sections. Two reference sections (1 and 2) were upgraded with gravel and two reference sections (0 and 3) were not upgraded at all. During upgrading, ash was milled into the existing road to reach a mixture of 30 % fly ash and 70 % road material of glacial till (moraine). No other additives were used. After compaction and watering, the thickness of the ash/moraine layer in test section 1 was 15 cm and the thickness in test section 2 was 20-25 cm. The fly ash used for upgrading was produced at the paper mill Ortviken in Sundsvall where bark and sludge containing fibres, ash, organic material and microorganisms are burnt in a fluidized bed incinerator.

During the first two years, the technical and environmental properties of the road were monitored. In summary, the results showed that the test sections with fly ash had an initial leakage of potassium, sodium, chloride and sulphate but after two years, the leakage was similar in the test and reference sections. Furthermore, the test sections had higher stiffness, especially during frost thawing periods.

### OBJECTIVES

This project is a complementary study of the road described above. The objectives are

- to study the technical and environmental properties of the road, more than five years after upgrading
- to perform a long-term forecast for the technical properties of the road and
- to evaluate how to handle the ash-stabilized material when the road must be rebuilt.

### METHODS

To evaluate the composition and the possible transportation in the ash/moraine layer, samples were taken from two different depths in test section 2 (0-5 cm and 5-10 cm). The samples were analysed by XRF (X-ray fluorescence) and by leaching tests (L/S 10).

To evaluate technical properties in a longer perspective, samples from test section 2 were acidified to simulate long term acid rain. Some of these acidified samples were then alkalized to study if it was possible to regenerate the pozzolanic, hardening properties of the samples. Stiffness of the acidified and alkalized samples were evaluated and related to the stiffness of untreated samples.

The infiltration capacity was measured using double ring infiltrometers in the middle of the road and in the wheel track, both in test section 2 and reference section 2. Strength development of the sections has been evaluated by falling weight deflectometer.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Composition of road material

From 2009 to 2014, the concentration of potassium decreased by 40% and the concentration of sulphur (most likely in the form of sulphate) by 55% (Figure 1a). Sulphur is most likely present as sulphate in the material; hence the term sulphate will be used instead of sulphur. For potassium the reduction has been greater in the lower part of the ash/moraine layer (Figure 1c), while the sulphate concentration decreased more in the upper layer (Figure 1b). The measured concentration of calcium was higher in 2010 compared to 2009, but has since then shown a decreasing trend (Figures 1a and 1b).

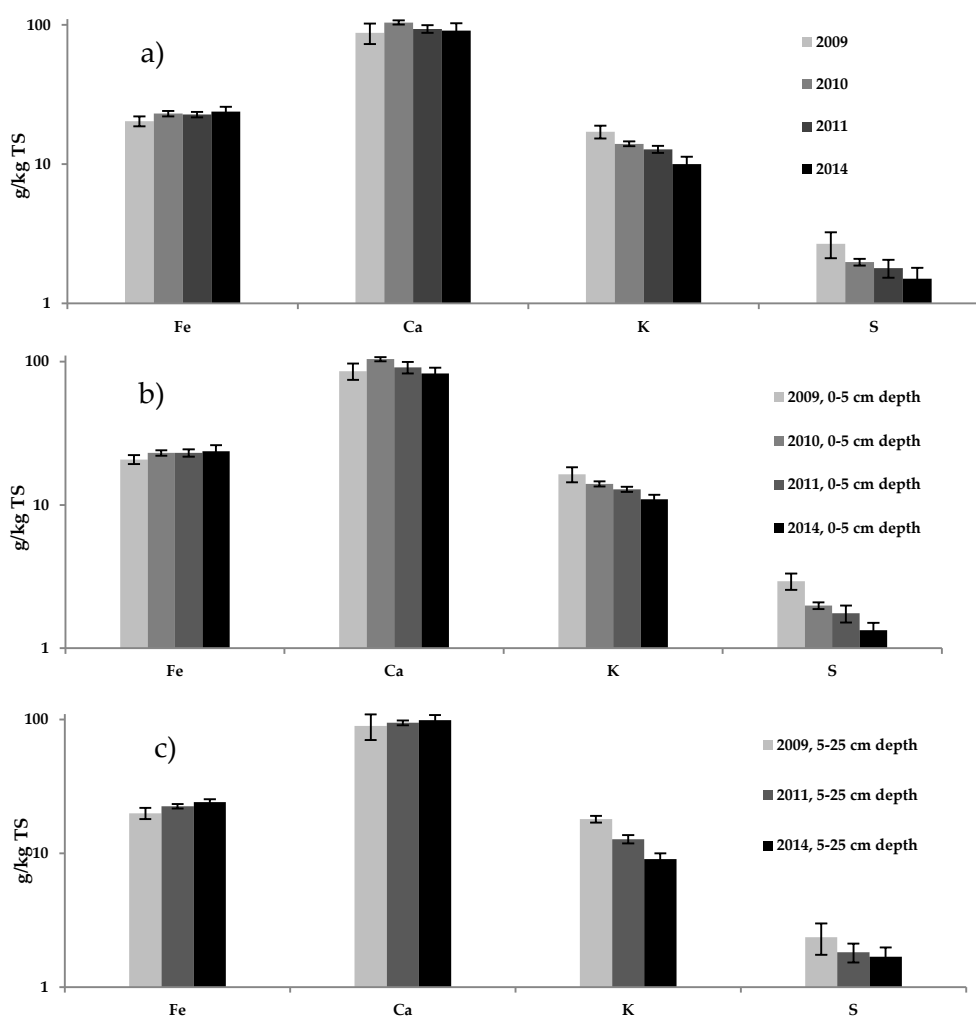
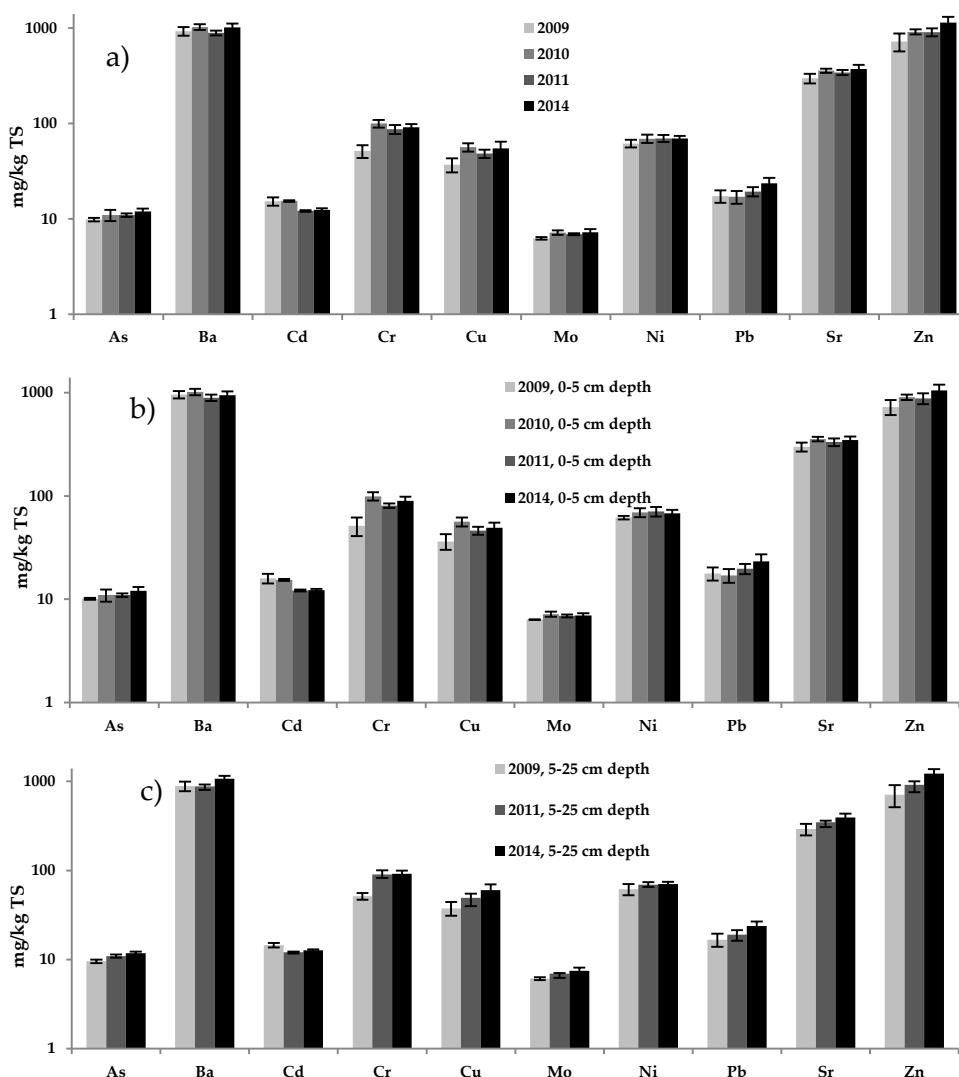


Figure 1. The concentration of elements in ash/moraine layer, analyzed on the particles <2 mm. Mean  $\pm$  SD for all samples from each sampling year and divided into 0-5 cm and 5-25 cm depth (2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011 n = 11; 2014; n = 9).

The concentrations of all trace elements have increased during the period, both in terms of the whole ash/moraine layer and for layers at various depths, except for cadmium (Figures 2a, 2b and 2c) and barium in the upper part of the layer (Figure 2a).



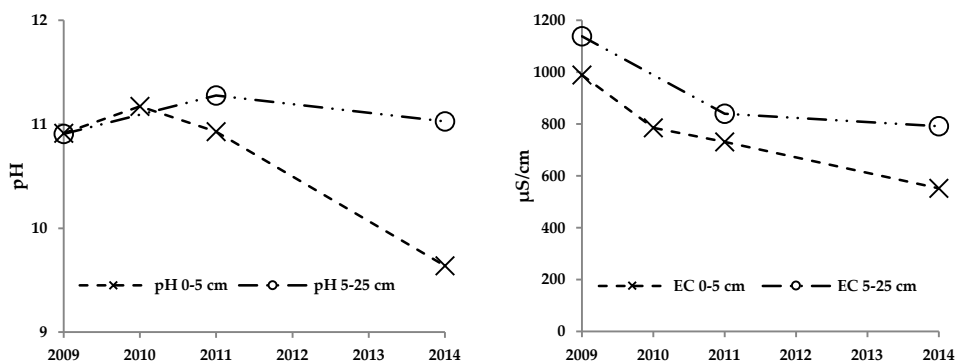


Figur 2. **Concentration of trace elements in ash/moraine layer, analyzed on the particles <2 mm. Mean  $\pm$  SD for all samples from each sampling year and divided into 0-5 cm and 5-25 cm depth (2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011 n = 11; 2014; n = 9).**

The results indicate that the composition of the road material changes over time as a result of water infiltration into the ash/moraine layer. The concentration of substances, such as potassium, calcium and sulphate included in easily soluble salts, decreases with time, especially in the upper layer of the ash/moraine mixture. The mobilization rates tend to flatten out with time. Since these agents occurred initially in relatively high concentrations in the ash/moraine layer and are reduced by up to 50%, the concentrations of less mobile species such as oxidized iron and many trace elements instead seem to increase in concentration. The increase is relative because no new material has been added to the road on purpose during the current period. Iron and manganese oxides present in the fly ash stabilize trace elements effectively, which means that the solubility of these substances is held back [21]. Puzzolanic properties in the ash/moraine mixture, such as the precipitation of carbonates in the pore water, reduce the mobility of many trace elements [4, 12] as they co-precipitates together with carbonates.

### Leaching of road material

Both pH and electrical conductivity have been reduced in the ash/moraine layer during the five years since the upgrade (Figure 3). In the upper layer, the change is more pronounced.



Figur 3. pH and electrical conductivity of the leachate (L/S 10) from road samples with particle size <2 mm, and at two depths of the ash/moraine layer (Mean, 2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011; n = 11; 2014; n = 9).

Leaching tests show the leaching potential that remains in the ash/moraine layer. The leaching of aluminum, iron, potassium and sodium decreases with time. On the contrary, the leaching of magnesium, calcium and sulphate increases (Figure 4). The calcium and sulphate predominates in the leachate. Arsenic leaching increased during the first years after the road was upgraded, but after five years, the levels have dropped slightly. Leaching of barium appears to be increasing over time while cadmium decreased during the first two years and then has increased slightly.

When the leaching of elements is related to the concentration of the solid material the trend is the same as for the absolute leaching, i.e. leaching of iron and potassium decreases, while sulphate increases slightly.

The infiltration of water into the road structure affects the chemical composition in the road. Due to air pollution, the water (from rain or snow) is slightly acidic with a pH around 4.5. The water will solve easily soluble salts, but in the longer term it will also affect the buffering capacity of the ash/moraine layer. Another issue that affects the chemical composition is the development of the puzzolanic properties of the ash/moraine material by curing and carbonation.

