

# Magnetiserbarhet – Avgränsning och tillståndskartering för askkonstruktioner

Göran Blomqvist, Rebecca Bertilsson och Ola Wik



**Magnetiserbarhet – avgränsning och  
tillståndskartering för askkonstruktioner**

**Utvärdering av magnetiserbarhet som metod för  
att kontrollera askkonstruktioners tillstånd och  
avgränsning**

**Magnetic susceptibility for assessing ash  
constructions**

**Evaluating the potential of magnetic susceptibility  
as a method to assess state and delineation of ash  
constructions**

Göran Blomqvist, Rebecca Bertilsson och Ola Wik

Q9-755



**Abstract**

Ett 20-tal material har undersökts till sin magnetiserbarhet. Materialen sträcker sig över tre magnituder och askor har generellt högre magnetiserbarhet än de undersökta bergarterna, även om undantag finns. Vid de båda undersökta fältlokalerna gick det att avgränsa askkonstruktionens utbredning och även detektera platser där grusslitlagret var undermåligt. Det finns ett positivt samband mellan magnetiserbarheten hos ett material och dess innehåll av många föroreningar.



---

## Sammanfattning

Vägar och andra anläggningar byggda med askor erbjuder miljöfördelar i form av resurssnålare och i vissa fall effektivare konstruktioner än konventionella material. Men, förekomsten av miljöstörande ämnen i askor ger även upphov till risker om de kommer i kontakt med omgivningen. Projektet syftar till att undersöka om magnetiserbarhet kan användas för att bedöma askkonstruktioners tillstånd och avgränsning. Hypotesen är att askorna har en högre magnetiserbarhet än de material som täcker dem och att man genom att mäta magnetiserbarheten i en volym som innefattar såväl det överliggande materialet som askan, kan bedöma tillståndet (tjockleken eller uppblandningsgraden) hos materialen. Därför har ett 20-tal olika material slaggruser, flygaskor, grusslitlager och jordarter undersökts samt två fältlokaler karterats. Projektet är ett samarbete mellan VTI och SGI.

Resultaten visar att de båda i fält undersökta flygaskstabiliserade grusvägarna kunde detekteras till sin utbredning. De undersökta materialens magnetiserbarhet varierade över tre magnituders storlek. Slaggrusen hade de högsta värdena och grusslitlager och kvartssand de lägsta. Det fanns ett positivt samband mellan många föroreningar och ett materials magnetiserbarhet.

Metoden kunde bara testas på konstruktioner som var ytliga, då mätsensorn endast kunde penetrera ungefär en decimeter ner i materialet. Många askkonstruktioner, särskilt när det gäller slaggrusanvändning ligger på ett större djup, vilket skulle kräva andra sensorer.

Projektresultaten tyder på att metoden kan utvecklas till ett användbart verktyg för kontroll av nya askkonstruktioner, övervakning av askkonstruktioner i drift och detektering av askkonstruktioners utbredning. Men, det kräver att konstruktionerna är byggda så att askan håller högre magnetiserbarhet än vad de överlagrande materialen gör. Mer kunskap behövs om olika materials magnetiserbarhet och förändring i tid, samt andra mätsensorer än de som ingått i denna studie.



## Executive Summary

Roads and other constructions built with ash can be more effective than conventionally built roads. But since there also can be certain pollutants connected to ashes, using ashes in constructions can pose a threat to the environment if they are not contained within the construction. This project is aiming to investigate if magnetic susceptibility can be used in order to appraise the state of ash constructions. The hypothesis is that the ashes have higher magnetic susceptibilities than the material that is supposed to be on top of the ash. If so, it is suggested that, by measuring the magnetic susceptibility of a volume including both the overlying material and the ash, the state of the overlying material can be estimated (thickness and/or grade of mixture with the ash). Therefore some 20 different material were investigated and two field sites mapped.