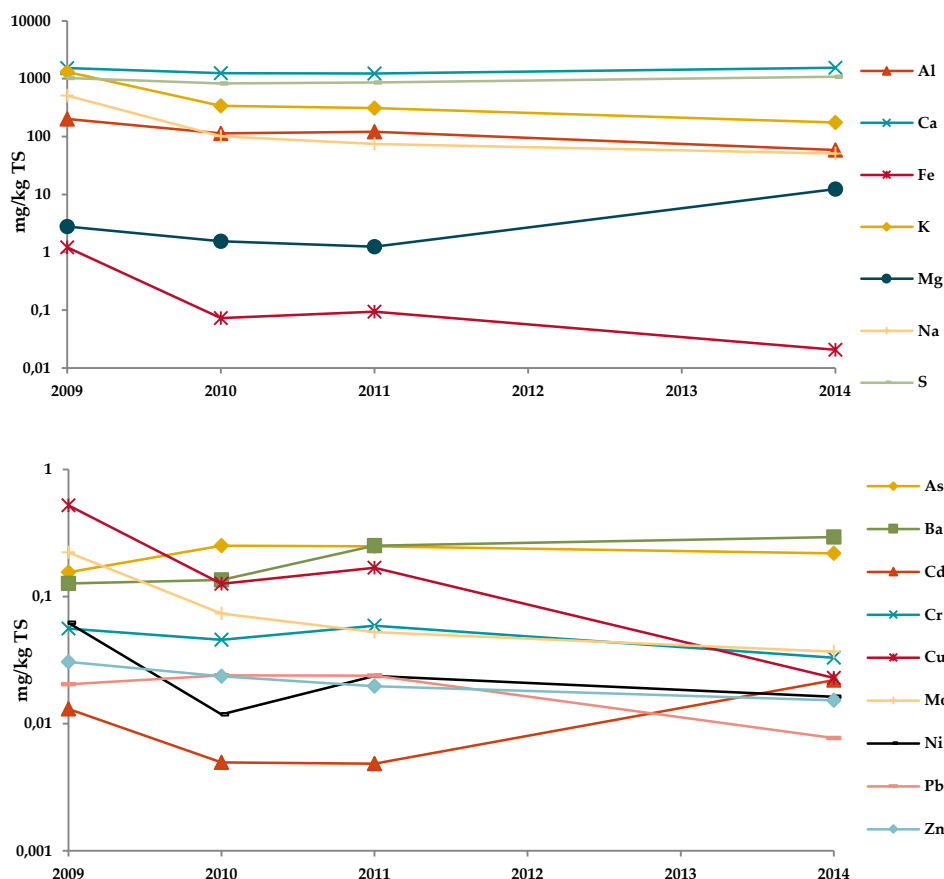


Figure 4. Leaching (L/S 10) of elements from solid samples with particle size <2 mm taken from the ash/moraine layer. Average values of all samples from each sampling year (2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011 n = 11; 2014; n = 9).

The leaching of salts of potassium and sodium is high at the beginning but decreases with time. In contrast, the leaching of magnesium and sulphate increases over time in absolute concentrations, and sulphate also increases in relation to the content of the fixed samples. In the fresh fly ash, many elements occur as oxides, including magnesium and calcium. The oxides react in contact with water and form hydroxides which have much higher solubility than the oxides. The solubility of calcium and magnesium hydroxide increases with decreasing pH. Since the road was upgraded, the pH in the upper ash/moraine layer has decreased from 11.0 to 9.6 which may explain the increased leaching of calcium and magnesium. But as long as carbonate minerals are present, the pH in the road will not reach below neutral conditions. The leaching of trace elements from the ash/moraine material is very low and should not be an environmental risk.

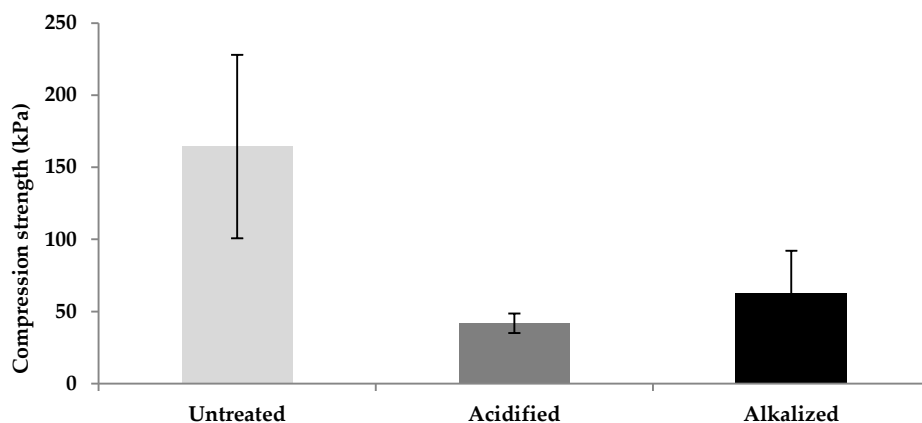
The concentrations of all substances, except arsenic, are well below the Swedish Environmental Protection Agency's guideline values for recycling of waste in constructions [22]. It is not possible to make a proper assessment of arsenic as the guideline value is below the detection limit.

### Strength of road material

It was not possible to take undisturbed samples from the road (which would have been preferable). Loose material samples from the test section were packed into specimens and were then tested by axial compression tests.

Before the alkalized material was packed, the material was cured in six weeks in a carbon dioxide atmosphere. Carbonation, which contributes to increased strength, is faster in a loose material because the carbon dioxide more easily comes into contact with reactive surfaces. Since the curing time was short, the puzzolanic properties did probably not have enough time to be fully developed.

Compression tests showed that when the road material was subjected to acid, the strength decreased by 75% compared to untreated material (Figure 5). The acidification contributes to dissolution of the carbonate minerals, which affect the strength of the material. The attempt to alkalize material after acidification resulted in a 50% increase in strength compared with the acidified material, although not significant ( $p > 0.05$ ), but still far below the raw material's strength.



Figur 5. Axial compression tests on untreated, acidified and alkalized material from the ash/moraine layer (mean  $\pm$  SD,  $n = 3$ ).

Acidification to pH 4 was chosen to ensure that an effect would be achieved by the treatment. A more moderate pH reduction would have been more realistic if the aim had been to mimic natural conditions. But then, it had not been certain that any clear effect on the material had been found. An extension of the study, using more data points in the pH range from raw materials down to pH 4 and extended curing of test specimens for a longer time before the compression test, could provide additional information about the material's strength properties. To maintain pH 4 for about 2 weeks, the material consumed more than twice the amount of acid determined in acid neutralization capacity (ANC) analysis of the materials. This suggests that there is a significant amount of ANC left in the ash/moraine layer which is not utilized.

Water content and dry density was measured in all specimens (Table 1). The compression tests were performed with the current water content of the samples after acidification and alkalization. The untreated road material water ratio was 39% and the dry density was 1.20 kg / dm<sup>3</sup>, which differs from the values determined in laboratory tests before upgrading the road - optimum water content 25% and maximum dry

density 1.48 kg / dm<sup>3</sup>. Lower water content and thus a higher dry density provide higher strength because water content in excess of the optimal water ratio reduces the cohesive forces in the material. The acidified material had the maximum dry density and thereby the most compaction. Despite that, it had the poorest material strength which indicates that the ash in the untreated material improves the strength.

Table 1 **Water content and dry density of untreated, acidified and alkalized-hardened material from the ash/moraine layer after packing ahead of compression tests (mean  $\pm$  SD, n = 3).**

| Material           | Water content (%) | Dry density (kg/dm <sup>3</sup> ) |
|--------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Untreated          | 39 $\pm$ 6        | 1.20 $\pm$ 0.15                   |
| Acidified          | 23 $\pm$ 10       | 1.65 $\pm$ 0.15                   |
| Alkalized-hardened | 28 $\pm$ 4        | 1.50 $\pm$ 0.09                   |

Acidic water with pH 4 affects the strength of the material significantly. But the acid neutralizing capacity of the road is so high that it will take more than 30 years for the pH in the ash/moraine layer to reach pH 4 although the bearing capacity of the road can be affected long before pH 4 is reached. Acid precipitation dissolves carbonate minerals which can eventually degrade the road's bearing capacity. A treatment of the road with e.g. sodium hydroxide prevents the dissolution of carbonates and could eventually improve the bearing capacity of the road.

#### Infiltration capacity

The infiltration capacity was lower in the wheel tracks than in the middle of the road (Table 2) indicating that the traffic load had hardened the road. Compared to the earlier measurements in 2011, the infiltration capacity had declined. This is a result of traffic load but also of carbonation reactions, like precipitation of calcium carbonate, which decreases the pore size and thus the infiltration capacity.

Table 2 **Infiltration capacity measured in June 2011 and June 2015.**

| Year | Test 2 centre | Test 2 track | Ref. 2 centre | Ref. 2 track |
|------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 2011 | 47 mm/h       | 12 mm/h      | 83 mm/h       | 79 mm/h      |
| 2015 | 18 mm/h       | 4 mm/h       | 67 mm/h       | 39 mm/h      |

#### Stiffness

Just as in the first study, the evaluated average stiffness (surface modulus) of the road varied depending on measurement occasion and road section. In general, the differences in stiffness between the test sections and the reference sections were largest at the spring measurements (Figure 6). Those measurements were performed during soil frost thawing period and consequently the water content in the road was high. Test section 2 with thicker ash/moraine layer achieved the highest stiffness during all measurements, which indicate that larger amount of ash is favorable. The non-upgraded reference sections (0 and 3) obtained the lowest stiffness in the road, and reference section 3, which was situated close to a mire, was the weakest.

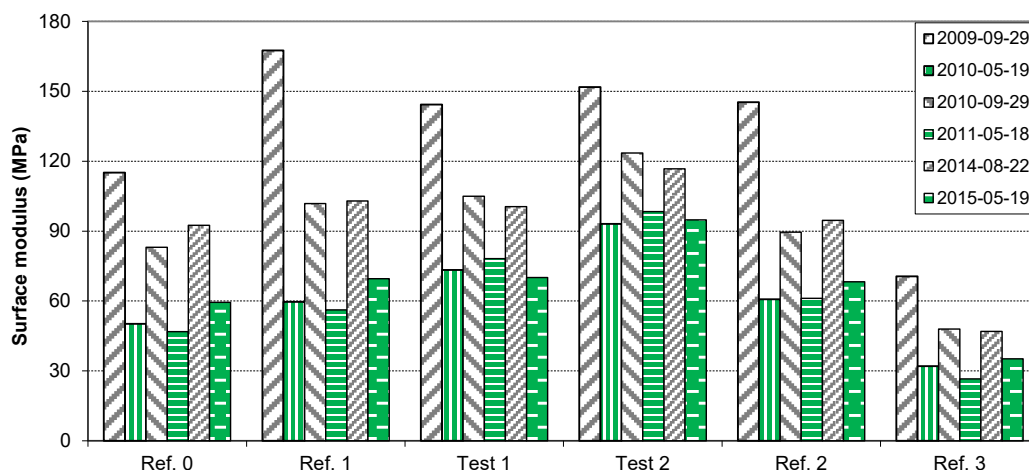


Figure 6

**Stiffness presented as average surface modulus. Values are obtained from falling weight deflectometer measurements for both reference and test sections.**

To get an overview, the stiffness values for all sections were related to one of the non-upgraded sections (reference section 0) (Figure 7). After upgrading, the initial increase in stiffness is 30-50 % for all sections except for the other non-upgraded section (reference section 3). After the first winter period when the sections were “consolidated”, the test sections obtained a considerably higher stiffness than the reference sections. In general, the stiffness increase in the sections upgraded with gravel (Ref. 1 and 2) declines rather quick and after six years only 10 % of the improvement remains, while in test section 2, with thicker ash/moraine layer, there is still 50 % of the improvement left. After six years, during soil frost thawing period, the stiffness in test section 1 (thinner ash/moraine layer) is in the same region as the sections upgraded with gravel.

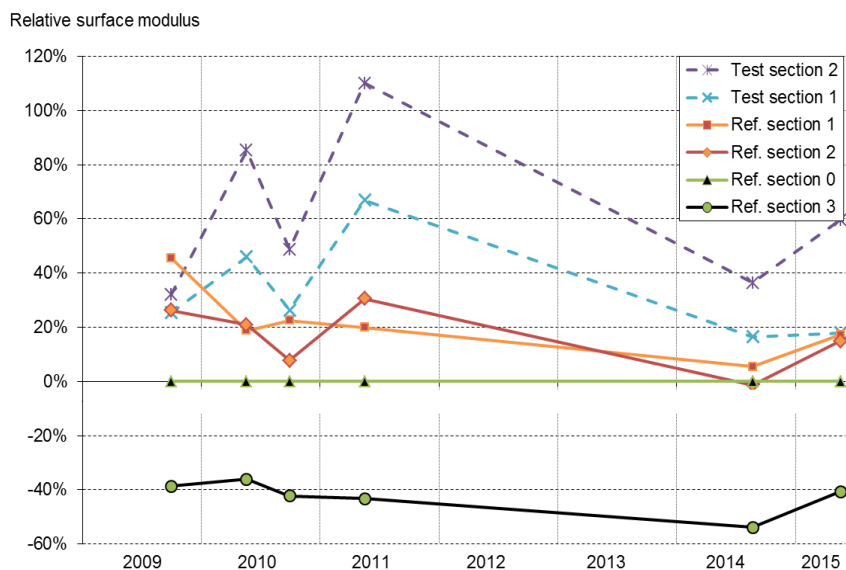


Figure 7 **Stiffness for all sections presented in relation to reference section 0. Stiffness values are presented as average surface modulus obtained from falling weight deflectometer measurements.**

### CONCLUSIONS

After six years, the sections upgraded with gravel had 10 % increased stiffness and test section 2 (with 25 cm ash/moraine layer) had 50 % increased stiffness compared to the non-upgraded sections. No negative environmental effects, besides the initial leaching of easily dissolved salts, has so far been evaluated. Thus it seems that upgrading the road with fly ash, without additives, has, in this case, enhanced the function of the road. A more solid ash/moraine is more favorable for stabilization.

Laboratory studies have shown that the ash has a high acid neutralization capacity but also a large amount of reactivity that has not been used in the existing road. Re-milling of the ash/moraine layer would thus probably create new ash surfaces that can undergo puzzolanic reactions and thereby increased stiffness. These properties in combination with the almost nonexistent leaching of metals make it possible to reuse the ash when rebuilding the road.

## Innehåll

|          |                                                |           |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                               | <b>17</b> |
| 1.1      | Flygaska som vägstabilisering                  | 17        |
| 1.2      | tidigare undersökningar på Sörkrångevägen      | 17        |
| 1.3      | Motiv och mål för denna uppföljande studie     | 17        |
| <b>2</b> | <b>Metodbeskrivning</b>                        | <b>19</b> |
| 2.1      | Område                                         | 19        |
| 2.2      | Beskrivning av Ortvikens askproduktion         | 19        |
| 2.3      | Beskrivning av prov- och referenssträckor      | 20        |
| 2.4      | Vägmaterialets sammansättning                  | 21        |
| 2.5      | Vägmaterialets lakbarhet                       | 21        |
| 2.6      | Vägmaterialets hållfasthet – långtidsprognoser | 21        |
| 2.7      | Vägens infiltrationskapacitet                  | 23        |
| 2.8      | Vägens bärighetsutveckling                     | 23        |
| 2.9      | Statistisk bearbetning                         | 23        |
| <b>3</b> | <b>Resultat och diskussion</b>                 | <b>24</b> |
| 3.1      | Vägmaterialets sammansättning                  | 24        |
| 3.2      | Vägmaterialets lakbarhet                       | 27        |
| 3.3      | Vägmaterialets hållfasthet                     | 31        |
| 3.4      | Vägens infiltrationskapacitet                  | 33        |
| 3.5      | Vägens bärighetsutveckling                     | 33        |
| 3.6      | Långtidsprognoser – omhändertagande            | 35        |
| <b>4</b> | <b>Slutsatser</b>                              | <b>37</b> |
| <b>5</b> | <b>Litteraturreferenser</b>                    | <b>38</b> |
|          | <b>Bilaga 1</b>                                | <b>40</b> |



# 1 Inledning

## 1.1 FLYGASKA SOM VÄGSTABILISERING

För att öka styvheten och därmed bärigheten i vägar kan olika bindemedel blandas med vägmaterialet. Ett bindemedel är bioflygaska som har använts som stabilisering i vägar, både i Sverige och i andra länder [1-5]. Flygaska består till stor del av kalcium- och kiseloxid och har därför puzzolana (cementliknande) egenskaper. Puzzolana egenskaper ger hög tryckhållfasthet och bra tjälnings- och frys-tö-egenskaper [6-12] samt bidrar även till låg utlakning av metaller när aska används som vägbyggnadsmaterial [4, 12]. Varje flygaskas unika egenskaper beror på bränsle, förbränningsanläggning och lagringsförhållanden [5]. Mácsik m.fl. (2004) har visat att flygaskornas vattenkvot och kalciumoxidinnehåll är viktiga egenskaper för hållfastheten [8]. För att ytterligare förstärka en vägkropps bärighet och förbättra dess tjälnings- och frys-tö-egenskaper kan flygaskan blandas med andra bindemedel såsom cement, merit eller kalciumoxid [4, 6-9]. En eventuell inblandning av andra bindemedel fördyrar dock hanteringen och vägkonstruktionen. Därför är det önskvärt att flygaskans puzzolana egenskaper utnyttjas optimalt så att vägkonstruktioner kan byggas utan övriga bindemedel.

## 1.2 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR PÅ SÖRKRÅNGEVÄGEN

2009 uppgaderade Skogsstyrelsen i Västernorrland tillsammans med Statens geotekniska institut (SGI) och Luleå tekniska universitet (LTU) en skogsbilväg med bioflygaska från ett av regionens pappersbruk. Syftet var att undersöka om bioflygaska, utan övriga tillsatser av bindemedel, kunde användas för att förbättra bärigheten hos en skogsbilväg. Den uppgaderade vägen har två provsträckor och fyra referenssträckor. De båda provsträckorna är uppgaderade genom inblandning av olika mängd bioflygaska i befintligt bärlager samt ett nytt grusslitlager. Två av referenssträckorna är uppgaderade med nytt bärlager och grusslitlager medan de andra två är bara dikade och hyvlade. Vägens tekniska och miljömässiga egenskaper undersöktes.

Sammanfattningsvis visade resultaten att asksträckorna initialt hade ett utläckage av framför allt kalium, natrium, klorid och sulfat men efter två år var utläckaget från asksträckor och referenssträckor lika [13]. Fallviktsmätningarna visade att asksträckorna hade högre styvhet än referenssträckorna framför allt under tjällossningsperioderna [14]. Utvärderingen av själva askstabiliseringen visade att inblandningen av askan inte hade utförts optimalt eftersom askblandningen i vägen var inhomogen, packningsgraden var otillräcklig och vattenkvoten i ask/moränblandningen var för låg [15]. Trots detta visar resultaten från undersökningarna att den använda bioflygaskan har stor potential för att fungera som bindemedel i grusvägar.

## 1.3 MOTIV OCH MÅL FÖR DENNA UPPFÖLJANDE STUDIE

För att se hur en askvägs miljömässiga och tekniska egenskaper utvecklas med tiden är det viktigt att följa vägen under flera år. Det är också av intresse att försöka prognostisera hur askvägens egenskaper utvecklas i ett längre tidsperspektiv och hur askvägen kan omhändertas när den har tjänat ut och ska ersättas eller uppgaderas igen. Långtidsuppföljningar av vägar som är stabiliserade med flygaska är sällsynta.

Ofta upphör studierna efter två-tre år och ibland försvinner själva studieobjektet av olika anledningar.

Målet med föreliggande projekt är därför att prognostisera de långsiktiga effekterna på vägfunktion och omgivningsmiljö för en grusväg stabiliserad med bioflygaska och att i detta arbete följa upp den tidigare uppgraderade provvägen i Sörkrånge.

Delmål är att:

- Komplettera de tidigare undersökningarna på provvägen och därigenom få utökade tidsserier av mätningarna. Tidigare undersökningar har gjorts av bärighet, infiltrationskapacitet och potentiell miljöpåverkan.
- Undersöka hur vägens bärighet påverkas av kemiska förändringar i askan, t.ex. när askans motståndskraft mot pH-sänkningar avtar och de puzzolana egenskaperna minskar.
- Ge förslag beträffande omhändertagande av vägen efter uttjänt livstid.

## 2 Metodbeskrivning

För att studera hur den uppgraderade vägens egenskaper har utvecklats med tiden har de tidigare undersökningarna av bärighet, infiltrationskapacitet och miljöpåverkan kompletterats. Dessutom har långsiktiga effekter på vägfunktion och omgivningsmiljö prognostiserats.

Att följa upp mätningarna från de tidigare installerade lysimetrarna och markvattenprovtagnarna visade sig omöjligt då anslutningsslangarna till de flesta av dessa inte fanns kvar. Mest troligt har slangarna kapats av maskiner när vägkanten har klippts eller förstörts av gnagare.

Följande undersökningar har utförts:

- vägmaterialets sammansättning genom grundämnesanalys på fasta prover uppgrävda från två olika djup på en av asksträckorna (avsnitt 2.4)
- vägmaterialets pH och elektriska konduktivitet samt lakbarhet av grundämnen genom lakteter på uppgrävda prover från en av asksträckorna samt analys av lakvattnet (avsnitt 2.5)
- vägmaterialets hållfasthet, fem år efter vägens uppgradering, genom packning och trycktester på uppgrävda prover från en referenssträcka och en asksträcka (avsnitt 2.6)
- vägmaterialets hållfasthet efter simulerad sur nederbörd under minst 30 års tid, genom surgörning, packning och trycktester på uppgrävda prover från en asksträcka (avsnitt 2.6)
- vägmaterialets hållfasthet efter regenerering av de surgjorda proverna genom alkalisering, härdning, packning och trycktester (avsnitt 2.6)
- vägens infiltrationskapacitet (avsnitt 2.7)
- vägens bärighet genom utvärdering av styvheten vid fallviktsmätningar under hösten 2014 och våren 2015 (avsnitt 2.8).

### 2.1 OMRÅDE

Den uppgraderade grusvägen ligger i Sörkrånge, Timrå kommun, och ägs av SCA Skog AB. Vägen är byggd mellan 1968 och 1970, i huvudsak på tidigare åkermark och fungerar som en primärväg till ett större skogsområde (ca 700 hektar). Vägens överbyggnad består av bärlager med morän i storleksfraktionen 0-50 mm. Vägen går mestadels i svag sluttning eller i bank på plan mark. Jordarterna i området är morän och finkorniga sediment. I vägens närområde finns några mindre tjärnar och en bäck som avvattnar vägens avrinningsområde. Enligt Skogsstyrelsens inventering finns inga speciella naturvärden i området. Innan uppgradering hade vägen kraftig spårbildning samt gräsvegetation i mitten och på vägkanterna.

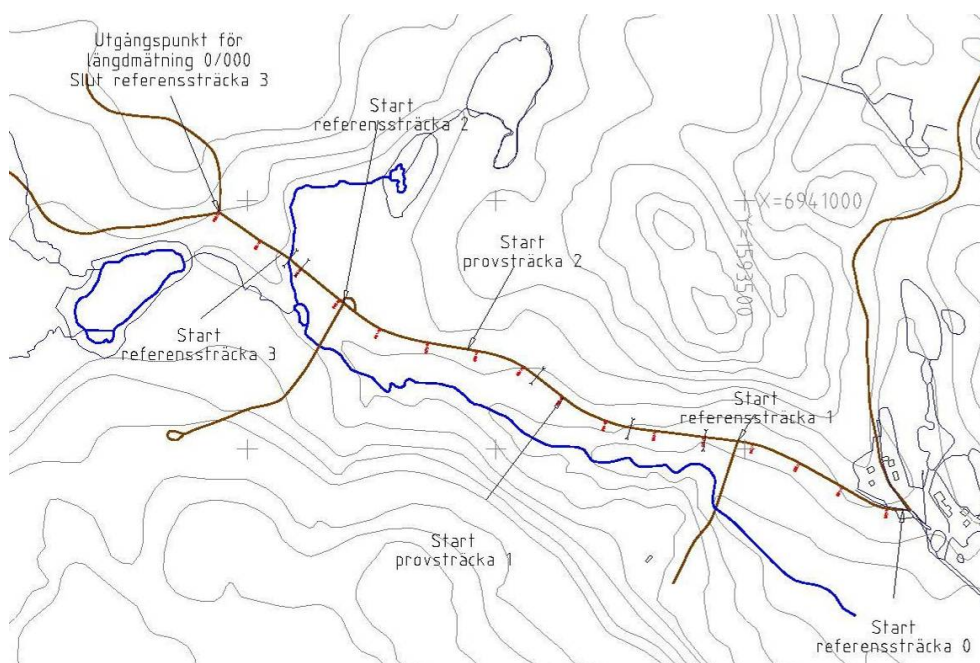
### 2.2 BESKRIVNING AV ORTVIKENS ASKPRODUKTION

Bioflygaskan som användes för att stabilisera vägen kommer från SCA, Ortviken i Sundsvall. SCA använder för närvarande askan som fyllnadsmassor inom sina fabriksområden på Ortviken i Sundsvall eller Östrand i Timrå. Ortviken har tre pannor. Panna 1 har en fluidiserad bädd som eldas med flygaskan från panna 3 samt slam och bark. Slammet består till ca 80 % av fiberslam och ca 20 % bioslam. Båda slammen består av ca 20 % aska från bl.a. kaolinlera och kalciumkarbonat som används både som fyllmedel och som beläggning på papperet. Fiberslammet består även av fibrer och spån. Bioslammet består, förutom askan, av organiskt material och mikroorganismer.

Panna 2 eldas med olja. Panna 3 är en rosterpanna som eldas med bark. Ingen flygaska tas ut från panna 3 utan all aska går vidare och bränns igen i panna 1. Bark- och slammängderna är i huvudsak konstanta, vilket medför att flygaskans egenskaper i stort sett är homogena över året. I provsträckorna har flygaskan från panna 1 använts. Förbränningen sker vid ca 730 °C för panna 1 och panna 3.

### 2.3 BESKRIVNING AV PROV- OCH REFERENSSTRÄCKOR

Under juni 2009 uppgraderades vägen med aska och grus. Det uppgraderade vägavsnittet är ca 1500 meter långt och indelat i två provsträckor och fyra referenssträckor. Provsträcka 1 är 240 meter och provsträcka 2 är 260 meter lång. Referenssträcka 0 är 400 meter, referenssträcka 1 är 320 meter, referenssträcka 2 är 160 meter och referenssträcka 3 är 120 meter lång (Figur 1).

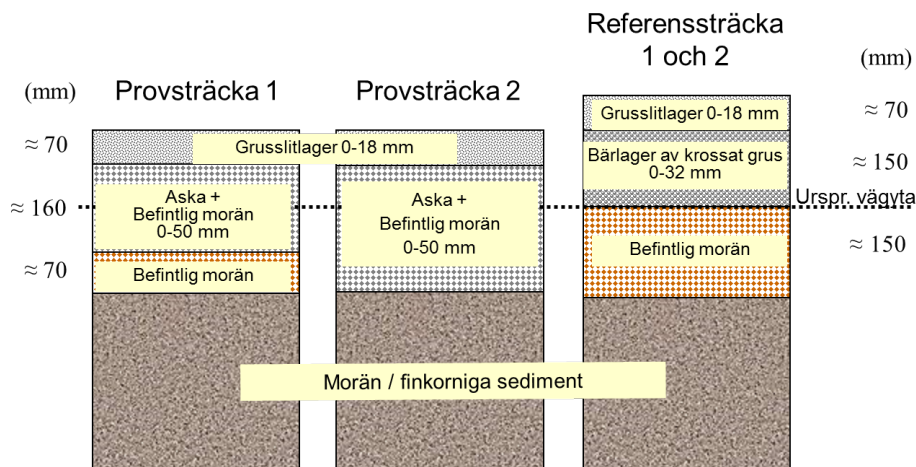


Figur 1. Karta över provområdet med de olika prov- och referenssträckorna markerade

Figure 1 Map showing the test and reference sections

Hela vägavsnittet genomgick dikesrensning och hyvling. Båda provsträckornas askstabiliserade lager består av 30 % aska och 70 % bärlagermaterial, men den nedfrästa askmängden skiljer mellan sträckorna. Provsträcka 1 uppgraderades med ca 12 cm opackad flygaska och provsträcka 2 med ca 24 cm opackad flygaska som frästes ner i det befintliga bärlagret av morän. Fräsdjupet i provsträcka 2 var dubbelt så djupt som i provsträcka 1. Efter packning av ask/moränlagret lades slutligen ett 7 cm tjockt grusslitlager (stenstorlek 0–18 mm). Inga ytterligare bindemedel har använts i vägen.

Referenssträckorna 1 och 2 är uppgraderade med 15 cm bärlager (stenstorlek 0–32 mm) och 7 cm grusslitlager (stenstorlek 0–18 mm). Referenssträckorna 0 och 3 är bara dikade och hyvlade. Uppbyggnaden av prov- och referenssträckor framgår av Figur 2.