The results showed that the two in the field investigated fly ash stabilized gravel roads could be delineated by the method. The magnetic susceptibilities of the materials investigated varied over three magnitudes, with bottom ash at the top values and some gravel and quartzite sand at the bottom values. There was also a positive relationship found between some pollutants and the magnetic susceptibility.

The sensor tested could only be used on shallow constructions why also other sensors should be tested in order to appraise deeper constructions.



---

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
1.1	BAKGRUND .....	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET .....	1
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET .....	1
1.4	MÅL OCH MÅLGRUPP .....	2
1.5	PROJEKTETS GENOMFÖRANDE.....	2
<b>2</b>	<b>TEORI OCH METOD.....</b>	<b>3</b>
2.1	OLIKA MATERIALS MAGNETISKA SUSCEPTIBILITET .....	4
2.2	PROJEKTUPPLÄGG, MATERIAL OCH METOD .....	4
<b>3</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>11</b>
3.1	MAGNETISERBARHETSMÄTNINGAR – OLIKA MATERIAL .....	11
3.2	SENSORS AVSTÅND TILL DET MAGNETISKA MATERIALET .....	13
3.3	MAGNETISERBARHET OCH FÖRORENINGAR .....	14
3.4	FÄLTMÄTNINGAR .....	15
<b>4</b>	<b>RESULTATANALYS.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>SLUTSATSER.....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING .....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBEDE .....</b>	<b>22</b>
<b>8</b>	<b>LITTERATURREFERENSER.....</b>	<b>23</b>

## Bilagor



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Vägar och andra anläggningar byggda med askor erbjuder miljöfördelar i form av resurssnålare och i vissa fall effektivare konstruktioner än konventionella material. Förekomsten av miljöstörande ämnen i askor ger dock även upphov till risker om materialet hanteras olämpligt. Underhåll av konstruktionerna är viktigt för att säkerställa dess funktion från både teknisk och miljömässig synpunkt. Ett av de främsta hindren för askkonstruktioner idag är svårigheten att i framtiden identifiera, avgränsa och hantera konstruktioner som tas ur bruk. Fältmetoder som på ett enkelt och billigt sätt kan användas för dessa karteringsändamål vore därför önskvärda.

## 1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Mätning av en markvolymens magnetiserbarhet (eng. *magnetic susceptibility*) är en metod som bland annat har använts för att kartera förorenings-spridning från industrier och kraftverk [1-5] förorenings-spridning från trafik och vägar [6, 7], geologiska egenskaper [8, 9] och arkeologiska artefakter [10].

Eftersom magnetiserbarheten hos aska vanligtvis skiljer sig från magnetiserbarheten hos de material som askan vanligtvis täcks med (till exempel grusslitlager) gör det mätmetoden lämplig för att kartera såväl förekomst av aska som förhållandet mellan askan och grusslitlagret vad gäller uppblandningsgrad och/eller grusslitlagrets mäktighet.

Inom projekt Q9-710 "Damning från flygaskstabiliserade grusvägar" [11] framkom att mätning av magnetiserbarheten från vägytan kunde indikera askkonstruktionens utbredning och att det förekom variationer inom askkonstruktionen som möjligen indikerade variationer hos konstruktionens tillstånd varför föreliggande projekt föreslogs. Mätresultaten från de inledande testerna redovisas i kapitel 3.4.

## 1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Projektet syftar till att undersöka om magnetiserbarhet kan användas för att kontrollera askkonstruktioners tillstånd och avgränsning. Bedömningen görs genom att mäta magnetiserbarheten av olika typer av material under kontrollerade förhållanden på laboratorium samt genom kartering av magnetiserbarheten i fält vid olika, befintliga askkonstruktioner. I de fall kemiska analyser finns för de testade materialen relateras dessa till uppmätta magnetiserbarhetsvärden.

Om mätning av magnetiserbarhet visar sig kunna urskilja askor från andra material förväntas en metod kunna utvecklas i syfte att 1) underlätta kvalitetsgranskning av askkonstruktioner vid anläggningsfasen då den pekar ut ojämnheter och brister i konstruktionen, 2) underlätta drift- och underhållsfasen av askkonstruktioner då den pekar ut avsnitt där underhållsbehovet är som störst, samt 3) underlätta möjligheten att i framtiden identifiera och avgränsa askkonstruktioner som tas ur bruk.

## **1.4 Mål och målgrupp**

Projektets mål är att ta fram och sprida kunskap om potentialen att använda magnetiserbarhetsmätningar som verktyg för hantering av askkonstruktioner. Projektet riktar sig till planerare och tillsynspersonal hos väghållare, entreprenörer och myndigheter.

## **1.5 Projektets genomförande**

Projektet genomförs som ett samarbetsprojekt mellan VTI och SGI där huvudansvariga forskare är Göran Blomqvist, VTI (projektledare) samt Rebecca Bertilsson och Ola Wik, SGI. Med i projektgruppen har även varit forskaren Mats Gustafsson, VTI.

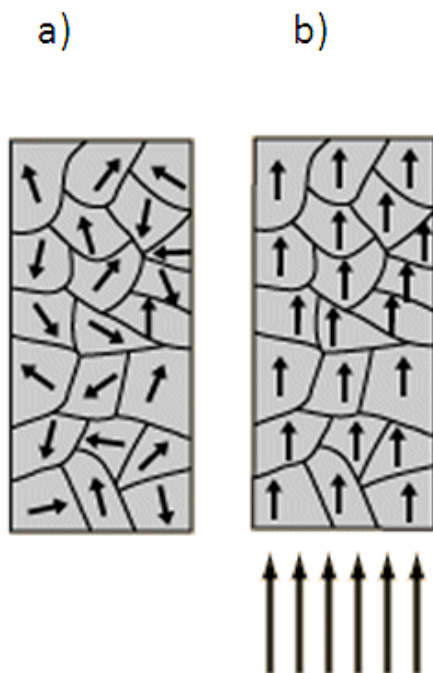
Till projektet tillsattes en referensgrupp bestående av:

- Josef Mácsik, Ecoloop
- Raul Grönholm, SYSAV
- Holger Ecke, Vattenfall

## 2 Teori och metod

Med ett materials magnetiserbarhet (ä. magnetisk susceptibilitet) menas i vilken omfattning materialet påverkas av ett yttre, pålagt magnetiskt fält. Magnetiserbarheten är ett alltså ett mått på materialets förmåga att bli magnetiskt. Mätning av magnetiserbarhet är en oförstörande, geofysisk mätmetod som utförs från markytan. För att mäta markens magnetiska susceptibilitet kan en kappameter användas. En kappameter är ett mätinstrument som består av en induktionsspole kopplad till ett handtag och en elektronikenhet. Runt kanten av spolen skapas ett magnetfält som påverkar material i instrumentets omgivning.

Ett magnetiskt material består av ett stort antal elementarmagneter. Normalt är dessa oordnade och materialet är därför omagnetiskt. Om ett yttre magnetfält läggs på materialet ordnas elementarmagneterna i samma riktning som det yttre fältet och förstärker detta och materialet blir magnetiskt.



Figur 1 a) Ett omagnetiskt material med oordnade elementarmagneter, b) ett magnetiskt material där elementarmagneterna ordnat sig efter det yttre pålagda magnetfältet.

Magnetiska material delas vanligtvis in i permanent magnetiska material (ferromagnetiska) vilka förblir magnetiska efter att det yttre, pålagda magnetfältet tas bort och material som endast förblir magnetiska så länge som de utsätts för ett yttre magnetiskt fält. Av den senare gruppen har paramagnetiska material en positiv magnetisk susceptibilitet (elementarmagneterna ställer sig i samma riktning som det yttre magnetfältet och förstärker det) och diamagnetiska material som har en negativ magnetisk susceptibilitet (elementarmagneterna ställer sig i motsatt riktning mot det pålagda fältet och försvagar det).