Figur 2. Uppbyggnad av de båda provsträckorna och två av referenssträckorna

Figure 2 Structure of test sections and of reference sections

## 2.4 VÄGMATERIALETS SAMMANSÄTTNING

En undersökning av vägmaterialets grundämnessammansättning gjordes på uppgrävda prover (ca 0,5 kg per prov) från ask/moränlagret i provsträcka 2. Prov togs ut på två olika djup under slitlagret, 0-5 cm och 5-10 cm, från nio provpunkter med 4 meters mellanrum mellan varje prov och längs vägens centrumlinje. Proverna torkades varefter alla partiklar > 2 mm siktades bort. Ask-granuler trycktes sönder så att all aska återfanns i fraktionen ≤ 2 mm. På de torkade och siktade proverna mättes sedan koncentrationen av grundämnen med XRF-teknik (X-ray fluorescence), tre analyser på varje prov. Resultaten har utvärderats och jämförts med mätningar från 2009, 2010 och 2011 [13]. Syftet med analyserna var att bedöma hur koncentrationen av grundämnen påverkas vid infiltration av vatten i vägen, dels med djupet i ask/moränlagret, dels med tiden.

## 2.5 VÄGMATERIALETS LAKBARHET

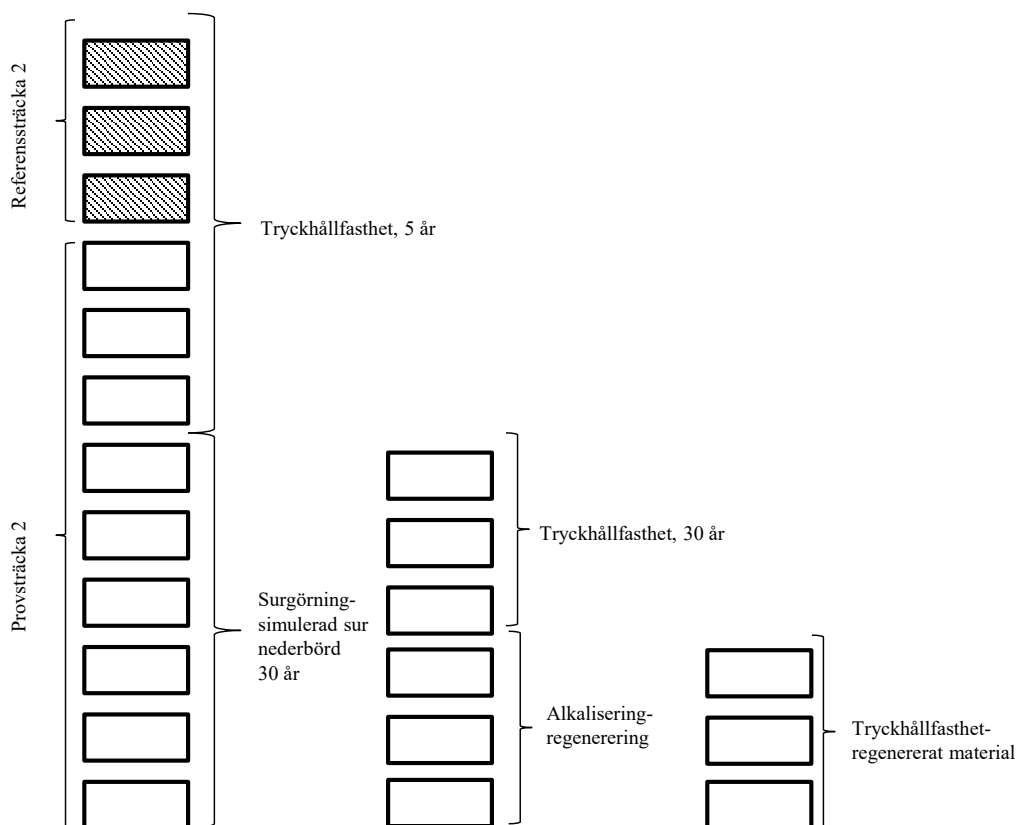
På de uppgrävda, torkade och siktade proverna som beskrevs i avsnitt 2.4 gjordes enstegs laktester vid L/S 10 [16] för att bedöma vägmaterialets lakbarhet av grundämnen och se hur materialets lakbarhet och kemiska egenskaper, så som pH och elektrisk konduktivitet, förändrats med tiden sedan vägen uppgraderades. Resultaten jämfördes med tidigare laktester som utförts på vägmaterialet 2009, 2010 och 2011 [13].

## 2.6 VÄGMATERIALETS HÅLLFASTHET – LÅNGTIDSPROGNOSER

För att undersöka hur vägmaterialets hållfasthet kan påverkas med tiden utfördes enaxliga tryckförsök på uppgrävt och osiktat material. Testerna gjordes på tre typer av provkroppar: obehandlat material, surgjort material och surgjort/alkaliserat/härdat material. Surgörningen skulle simulera sur nederbörd medan alkalisering och härdning utfördes för att illustrera delvis återskapande av de puzzolana egenskaperna. Analyserna utfördes på störda prov och resultaten ska därför jämföras mellan de olika behandlingarna och inte med hållfastheten i vägkroppen. Det var praktiskt omöjligt att ta ut ostörda prover från vägkroppen då materialet inte hölls samman.

Följande arbetsgång användes (Figur 3):

1. Tre prover grävdes upp från referenssträcka 2 och nio prover grävdes upp från ask/moränlagret i provsträcka 2.
2. Proverna från referenssträckan och tre av proverna från provsträckan packades och provtrycktes med enaxligt tryckförsök [17].
3. Sex av proverna från provsträckan surgjordes ner till pH 4 med salpetersyra för att simulera påverkan från sur nederbörd. Surgörningssteget föregicks av kontroll av materialets syraneutraliserande kapacitet (ANC) [18] för beräkning av åtgången syra.
4. Hälften av de surgjorda proverna packades och provtrycktes enligt ovan.
5. Möjligheten att regenerera materialet efter att det utsatts för syraangrepp undersöktes genom att andra hälften av de surgjorda proverna alkaliserades till pH 11 genom tillsats av natriumhydroxid. Efter alkalisering härdades proverna i en koldioxidatmosfär vid 30 grader C under tre veckor för att se om en regenerering av de puzzolana egenskaperna var möjlig.
6. Slutligen packades och provtrycktes även dessa härdade prov på samma sätt som de tidigare.



Figur 3. Försöksuppställning för långtidsprognoser.

Figure 3 Longterm studies

## 2.7 VÄGENS INFILTRATIONSKAPACITET

Infiltrationskapaciteten mättes under juni 2015 i referenssträcka 2 och provsträcka 2. Mätningarna utfördes med dubbelringinfiltrometer. På respektive sträcka utfördes fyra mätningar i vägmitt och fyra mätningar i hjulspåret. Vägens slitlager skrapades bort innan mätningarna påbörjades. Infiltrationskapaciteten uppmättes tidigare under juni 2011. De nyligen utförda mätningarna kan därför relateras till de tidigare utförda för att se vägens utveckling.

## 2.8 VÄGENS BÄRIGHETSUTVECKLING

De olika sträckornas bärighetsutveckling studerades genom fallviktsmätningar [19, 20] i augusti 2014 och maj 2015. Resultaten jämfördes med resultat från tidigare fallviktsmätningar som utförts i september 2009, maj 2010, september 2010 och maj 2011.

Vid varje tillfälle har hela provvägen provbelastats i en punkt på var tjugonde meter i höger hjulspår i båda riktningarna och ytmodulen har beräknats för varje belastningspunkt. Ytmodulen anger medelstyvheten för hela skiktet från ett angivet djup och nedåt. Det betyder att ytmodulen på djupet  $z = 0$  mm representerar medelstyvheten för hela konstruktionen. På samma sätt representerar ytmodulen på djupet 200 mm medelstyvheten för hela konstruktionen från 20 cm djup och nedåt.

## 2.9 STATISTISK BEARBETNING

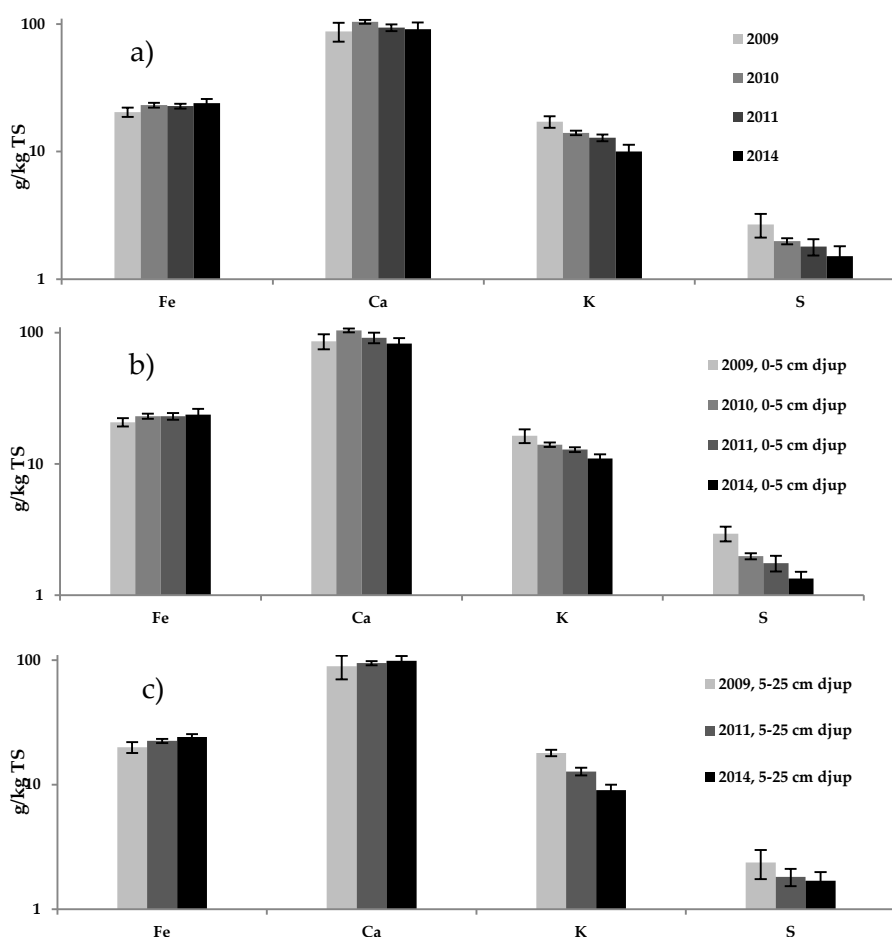
För att undersöka eventuell skillnad i medelvärde mellan analysresultat från olika år, eller prov tagna från olika djup i vägen har T-test använts. Det är en statistisk metod eller hypotesprövning där man testar med vilken sannolikhet medelvärdet skiljer mellan två provgrupper. Den signifikansnivå som använts vid T-test i den här studien är 5 %. Så om resultatet vid ett T-test är mindre än 0,05 så är det, med 95 % konfidens eller 5 % signifikans, en statistiskt påvisbar skillnad mellan medelvärdena vilket kan skrivas som  $p < 0,05$ . Om  $p$  är större än 0,05 så är det inte någon skillnad i medelvärde mellan provgrupperna med 95 % säkerhet.



### 3 Resultat och diskussion

#### 3.1 VÄGMATERIALETS SAMMANSÄTTNING

Ask/moränlagrets kemiska sammansättning har förändrats med tiden. Från 2009 till 2014 har kaliumkoncentrationen, sett till hela ask/moränlagrets mäktighet, minskat med ca 40 % och sulfatsvavel med 55 % (Figur 4a). Minskningen har varit störst under det första året. För kalium har reduktionen varit större i den nedre delen av ask/morän-lagret (Figur 4c), medan sulfatkoncentrationen sjunkit mer i den övre delen (Figur 4b). Det är grundämnet svavel som analyserats och redovisas i figurerna men största delen av det svavel som finns i ask/moränlagret förväntas föreligga som sulfat. Därför används termen sulfatsvavel eller sulfat i stället för svavel i rapporten. Uppmätt koncentration av kalcium var högre 2010 jämfört med 2009, men har sedan dess uppvisat en sjunkande trend (Figur 4a och b). I de nedre delarna av ask/moränlagret ser kalciumkoncentrationen ut att öka med tiden (Figur 4c). Koncentrations-skillnaderna mellan de olika åren (2009, 2010 och 2014) är dock inte signifikanta ( $p > 0,05$ ).

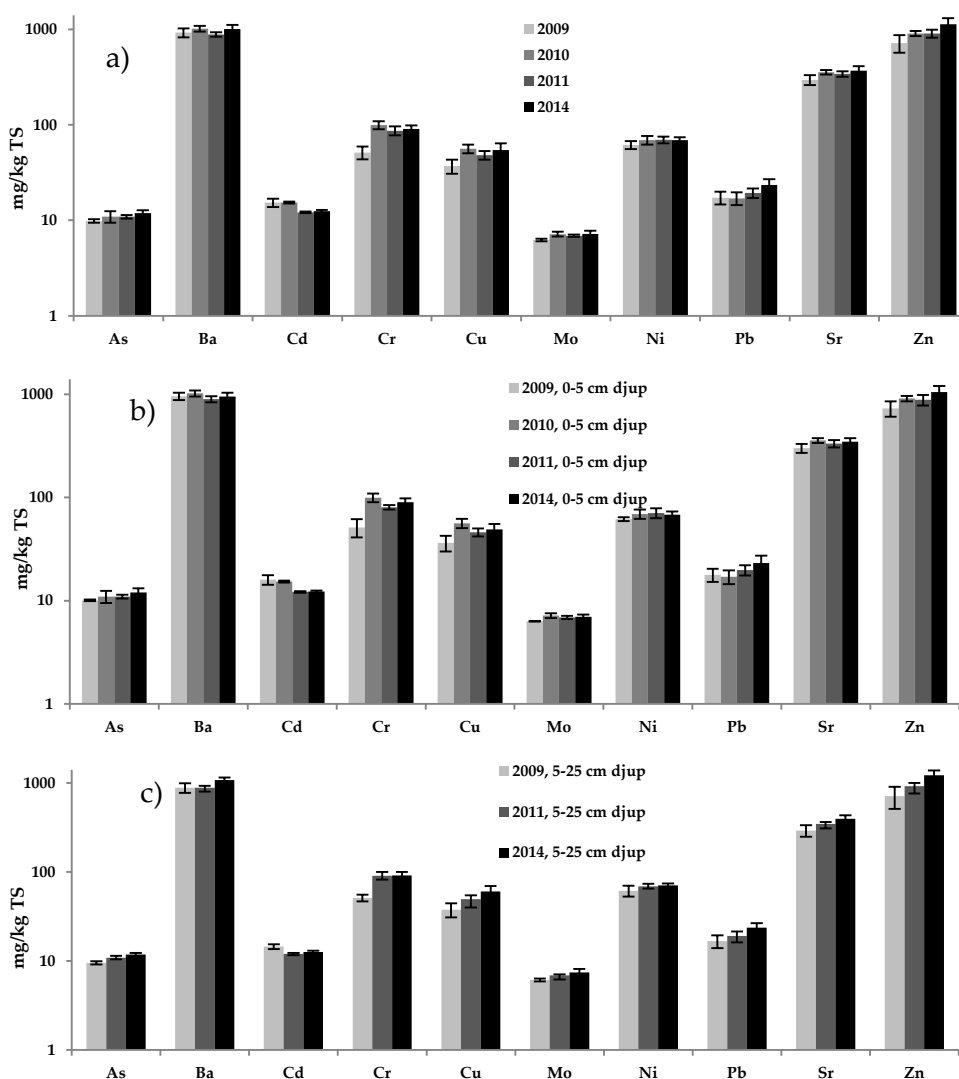


Figur 4. Koncentration av grundämnen i ask/moränlagret, analyserat på partiklar < 2 mm. Medelvärden  $\pm$  std för samtliga prov från varje provtagningsår samt uppdelat i 0-5 cm respektive 5-25 cm djup (2009, n=12; 2010, n=3; 2011, n=11; 2014, n=9).

Figure 4 The concentration of elements in ash/moraine layer, analyzed on the particles <2 mm. Mean  $\pm$  SD for all samples from each sampling year and divided into 0-5 cm and 5-25 cm depth (2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011 n = 11; 2014; n = 9).



Koncentrationen för grundämnen i ask-moränlagret som uppmättes 2014 visas i bilaga 1. Koncentrationsmedelvärdena för samtliga spårelement har ökat under perioden, både sett till hela ask/moränlagrets mäktighet och för olika djupa skikt med undantag för kadmium (Figur 5a, b, c) och för barium i den övre delen av ask/moränlagret (Figur 5a).

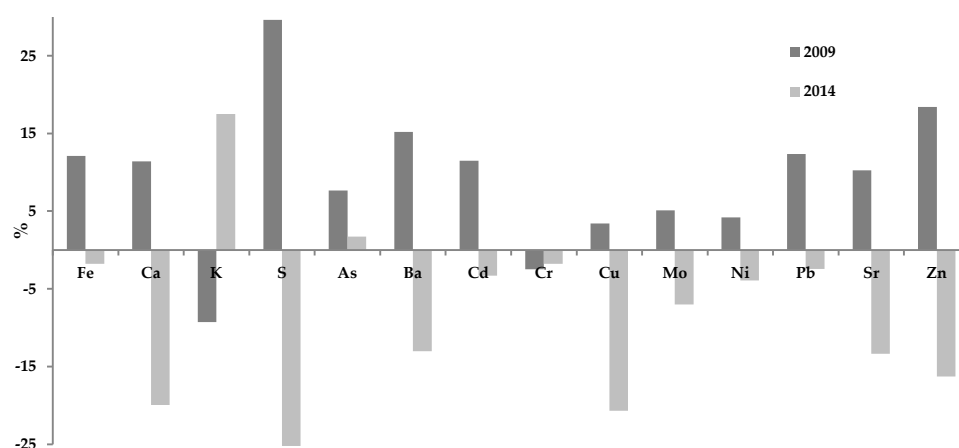


Figur 5. Koncentration av spårämnen i ask/moränlagret, analyserat på partiklar < 2 mm. Medelvärden  $\pm$  std för samtliga prov från varje provtagningsår samt uppdelat i 0-5 cm respektive 5-25 cm djup (2009, n=12; 2010, n=3; 2011, n=11; 2014, n=9).

Figure 5 Concentration of trace elements in ash/moraine layer, analyzed on the particles <2 mm. Mean  $\pm$  SD for all samples from each sampling year and divided into 0-5 cm and 5-25 cm depth (2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011 n = 11; 2014; n = 9).

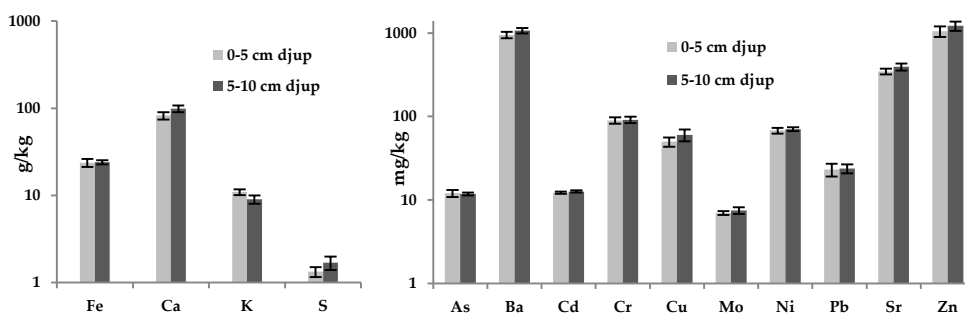
Förändringen av grundämnenas koncentration i vertikalled mellan åren 2009 och 2014 finns åskådliggjord i Figur 5. Vid den första provtagningen hösten 2009, ca 5 månader efter det att vägen uppgraderats, var koncentrationen av flertalet analyserade grundämnen högre i det övre skiktet (0-5 cm) av ask/moränlagret jämfört med 5-10 cm ner. Endast kalium och krom hade lägre koncentrationer i det övre skiktet (Figur 6). Fem år senare, 2014 har det skett en förändring och det var högre koncentrationer av

majoriteten av analyserade grundämnen i den nedre delen av ask/moränlagret (Figur 6 och 7), kalium och krom undantaget ( $p < 0,05$ ). Kaliumsalter har hög löslighet och lakas ut ur askan i snabb takt. Kvar blir kalium bundet i silikater i moränen. För järn, arsenik, krom, molybden, nickel och bly finns det inte någon signifikant skillnad. (Figur 7). Den största procentuella koncentrationsskillnaden mellan den övre och nedre delen av lagret har uppmätts för sulfatsvavel med 27 % följt av koppar på 21 % och kalcium på 20 %. Arsenik, järn och krom uppvisar mindre än 2 % skillnad i medeltal.



Figur 6. Koncentrationsskillnader av grundämnen i ask/moränlagret, analyserat på partiklar < 2 mm, mellan två olika nivåer; 0-5 cm djup och 5-10 cm djup; 5 månader (2009, n=6) respektive fem år efter det att vägen uppgraderats (2014, n=9). Positiva värden innebär högre koncentrationer på nivån 0-5 cm från ask/moränlagrets yta jämfört med nivån för lagrets underkant.

Figure 6 Differences in concentration of elements analyzed on the particles <2 mm between two different depths; 0-5 cm depth and 5-10 cm depth; 5 month (2009, n=6) and 5 years after upgrading (2014, n=9). Positive values mean higher concentrations in 0-5 cm layer compared to the 5-10 cm layer.



Figur 7. Koncentration av grundämnen i ask/moränlagret 2014, analyserat på partiklar < 2 mm, vid två olika nivåer; 0-5 cm djup och 5-10 cm djup, (medel  $\pm$  std, n=9).

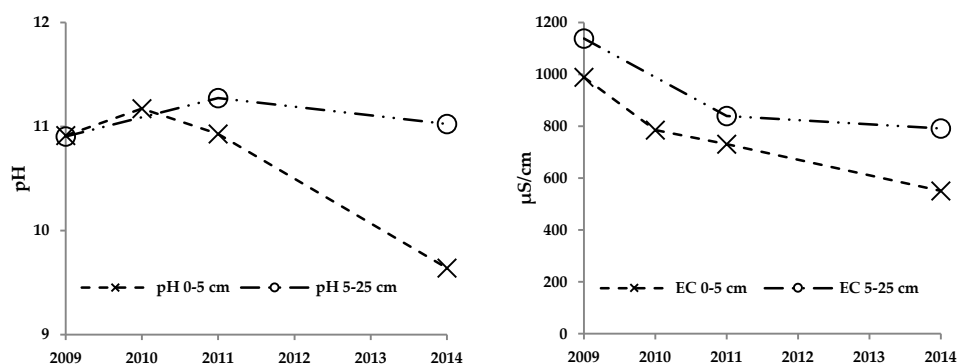
Figure 7 The concentration of elements in ash/moraine layer 2014, analyzed on the particles <2 mm at depths 0-5 cm and 5-10 cm. (mean  $\pm$  SD; n = 9).

Analys av totalhalterna av grundämnen i ask/moränlagret ger information om hur den kemiska sammansättningen av materialet har förändrats hittills, vilka ämnen som varit

mobila och lätt lakats ut ur vägmaterialet och tvärt om. Resultaten indikerar att sammansättningen förändras med tiden som en effekt av infiltration av vatten i ask/moränlagret. Koncentrationen av t.ex. kalium, kalcium och sulfatsvavel som ingår i lättlösliga salter minskar med tiden och då snabbare i det övre skiktet i ask/moränblandningen. Utlakningshastigheten tenderar emellertid att plana ut efter något år. Analyser av markvatten vid sidan om vägen som gjorts vid tre tidpunkter efter att vägen uppgraderats tyder också på att utlakningen är relativt initial och avklingar relativt snabbt, och var tre år efter att vägen uppgraderats i paritet med koncentrationer i markvatten provtaget längs med referenssträcka 3 [13]. Eftersom dessa ämnen från början fanns i relativt höga koncentrationer i ask/moränlagret och nu reducerats med upp till 50 % så resulterar det i att koncentrationen av mindre rörliga ämnen såsom oxiderat järn och många spårämnen i stället ökat. Ökningen är relativ eftersom inte något nytt material har tillförts vägen under den aktuella perioden. Järn- och mangan(hydr)oxider som finns i flygaska fastlägger spårelement på ett effektivt sätt vilket gör att lösligheten av dessa ämnen hålls tillbaka [21]. Puzzolana egenskaper i ask/moränblandningen såsom utfällning av kalciumkarbonater i porvattnet reducerar mobiliteten hos många spårmetaller [4, 12] då dessa medfälls tillsammans med karbonater och inkorporeras i deras mineralstrukturer. Dessutom medför portätningen en minskad kontakt mellan fast material och rörligt vatten.

### 3.2 VÄGMATERIALETS LAKBARHET

Både pH-värdet och den elektriska konduktiviteten har minskat i ask/moränlagret under de fem år som gått sedan uppgraderingen (Figur 8). I det övre skiktet är förändringen mer markant och där har pH sjunkit från 11,0 till 9,6. Medelvärde för den elektriska konduktiviteten (övre och nedre skikt sammantaget) har sjunkit från 1056 till 671  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Det motsvarar en ungefärlig förändring i natriumkloridkoncentration från 540 till 340 mg/liter.

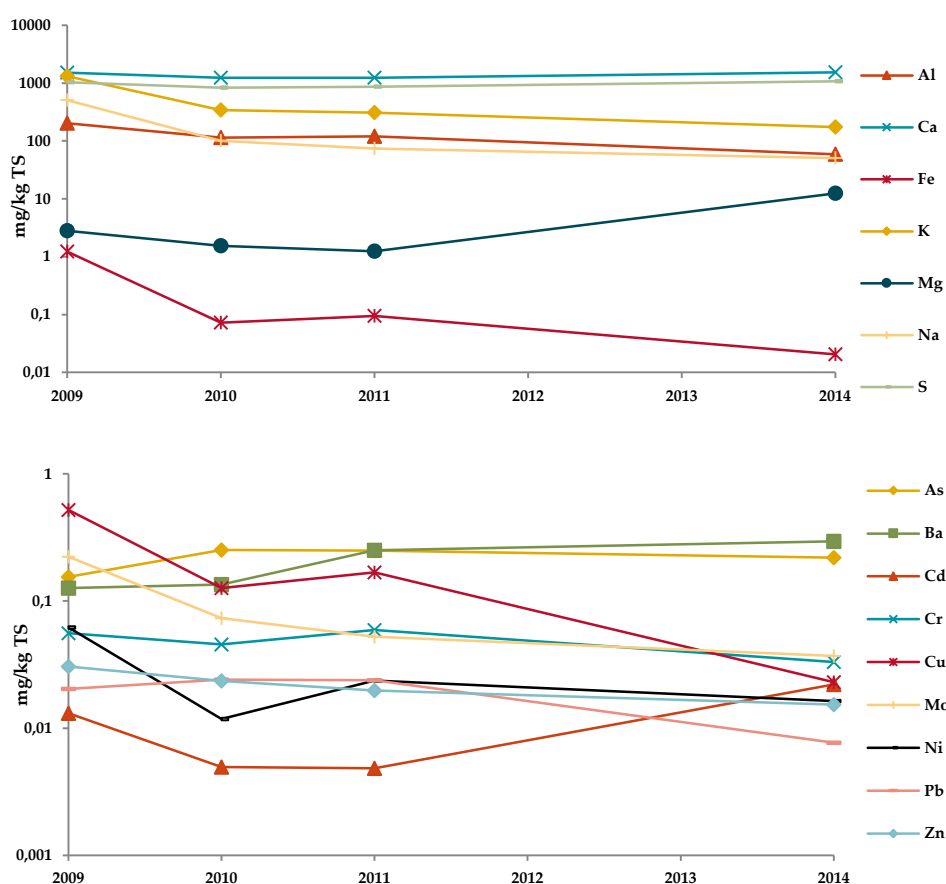


Figur 8. pH och elektrisk konduktivitet i lakvatten (L/S 10) från vägprover med partikelstorlek < 2 mm, samt vid övre respektive nedre delen av ask/moränlagret (Medelvärde, 2009, n=12; 2010, n=3; 2011, n=11; 2014, n=9).

Figure 8 pH and electrical conductivity of the leachate (L/S 10) from road samples with particle size <2 mm, and at two depths of the ash/moraine layer (Mean, 2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011; n = 11; 2014; n = 9).