Alla material påverkas i större eller mindre grad av magnetfält. Material som järn och nickel magnetiseras lätt i ett magnetiskt fält och sägs ha hög magnetisk susceptibilitet,  $\chi$ . I Tabell 1 ges exempel på några olika materials magnetiska susceptibilitet,  $\chi$ .

## 2.1 Olika materials magnetiska susceptibilitet

Susceptibiliteten kan anges per volymsenhet ( $\chi_v$  även  $\kappa$ ), per massenhet ( $\chi_m = \chi_v / \rho = \kappa / \rho$  där  $\rho$  är densitet) eller per mol ( $\chi_n = \chi_m \cdot M$  där  $M$  är molmassan).

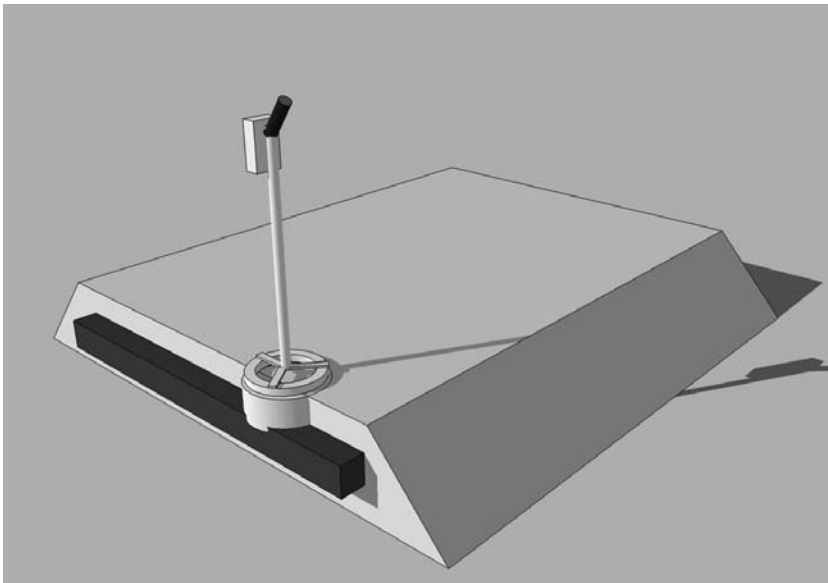
Tabell 1 Tabell över olika materials magnetiska susceptibilitet ur litteraturen [12, 13]

Material	$\chi_v$ (x 10 <sup>-5</sup> ) SI-enheter
<b>Paramagnetic</b>	
Iron oxide (FeO)	720
Iron amonium alum	66
Uranium	40
Chromium	31
Platinum	26
Molybdenum	12
Tungsten	6.8
Aluminum	2.2
Cadmium	1.9
Lithium	1.4
Magnesium	1.2
Sodium	0.72
Potassium	0.57
Oxygen gas	0.19
<b>Diamagnetic</b>	
Bismuth	-17
Antimony (Sb)	-6.8
Mercury	-2.9
Silver	-2.6
Carbon (diamond)	-2.1
Phosphorus	-2.0
Cadmium	-1.9
Lead	-1.8
Carbon (graphite)	-1.6
Zinc	-1.6
Sodium chloride	-1.4
Sulphur	-1.3
Copper	-1.0
Water	-0.91
Arsenic	-0.53