Laktesterna visar vilken lakningspotential som finns kvar i det ask/moränlager som ligger i vägen. Trenden, sett över hela kontrollperioden, är att utlakningen av aluminium, järn, kalium och natrium minskar med tiden. Däremot ökar utlakningen av

framför allt magnesium men även i någon mån kalcium och sulfatsvavel (Figur 9). Koncentrationen av kalcium och sulfatsvavel dominerar i lakvattnet. Av spårelementen har arsenik en högre utlakning både ett och två år efter att vägen uppgraderats jämfört med analysresultat från 2009, men fem år efter att vägen uppgraderats har halten sjunkit något. Utlakningen av barium ser ut att öka över tiden medan kadmiumutlakningen sjönk under de två första åren för att sedan stiga något vid mätningen 2014. Men eftersom utlakningen av spårämnen är relativt låg från ask/moränlagret innebär det att flera analyserade spårämnen ligger under detektionsgränsen för den använda tekniken. För dessa ämnen har detektionsgränsen redovisats som resultat.

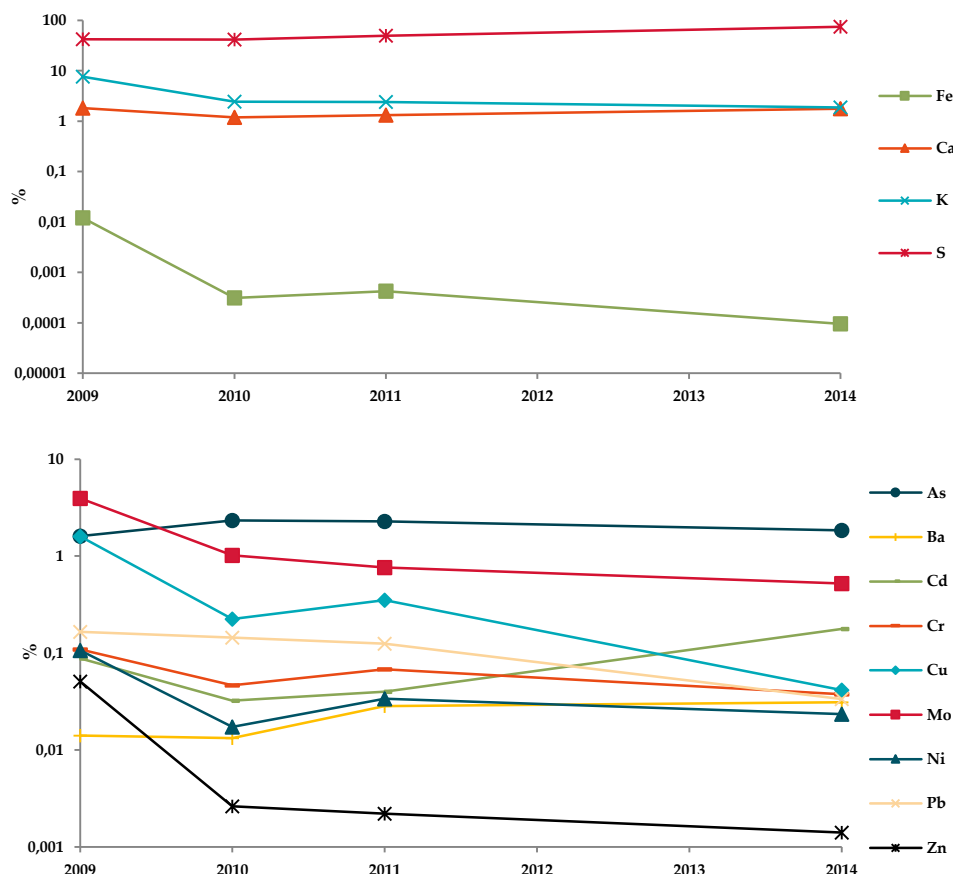


Figur 9. Utlakning (L/S 10) av grundämnena från fasta prover med partikelstorlek < 2 mm tagna från ask/moränlagret. Medelvärden av samtliga prov från varje provtagningsår (2009, n=12; 2010, n=3; 2011, n=11; 2014, n=9).

Figure 9 Leaching (L/S 10) of elements from solid samples with particle size <2 mm taken from the ash/moraine layer. Average values of all samples from each sampling year (2009, n = 12; 2010, n = 3; 2011 n = 11; 2014; n = 9).

När utlakningen av ämnen sätts i relation till koncentrationerna i det fasta materialet så är trenden sett över hela kontrollperioden densamma som för den absoluta utlakningen, dvs. utlakningen av järn och kalium avtar, medan den ökar något för sulfatsvavel (Figur 10). Kalciumutlakningen ligger relativt konstant. För spårelementen

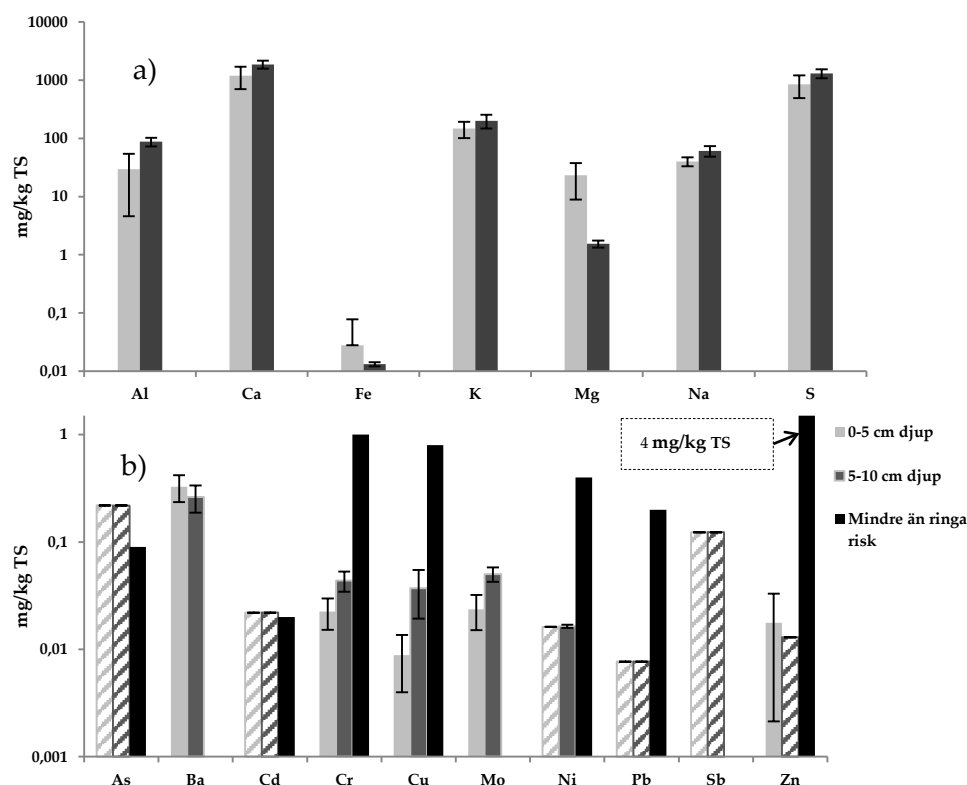
ökar den för barium och kadmium, men är i stort sett konstant eller minskar för övriga ämnen. Zink är det spårämne som har den absolut lägsta relativa utlakningen vilket också avspeglas i den tydliga ökningen av totalhalten i materialet (Figur 5).



Figur 10. Procentuell utlakning (L/S 10) av grundämnen av totala koncentrationer i fasta prover med partikelstorlek < 2 mm tagna från ask/moränlagret. Medelvärden av samtliga prov från varje provtagningsår (2009, n=12; 2010, n=3; 2011, n=11; 2014, n=9).

Figure 10 Percental leaching (L/S 10) of elements, particle size <2 mm, taken from the ash/moraine layer. (2009, n=12; 2010, n=3; 2011, n=11; 2014, n=9).

Vid en jämförelse av utlakningen från det övre (0-5 cm) respektive nedre skiktet (5-10 cm) av ask/moränlagret, från prover tagna 2014, 5 år efter uppgradering, så uppvisar magnesium och barium något högre utlakning från det övre skiktet, medan aluminium, kalcium, natrium, krom, koppar och molybden visar på en lägre utlakning från det övre skiktet (Figur 11 a och b). För övriga element går det inte att påvisa någon signifikant skillnad ( $p > 0,05$ ) mellan övre och nedre lagren.



Figur 11. Utlakning av grundämnen vid L/S 10 från ask/moränlagret med partikelstorlek < 2 mm uttagna vid två olika nivåer; 0-5 cm djup och 5-10 cm djup, (medel  $\pm$  std,  $n=9$ ). Koncentrationerna jämförs med riktvärden *mindre än ringa risk* för återvinning av avfall i anläggningsarbete [22]. Streckade staplar markerar koncentrationer under detektionsgränsen.

Figure 11 Leaching (L/S 10) of elements from solid samples with particle size <2 mm (depth 0-5 cm and 5-10 cm), (mean  $\pm$  SD;  $n = 9$ ). Concentrations are compared to the Environmental Protection Agency's guideline values for recycling of waste in constructions. Crosshatched bars denotes values below detection limits.

En faktor som gör att den kemiska sammansättningen i ask/moränlagret förändras med tiden är infiltration av vatten i väggkroppen. Vattnet som infiltrerar är på grund av luftföroreningar något surt med ett pH mellan 4 och 5. Primärt så löser vattnet upp lättlösliga salter, men på längre sikt påverkas även ask/moränlagrets buffrande förmåga. En annan faktor som påverkar den kemiska sammansättningen är utvecklingen av de puzzolana egenskaperna i ask/moränmaterialet genom härdnings- och karbonatiseringsreaktioner.

Utlakningen av lättlakade saltbildare, så som klorider av kalium och natrium, tenderar att avklinga relativt snabbt och därmed avtar totalinnehållet av dessa ämnen. Däremot uppvisar magnesium och sulfatsvavel en ökad utlakning med tiden uttryckt i absoluta koncentrationer, sulfatsvavel även i relation till innehållet i de fasta proverna. I den färsk flygaskan föreligger många grundämnen som oxider, bland andra magnesium och kalcium. Vid kontakt med vatten reagerar oxiderna och bildar hydroxider vilka har mycket högre löslighet än oxiderna. Lösligheten för både kalcium- och magnesiumhydroxid ökar med sjunkande pH. Sedan vägen uppgraderades har pH i ask/moränlagrets övre del sjunkit från 11,0 till 9,6 vilket kan förklara att kalcium- och magnesiumutlakningen ökat med tiden, och då främst i det övre skiktet. Men så länge

karbonatmineraler finns närvarande kommer pH i vägen inte att sjunka under neutrala förhållanden. Utlakningen av spårelement från ask/moränmaterialet är mycket låg, för de flesta ämnen ligger den under 1 % av totalinnehållet, och kan inte ses som någon risk för miljön.

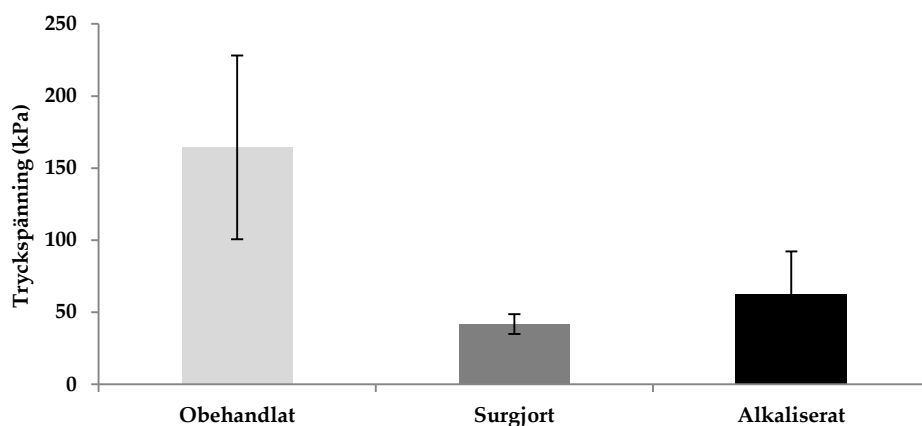
Jämfört med Naturvårdsverkets riktvärden för återvinning av avfall i anläggningsarbete [22] så ligger koncentrationerna för alla ämnen, arsenik undantaget, med god marginal under riktvärdena, se figur 11b. För arsenik går det inte att göra en korrekt bedömning eftersom riktvärdet ligger lägre än detektionsgränsen för den använda analystekniken.

### 3.3 VÄGMATERIALETS HÅLLFASTHET

För kontroll av vägmaterialets hållfasthet så hade ostörda prover varit att föredra. Det var dock inte möjligt att ta ut ostörda prover från vägen eftersom materialet inte höll ihop tillräckligt bra. De materialprov som togs från provsträckan packades till sammanhängande provkroppar och provtrycktes som planerat i enaxliga tryckförsök. Proverna från referenssträckan gick inte att packa och därmed inte provtrycka. Detta berodde mest troligt på att andelen finpartikulärt material, såsom lera och silt, i referensprovet var för låg.

Innan det alkaliserade materialet packades till provkroppar härdades det i sex veckor i en koldioxidatmosfär. Karbonatisering, vilket bidrar till ökad hållfasthet, sker snabbare i löst material eftersom koldioxiden lättare kommer i kontakt med reaktiva ytor. Men de puzzolana egenskaperna har inte hunnit bli fullt utvecklade då härdningstiden var för kort.

Tryckförsöken visade att när vägmaterialet utsattes för syra sjönk hållfastheten med 75 % jämfört med obehandlat material (Figur 12). Surgörningen gör att bland annat att karbonatmineraler löses upp, vilket kan påverka materialets hållfasthet. Försöket med att alkalisera materialet efter surgörning resulterade i en 50 %-ig ökning av hållfastheten jämfört med det surgjorda materialet, dock ej signifikant ( $p > 0,05$ ), men fortfarande långt under det obehandlade materialets hållfasthet.



Figur 12. Tryckspänning vid enaxliga tryckförsök på obehandlat, surgjort samt alkaliserat material från ask/moränlagret (medel ± std, n=3).

Figure 12 Axial compression tests on untreated, acidified and alkalized material from the ash/moraine layer (mean ± SD, n = 3).

Surgörning ner till pH 4 valdes för att säkerställa att en tydlig effekt skulle uppnås av behandlingen. En betydligt mindre pH-sänkning hade varit mer realistisk om syftet hade varit att efterlikna naturliga förhållanden. Då hade det dock inte varit säkert att någon tydlig effekt i materialet hade kunnat påvisas. En utökning av försöket med fler mätpunkter i pH-intervallet från obehandlat material och ner till pH 4 samt utökad hårdning av provkroppar under en längre tid innan provtryckning skulle kunna ge ytterligare information om materialets hållfastegenskaper.

Inför surgörningen uppmättes den syraneutraliserande kapaciteten (ANC) [18] hos ask/moränlagret till  $1\,100 \pm 335$  mmol/kg TS och hos referenssträckans material till  $73 \pm 52$  mmol/kg TS. För att upprätthålla pH 4 under ca 2 veckors tid så förbrukade materialet mer än den dubbla mängden syra vilket tyder på att det finns en betydande mängd syraneutraliserande kapacitet kvar i ask/moränlagret som inte nyttjats.

Vattenkvot och torrdensitet beräknades för samtliga provkroppar (Tabell 1). Uttagna materialprov från vägen räckte inte för att bestämma optimal vattenkvot inför packning och provtryckning. Provernas vattenkvot vid provtryckningen var därför provens rådande vattenkvot efter surgörning respektive alkalisering. Det obehandlade vägmaterialets vattenkvot var 39 % och torrdensiteten  $1,20 \text{ kg/dm}^3$  vilket skiljer betydligt från de värden som bestämdes vid laboriepackningar inför vägens uppgradering – optimal vattenkvot för maximal packning 25 % respektive torrdensitet  $1,48 \text{ kg/dm}^3$  [15]. En lägre vattenkvot och därmed också en högre torrdensitet skulle kunna ge en högre hållfasthet eftersom en vattenkvot som överskrider den optimala vattenkvoten försämrar de kohesionskrafter som binder ihop materialet. Det surgjorda materialet hade den högsta torrdensiteten och därmed den tätaste packningen, trots det så hade det surgjorda materialet den sämsta hållfastheten vilket tyder på att askans egenskaper i det obehandlade materialet förbättrar hållfastheten.

Tabell 1 Vattenkvot och torrdensitet på obehandlat, surgjort samt alkaliserat-härdat material från ask/moränlagret efter inpackning inför tryckförsök (medel $\pm$ std, n=3).

Table 1 Water content and dry density of untreated, acidified and alkalized-hardened material from the ash/moraine layer after packing ahead of compression tests (mean  $\pm$  SD, n = 3).

| Material                | Vattenkvot (%) | Torrdensitet ( $\text{kg/dm}^3$ ) |
|-------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Obehandlat              | $39 \pm 6$     | $1,20 \pm 0,15$                   |
| Surgjort                | $23 \pm 10$    | $1,65 \pm 0,15$                   |
| Alkaliserat-regenererat | $28 \pm 4$     | $1,50 \pm 0,09$                   |

Hållfasthetsförsöket på de uppgrävda proverna från ask/moränlagret visade att surt vatten med pH 4 påverkar hållfastheten i materialet markant. Men som laborieanalysen visade så är den syraneutraliserande kapaciteten i vägen så pass hög att det kommer att ta betydligt mer än 30 år, kanske närmare 1000 år, för att pH i ask/moränlagret ska sjunka till pH 4. Däremot så kan vägens bärighet påverkas långt innan pH 4 uppnås. Den sura nederbörden löser upp karbonatmineraler vilket på sikt kan försämma vägens bärighet. En behandling av vägen med t.ex. natriumhydroxid förhindrar upplösningen av karbonater och skulle på sikt kunna förbättrade bärigheten i vägen.



### 3.4 VÄGENS INFILTRATIONSKAPACITET

Båda sträckorna som mättes har mindre infiltrationskapacitet i hjulspåren än i vägmitten vilket tyder på att trafiken har packat sträckorna (Tabell 2). Liksom vid mätningen 2011 hade provsträckan betydligt mindre infiltrationskapacitet än referenssträckan.

Tabell 2 Infiltrationskapacitet i vägytan vid mätning i juni 2011 och juni 2015.  
Table 2 Infiltration capacity measured in June 2011 and June 2015.

| År   | Prov 2 vägmitt | Prov 2 hjulspår | Ref. 2 vägmitt | Ref. 2 hjulspår |
|------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 2011 | 47 mm/h        | 12 mm/h         | 83 mm/h        | 79 mm/h         |
| 2015 | 18 mm/h        | 4 mm/h          | 67 mm/h        | 39 mm/h         |

Mellan åren 2011 och 2015 har infiltrationskapaciteten minskat för de båda undersökta sträckorna. I provsträcka 2 kvarstår den relativa skillnaden mellan uppmätta värden i vägmitt och hjulspår, men i referenssträcka 2 har infiltrationskapaciteten minskat mer i hjulspåret än i vägmitten (Tabell 2).

Karbonatiseringsreaktioner i ask/moränlagret påverkar infiltrationskapaciteten i den uppgraderade vägen. Luftens koldioxid löser sig i porvattnet och bildar utfällningar av karbonater, vanligtvis kalciumkarbonat, vilka i sin tur reducerar porstorleken i ask/moränlagret och minskar infiltrationskapaciteten. Den lägre infiltrationskapaciteten år 2015 är därför ett resultat både av karbonatiseringsreaktioner och trafikbelastningen.

### 3.5 VÄGENS BÄRIGHETSUTVECKLING

Liksom tidigare resulterade fallviktsmätningarna hösten 2014 och våren 2015 i stora deflektioner, flera millimeter, på samtliga sträckor, vilket betyder att ytan är mjuk och bärigheten låg. Den beräknade ytmodulen varierade mellan 35 och 117 MPa beroende på sträcka och mättillfälle (Tabell 3).

Tabell 3 Bärighet för de sex sträckorna, uttryckt som styvhet (ytmodul) utvärderad från fallviktsmätning.  
Table 3 Stiffness for the sections as average surface modulus.

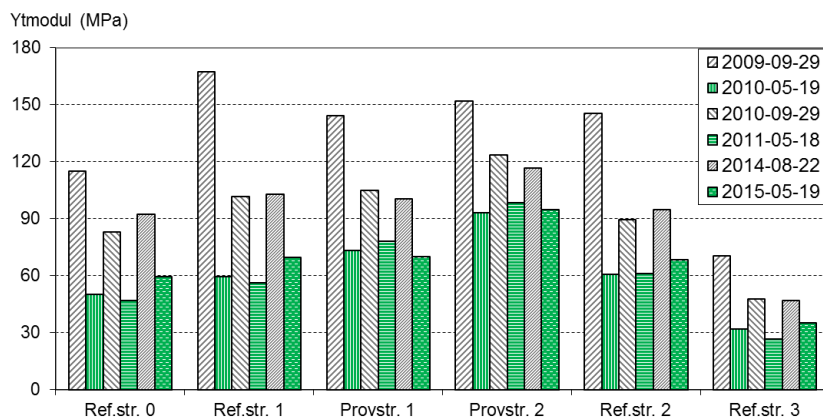
| Sträcka           | Ytmodul (MPa) |          |
|-------------------|---------------|----------|
|                   | augusti 2014  | maj 2015 |
| Referenssträcka 0 | 92            | 59       |
| Referenssträcka 1 | 103           | 70       |
| Provsträcka 1     | 100           | 70       |
| Provsträcka 2     | 117           | 95       |
| Referenssträcka 2 | 95            | 68       |
| Referenssträcka 3 | 47            | 35       |

Generellt sett visar alla fallviktsresultaten att vägen har låg bärighet och att lägst värden har uppmätts vid vårmätningarna (Figur 13). Det var förväntat eftersom de mätningarna gjordes vid tjällossningen för att verkligen visa de värsta förhållandena i vägen, med mjuk vägyta och högt vatteninnehåll.

Sämst värden har de båda referenssträckorna (0 och 3) som bara utsattes för dikning och hyvling och sämst av dessa är referenssträcka 3. Dessa båda referenssträckor skiljer sig på flera sätt ifrån varandra. Referenssträcka 3 ligger i en svacka invid en myr. Sträckan är kort (100 m) och har liten variation i styvhetsvärden i längdled.

Referenssträcka 0 är betydligt längre (400 m) och har mycket varierande styvhetsvärden. Studerar man enskilda mätvärden framgår det att de första 150 m av referenssträcka 0 har betydligt högre bärighet än resten av sträckan, i medeltal 68 % högre. Denna del av sträckan ligger närmast den större väg som leder in i området och är därför mer trafikerad än övriga sträckor på provvägen. Förutom ovan nämnda skillnader förekommer sannolikt skillnader i undergrunden längs provvägen.

De två askstabiliserade sträckorna har ungefär samma säsongsvariation, men provsträcka 2 med tjockare asklager (större inblandningsdjup och dubbel mängd aska) har haft störst styvhet vid alla mätningar (Figur 13). Dessutom är styvhetsminskningen vid tjällossning mindre i provsträcka 2, vilket tyder på att tjockare asklager är gynnsamt.



Figur 13. Översikt av bärigheten uttryckt som styvhet (ytmodul) för de sex sträckorna vid samtliga sex mättillfällen. Ytmodulerna är utvärderade från fallviktsmätningar. Medelvärde av 41, 33, 21, 27, 16 och 11 belastningspunkter beroende på sträcka. Sträckornas uppbyggnad framgår av Figur 2.

Figure 13 Stiffness presented as average surface modulus. Values are obtained from falling weight deflectometer measurements for both reference and test sections.

Man kan dra slutsatsen att hydratisering av askan leder till en styvhetsökning i bärlagret och detta halvstyva skikt, beläget ca 7 cm under vägytan, begränsar de vertikala deformationerna som orsakas av belastningen på vägytan. Hydratiseringen gör också vägen mer impermeabel. Det minskar vattenmängden som tränger in från vägytan till de undre väglagren, vilket även framgår av infiltrationsmätningarna.

Om man jämför mätningarna som gjorts 1, 2 och 6 år efter uppgraderingen visar de att det är störst skillnad mellan provsträckor och referenssträckor vid vårmätningarna (Tabell 4).

Tabell 4 Bärighetsutveckling för provsträckorna. Jämförelse mellan de två provsträckorna och jämförelse med referenssträcka 1. Ytmodulerna är utvärderade från fallviktsmätningar. Sträckornas uppbyggnad framgår av Figur 2.

Table 4 Comparison in stiffness between the test sections and reference section 1.

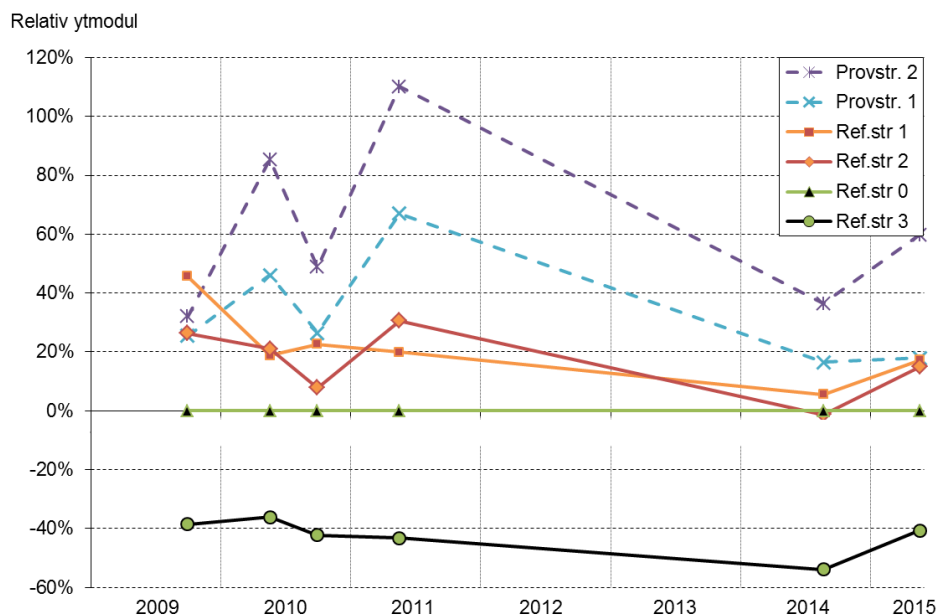
| Mätdatum   | Kvot mellan ytmoduler<br>Prov 2/Prov 1<br>(%) | Kvot mellan ytmoduler<br>Prov 1/Ref 1<br>(%) | Kvot mellan ytmoduler<br>Prov 2/Ref 1<br>(%) |
|------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 2009-09-29 | 106                                           | 86                                           | 90                                           |
| 2010-05-19 | 127                                           | 122                                          | 155                                          |
| 2010-09-29 | 118                                           | 103                                          | 122                                          |
| 2011-05-18 | 126                                           | 139                                          | 175                                          |
| 2014-08-22 | 117                                           | 97                                           | 114                                          |
| 2015-05-19 | 136                                           | 100                                          | 136                                          |

Vid provbelastning med fallviktsapparat och utvärdering av fallviktsresultat kan en del osäkerhetskällor förekomma. Dessa har undvikits så långt som möjligt vid samtliga mätningar. Samma utrustning har använts vid måttillfällena och utvärderingen har gjorts med hjälp av samma lagermodell och samma lagertjocklekar. Alla mätningar har utförts enligt Trafikverkets metodbeskrivning [19], till exempel har hänsyn tagits till lastens reella storlek och till temperaturen vid måttillfället. Om mätning görs på mycket styva material blir deflektionerna mycket små och mätresultatet osäkert. Detta kan vara aktuellt för undergrunden i denna väg. Mätningarna har utförts vid olika tid på året (höst och vår), och skillnader kan dessutom förekomma mellan åren när det gäller temperatur eller vattentillgång i undergrunden. Det förekommer sannolikt stora variationer i övriga lagers egenskaper, till exempel i undergrunden.

### 3.6 LÅNGTIDSPROGNOSE – OMHÄNDERTAGANDE

Den studerade skogsbilvägen är relativt enkelt konstruerad med ett tunt bärlager direkt vilande på en finkornig, siltig morän. Förstärkningslager saknas i konstruktionen. Vägen är dränerad genom öppna diken som i allmänhet når ca 20-30 cm under terrassytan, och under perioder med snösmältning eller hög nederbörd har undergrunden hög vattenhalt. Konstruktionen innebär att vägens bärighet generellt är låg och vägen kan förväntas deformeras successivt vid trafiklast, särskilt av tunga timmertransporter. Vägens bärighet visar, på alla sträckor, påtagliga säsongvariationer med lägst värden under tjällossningsperioden med hög vattenkvot i vägen.