## 2.2 Projektupplägg, material och metod

Projektet genomförs med hjälp av en magnetiserbarhetsmätare från Bartington: MS2 med sensorerna MS2D och MS2F. Då ingen av de tillgängliga sensorerna har ett mätdjup som överstiger 10 cm avgränsas projektet till att endast mäta på konstruktioner

där askan är placerad inom mätinstrumentets penetrationsdjup. I gengäld utökas laboriemätningarna med flera typer av material än som ursprungligen var tänkt. Slaggrus, som ofta används i konstruktioner på ett större djup än de 10 cm som är mätbara med Bartington MS2 med sensor MS2D analyseras sålunda endast på laboratorium och inte i fält. Genom ett gott samarbete med Raul Grönholm vid SYSAV har ett antal slaggrusprover som ändå skulle analyseras kemiskt i annan ordning även kunnat analyseras vad gäller provens magnetiserbarhet och har därigenom på ett kostnadseffektivt sätt kunnat komplettera detta projekt med fler referensmaterial.



*Figur 2 Mätprincipen för Bartington MS2 med sensor MS2D: Mätsensorn hålls mot underlaget, mätknappen trycks in och mätvärdet lagras i den tillkopplade loggerenheten.*

I projektet används de båda mätsensorerna MS2D och MS2F vilka skiljer sig åt genom sina olika mätdjup. MS2D omfattar ett mätdjup på ca 10 cm och MS2F en mätdjup på endast ca 1 cm. Känsligheten hos båda sensorerna sjunker med avseende på avståndet varför materialet närmast sensorn har störst inverkan på det integrerade måttet. MS2D har används för de flesta kartläggande mätningarna, men MS2F har använts då olika material varit urskiljbara i fält, som till exempel då grusslitlagret tyckts vara bortnött och askan kommit i dagen har asklagrets magnetiserbarhet bestämts med MS2F. Även när magnetiserbarheten hos ask- och referensmaterial förvarade i provpåsar har bestämts har sensorn MS2F använts, eftersom man vill undvika att mätvolymen sträcker sig utanför provets volym.



Figur 3 Civ ing. Rebecca Bertilsson, SGI, mäter den magnetiska susceptibiliteten hos ett förmodat asklager som sticker fram genom slitlagret (ljusare partier) med mätsensor MS2F som används vid detaljstudier. I ryggpåsen ligger mätutrustning, loggerdator, datainsamlingsbox, på axeln sitter en gps-mottagare, på magen sitter mät datorn och i handen har hon mätsensorn med handtag.

### 2.2.1 Magnetiserbarhetsmätningar - material

Mätning av magnetiserbarheten genomförs på ett antal askor av olika typ och ursprung, samt på ett antal icke-askmaterial av olika karaktär och ursprung. Vissa av materialen från SGI:s materialarkiv har kända metallhalter varför magnetiserbarheten även analyseras i förhållande till dessa. Liknande analyser görs även på några material, slaggrus, från SYSAV som analyserats med avseende på sitt kemiska innehåll utanför ramen för detta projekt. Materialen listas från 1–19 i nedanstående lista. Materialens numrering behålls sedan konsekvent under resultatredovisning och diskussion i syfte att underlätta för läsaren att hänga med.

#### Material 1) Slaggrus från Tekniska Verken, Linköping

Askan består av sorterad bottenaska från avfallsförbränning. Askan har legat exponerat i en hög under 5 år innan provtagning. Samma aska har karakteriserats i Värmeforskprojektet Q9-745 "Ackumulering av metaller i vegetation på geotekniska askkonstruktioner" [14].

#### Material 2) och 3) Slaggrus från SYSAV avfallskraftvärmeverk, Malmö

SYSAV slaggrus från förbränning av hushålls- och industriavfall (ca 50/50). Slaggruset har lagrats i 6 mån–1 år. Från slaggruset har avlägsnats magnetiskt material, icke magnetiska metaller och material större än 50 mm.

#### Material 4) Slaggrus Linköpings reningsverk

Askan består av sorterad bottenaska från avfallsförbränning. Askans ursprung är inte känt. Askan har legat exponerat i lysimetern under 13 år innan provtagning. Samma

aska har karakteriserats i Värmeforskprojektet Q9-745 "Ackumulering av metaller i vegetation på geotekniska askkonstruktioner" [14].