En jämförelse av de olika sträckornas bärighetsförändring gentemot den icke uppgraderade referenssträckan (referenssträcka 0 – endast hyvlat och dikad) visar, med undantag av referenssträcka 3, att uppgraderingen initialt innebar att bärigheten höjdes med ca 30-50 % (Figur 14). Efter styvhetstillväxt under en vinter blev dock provsträckorna med aska betydligt bättre än övriga sträckor. Vi kan notera att de konventionellt uppgraderade referenssträckorna 1 och 2 efter 5 år endast har något förhöjd bärighet jämfört med den icke uppgraderade sträckan (referenssträcka 0). Allmänt blir intrycket att den konventionella uppgraderingen avklingar relativt snabbt och efter sex år återstår endast ca 10 % förbättring, medan provsträcka 2, med ca 30 cm djup askinblandning, fortfarande har ca 50 % förbättrad bärighet. För provsträcka 1, med mindre mängd aska och grundare inblandningsdjup, kvarstår ca 15 % förbättring av bärigheten under hösten, medan tjällossningsbärigheten efter sex år är densamma som för de konventionellt uppgraderade sträckorna.



Figur 14. Relativ förändring av bärigheten i förhållande till referenssträcka 0. Uttryckt som ytmodul utvärderad från fallviktsmätning.

Figure 14 Stiffness for all sections presented in relation to reference section 0. Stiffness values are presented as average surface modulus obtained from falling weight deflectometer measurements.

När vägen ska restaureras är det lämpligt att ask/moränlagret återanvänds – antingen i befintlig väg eller vid en annan vägbyggnation dels på grund av att utlakningen av metaller och salter i ask/moränmaterialet är lågt, lägre än Naturvårdsverkets riktlinjer för återvinning av avfall i anläggningsarbeten [22], men även för att askan har en så pass hög syraneutraliserande kapacitet och reaktivitet som inte nyttjats fullt ut i befintlig väg. När ask/moränlagret fräses om uppstår nya kontaktytor i askmaterialet där puzzolana egenskaper återigen kan utvecklas och bidra till ökad hållfasthet. En behandling av vägen med en alkalisk lösning bibehåller ett högt pH i vägen och förhindrar upplösning av bildade karbonatmineraler. En pH-sänkning i vägen skulle kunna öka risken för utlakningen av vissa metaller så som zink vilken har en betydligt större mobilitet vid låga pH-värden.

Eftersom askmaterialet enbart har en initial utlakning av metaller och salter är det även möjligt att låta det ligga kvar och eventuellt låta vegetationen återetableras med tiden. Eventuellt kan dock vattentillgången i materialet vara begränsande för växtligheten eftersom permeabiliteten är låg.

## 4 Slutsatser

Genom att blanda befintligt bärlager av morän med bioflygaska, utan några andra bindemedel, har en påtaglig förbättring av vägens funktion uppnåtts.

Ingen negativ miljöpåverkan har kunnat påvisas förutom en initial utlakning av lättlösliga salter.

Sex år efter vägens uppgradering kvarstår en påtaglig styvhetsökning hos sträckan med tjockare ask/moränlager. Resultatet av den konventionella uppgraderingen är att styvhetsökningen avklingar och efter sex år återstår bara ca 10 % ökad styvhet, medan provsträcka 2 med ca 30 cm ask/moränlager har ca 50 % bättre styvhet än de icke uppgraderade sträckorna.

Hydratisering av flygaskan ger både styvhetsökning och minskad vatteninfiltration i det stabiliserade lagret.

Den syraneutraliserande förmågan hos ask/moränlagret är hög samtidigt som utlakningen av miljöstörande ämnen är låg vilket gör det möjligt att återanvända materialet vid restaurering av befintlig väg eller vid annan vägbyggnation

En behandling av vägmaterialet med en alkalisk lösning kan förlänga vägens livslängd eftersom det förhindrar upplösning av bildade karbonatmineraler som bidrar till vägens hållfasthet. Eftersom en stor del av tillsatt flygaska finns kvar i form av klumpar som inte reagerat tillfullo kan det också vara möjligt att aktivera denna potential genom en ny fräsning av vägen.

Eftersom utlakningen av metaller och salter är lägre än Naturvårdsverkets riktlinjer för återvinning av avfall i anläggningsarbeten kan ask/moränlagret ligga kvar i vägkroppen, och eventuellt återetableras med vegetation, efter att vägen har tjänat ut.

## 5 Litteraturreferenser

- [1] Mácsik J. Flygaska som förstärkningslager i väg. Värmeforsk Rapport 949, Stockholm, 2006
- [2] Mácsik J., Svedberg B. Skogsbilvägsrenovering av Ehnsjövägen, Hallstavik. Värmeforsk Rapport 968, Stockholm, 2006
- [3] Mácsik J., Erlandsson Å., Wexell B-A. Flygaska–Grönlutslamstabiliserad skogsbilväg – Fallstudie Iggesund. Värmeforsk Rapport 1101, Stockholm, 2009
- [4] Thurdin R.T., van Hees P.A.W., Bylund D., Lundström U.S. Bio fuel ash in a road construction: Impact on soil solution chemistry. *Journal of waste Management*, 26 (6): 599-613, 2006
- [5] Munde H., Svedberg B., Mácsik, J., Maijala A., Lahtinen P., Ekdahl P., Nerén J. Handbok. Flygaska i mark och vägbyggnad, Grusvägar. Statens geotekniska institut, SGI Information 18:4 / Luleå tekniska universitet LTU, 2006
- [6] Lahtinen P., Jyrävä H., Maijala A., Mácsik J. Flygaskor som bindemedel för stabilisering av grusmaterial. Värmeforsk Rapport 918, Stockholm, 2005
- [7] Lahtinen P., Maijala, A., Mácsik, J. Produkter baserade på blandningar av flygaska och fiberslam (fiberaskor) för vägbyggande. Värmeforsk Rapport 915, Stockholm, 2005
- [8] Mácsik J., Svedberg B., Lenströmer S., Nilsson T. FACE Flygaska i geotekniska anläggningar, Etapp 1: Inventering/Tillämplighet Värmeforsk Rapport 870, Stockholm, 2004
- [9] Svedberg B., Ekdahl P., Mácsik J., Maijala A., Lahtinen P., Hermansson Å., Knutsson S., Edeskär T. FUD – SALA Provsträcka med stabilisering av obundna lager. Värmeforsk Rapport 1055, Stockholm, 2008
- [10] Zhou H., Smith D.W., Sego D.C. Characterization and use of pulp mill fly ash and lime by-products as road construction amendments. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27 (3): 581-593, 2000
- [11] Mulder E. A mixture of fly ashes as road base construction material. *Waste Management*, 16 (1-3): 15-20, 1996
- [12] Taylor HFW. "Cement Chemistry", Second edition, Thomas Telford Publishing, London, Storbritannien, 1997
- [13] Nordmark D., Vestin J., Lagerkvist A., Lind B.B., Arm M., Hallgren P. Geochemical Behavior of a Gravel Road Upgraded with Wood Fly Ash. *Journal of Environmental Engineering*, 140 (10), 2014
- [14] Arm M., Vestin J., Lind B.B., Lagerkvist A., Nordmark D., Hallgren P. Pulp mill fly ash for stabilization of low-volume unpaved forest roads – field performance. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41(11): 955-963, 2014

- [15] Vestin, J., Arm, M., Nordmark, D., Hallgren, P., Tiberg, C., Lagerkvist, A. och Lind B. Effektivt askutnyttjande i vägar. Värmeforsk Rapport 1169, Stockholm, 2011
- [16] EN 12457-2, Characterisation of waste – Leaching – Compliers test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 2: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 4 mm (without or with size reduction). European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, 2002.
- [17] SS 27128, Geotekniska provningsmetoder - Skjuvhållfasthet - Enaxligt tryckförsök, UU-försök – Kohesionsjord. SIS Förlag AB, Stockholm, Svensk standard, 1992
- [18] CEN/TS 14997, Karaktärisering av avfall – Bestämning av lakegenskaper – pHs inverkan på utlakningen vid kontinuerlig pH-justering. European Committee for Standardization, Brussels, 2006
- [19] Trafikverket. TRVMB 112 – Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat. Publikation 2012:050 Trafikverket, Borlänge, 2012
- [20] Trafikverket. TRVMB 114 – Bearbetning av deflektionsdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat Publikation 2012:051, Trafikverket Borlänge, 2012
- [21] Sjöblom, R., Noläng, B. Betydelsen av fast löslighet i järn(hydr)oxider för fastläggning av potentiellt miljöstörande ämnen i askor. Värmeforsk Rapport 1198, Stockholm, 2011
- [22] Naturvårdsverket. Återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Handbok 2010:1, Naturvårdsverket, Stockholm, 2010

## Bilaga 1

Tabell 1 **Koncentration av grundämnen i ask/moränlagret 2014, analyserat på partiklar < 2 mm, vid två olika nivåer; 0-5 cm djup och 5-10 cm djup, (medel  $\pm$ std, n=9).**

| Djup      | 0-5 cm            | 5-10 cm           |
|-----------|-------------------|-------------------|
| Enhet     | mg/kg             | mg/kg             |
| Grundämne |                   |                   |
| Ag        | 8,00 $\pm$ 0,37   | 8,24 $\pm$ 17     |
| As        | 12,0 $\pm$ 1,6    | 11,8 $\pm$ 0,7    |
| Ba        | 948 $\pm$ 132     | 1070 $\pm$ 110    |
| Ca        | 82500 $\pm$ 12200 | 99000 $\pm$ 14000 |
| Cd        | 12,2 $\pm$ 0,6    | 12,6 $\pm$ 0,5    |
| Co        | 185 $\pm$ 18      | 193 $\pm$ 10      |
| Cr        | 89,8 $\pm$ 16,0   | 91,4 $\pm$ 19,6   |
| Cu        | 49,8 $\pm$ 17,7   | 60,1 $\pm$ 13,0   |
| Fe        | 23700 $\pm$ 3200  | 24100 $\pm$ 1800  |
| K         | 11000 $\pm$ 1300  | 9030 $\pm$ 1300   |
| Mn        | 4950 $\pm$ 830    | 5480 $\pm$ 750    |
| Mo        | 6,96 $\pm$ 0,62   | 7,45 $\pm$ 0,89   |
| Ni        | 67,9 $\pm$ 7,3    | 70,6 $\pm$ 5,1    |
| Pb        | 23,2 $\pm$ 5,9    | 23,8 $\pm$ 4,3    |
| S         | 1330 $\pm$ 470    | 1700 $\pm$ 600    |
| Sb        | 21,7 $\pm$ 0,9    | 22,3 $\pm$ 0,9    |
| Sn        | 18,8 $\pm$ 0,8    | 19,3 $\pm$ 0,7    |
| Sr        | 347 $\pm$ 37      | 393,8 $\pm$ 42,1  |
| Ti        | 873 $\pm$ 158     | 693 $\pm$ 221     |
| V         | 67,6 $\pm$ 8,5    | 67,8 $\pm$ 11,1   |
| W         | 94,3 $\pm$ 15,3   | 99,0 $\pm$ 8,3    |
| Zn        | 1050 $\pm$ 180    | 1220 $\pm$ 170    |
| Zr        | 117 $\pm$ 17      | 104 $\pm$ 22      |



Tabell 2 **Utlakning av grundämnen vid L/S 10 från ask/moränlagret med partikelstorlek < 2 mm uttagna vid två olika nivåer; 0-5 cm djup och 5-10 cm djup, (medel ± std, n=9).**

| Djup      | 0-5 cm        | 5-10 cm       |
|-----------|---------------|---------------|
| Enhet     | mg/kg         | mg/kg         |
| Grundämne |               |               |
| Al        | 29,4 ± 24,8   | 87,9 ± 14,7   |
| As        | <0,22         | <0,22         |
| Ba        | 0,326 ± 0,092 | 0,262 ± 0,074 |
| Ca        | 1200 ± 500    | 1870 ± 287    |
| Cd        | <0,022        | <0,022        |
| Co        | <0,006        | 0,007 ± 0,001 |
| Cr        | 0,023 ± 0,007 | 0,044 ± 0,009 |
| Cu        | 0,009 ± 0,005 | 0,037 ± 0,018 |
| Fe        | 0,028 ± 0,050 | 0,013 ± 0,001 |
| K         | 147 ± 46      | 201 ± 53      |
| Mg        | 23,2 ± 14,4   | 1,54 ± 0,21   |
| Mn        | 0,009 ± 0,004 | 0,004 ± 0,003 |
| Mo        | 0,024 ± 0,008 | 0,050 ± 0,008 |
| Na        | 40,3 ± 7,3    | 61,1 ± 12,7   |
| Ni        | <0,016        | 0,016 ± 0,001 |
| Pb        | <0,008        | <0,008        |
| S         | 850 ± 358     | 1310 ± 240    |
| Sb        | <0,123        | <0,123        |
| V         | 0,055 ± 0,010 | 0,082 ± 0,008 |
| Zn        | 0,018 ± 0,016 | <0,013        |
| Cl        | 17,2 ± 7,0    | 27,0 ± 10,3   |

# LÅNGTIDSUPPFÖLJNING AV GRUS- VÄG STABILISERAD MED BIOFLYGASKA

År 2009 uppgraderades en skogsbilväg med bioflygaska. Syftet var att undersöka om bioflygaska, utan andra tillsatser av bindemedel, kan användas för att stabilisera grusvägar. Resultatet visade att asksträckorna hade ett utläckage av salter till att börja med, men att läckaget var det samma från vägsträckor med aska som från referenssträckorna efter två år. Asksträckorna hade högre bärighet framför allt under tjällossningsperioderna.

Här redovisas resultaten av en uppföljande studie av samma grusväg, Sörkrångevägen. Målet har varit att undersöka vägens tekniska och miljömässiga egenskaper drygt fem år efter att den uppgraderades. Avsikten har också varit att göra en långtidsprognos för vägens tekniska egenskaper och att bedöma hur det askstabiliserade materialet kan tas om hand efter att vägen har tjänat ut.

Det visar sig att askstabiliseringen har en fortsatt positiv effekt på vägens bärighet. Det är också möjligt att återanvända materialet vid en restaurering av vägen. Initialt sker en liten påverkan genom utlakning av salt men en långvarig negativ miljöpåverkan har inte observerats efter askstabiliseringen av skogsbilvägen i Sörkrånge.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



Energiforsk