**Material 5) Flygaska (trä) från Mälarenergi**

Flygaska från förbränning av Grot, spån, bark och returflis. Kemisk sammansättning är okänd.

**Material 6) Flygaska från SCA Ortvik**

Flygaskan är från Ortvikens pappersbruk och kommer från en panna med en fluidiserad bädd som eldas med flygaska från en rosterpanna (som eldas med bark) samt slam och bark. Slammet består till 80 % av fiberslam och 20 % bioslam. Båda slammen innehåller aska från kaolinlera och kalciumkarbonat. Fiberslammet består även av fibrer och spån och bioslammet består även av organiskt material och mikroorganismer. Kemisk sammansättning presenteras i [15].

**Material 7) Slaggrus sorterad bottenaska från avfallsförbränning) taget från Törringevägen i Malmö**

Askans ursprung är SYSAV:s förbränningsanläggning. Askan har legat i vägen under 11 år innan provtagning. Samma aska har karakteriserats i Värmeforskprojektet Q9-745 "Ackumulering av metaller i vegetation på geotekniska askkonstruktioner" [14].

**Material 8) Bergkross, SGI**

Krossberg taget ytligt från anlagd yta på SGI:s lysimeterfält i Linköping. Samma material har karakteriserats i Värmeforskprojektet Q9-745 "Ackumulering av metaller i vegetation på geotekniska askkonstruktioner" [14].

**Material 9) Flygaska, Mälarenergi**

Flygaska från torveldning.

**Material 10) Vedaska**

Aska från förbränning av GROT- och RT-flis från en lysimeter i Linköping. Askans ursprung är Tekniska Verken i Linköping. Askan har legat exponerat i lysimetern under 17 år innan provtagning. Kemisk sammansättning är okänd.

**Material 11) Morän**

Prov från SGI:s arkiv. Ursprung och innehåll okända.

**Material 12) Grusväg, referenssträcka i Börje, Uppsala**

Mätningar från referenssträckan i Börje, Uppsala. Bergarten i grusslitlager och bärlager är okänd.

**Material 13) Flygaska från Stora Enso**

Flygaska från eldning av bark, skogsflis, torrflis, pellets och fiberslam. Kemisk sammansättning är okänd.

**Material 14) Schaktmassor,**

Schaktmassor från schaktarbeten i Malmö med omnejd hämtade från ÅGAB:s anläggning. Samma material har karakteriserats i Värmeforskprojektet Q9-745 "Ackumulering av metaller i vegetation på geotekniska askkonstruktioner" [14].

#### **Material 15) Grusväg, referenssträcka i Sörkrånge, Timrå**

Mätningar från referenssträcka 1 i Sörkrånge, Timrå. Bergarten i grusslitlager och bärlager är okänd.

#### **Material 16) Enhetsjord (plantjord)**

Planteringsjord med hög torvhalt. Samma material har karakteriserats i Värmeforskprojektet Q9-745 "Ackumulering av metaller i vegetation på geotekniska askkonstruktioner" [14].

#### **Material 17) Åkermark vid fältlokalen i Börje**

Mätningar från åkermarken vid fältlokalen i Börje. Jordartsbestämning och kemisk sammansättning saknas.

#### **Material 18) Kvantssand**

Prov från SGI:s arkiv, ren kvartssand. Kemisk sammansättning saknas.

#### **Material 19) Grusslitlager, VTI**

Grusslitlager 0/16, granitisk gnejs med fältspat, kvarts och biotit. Kemisk sammansättning saknas.

### **2.2.2 Magnetiserbarhetsmätningar i fält**

Fältförsöken genomförs vid två fältlokaler dels vid askvägen i Sörkrånge, Timrå [15], dels vid askvägen i Börje, Uppsala [16]. Antalet fältmätsträckor och val av mätsensorer redovisas i punktlistan nedan.

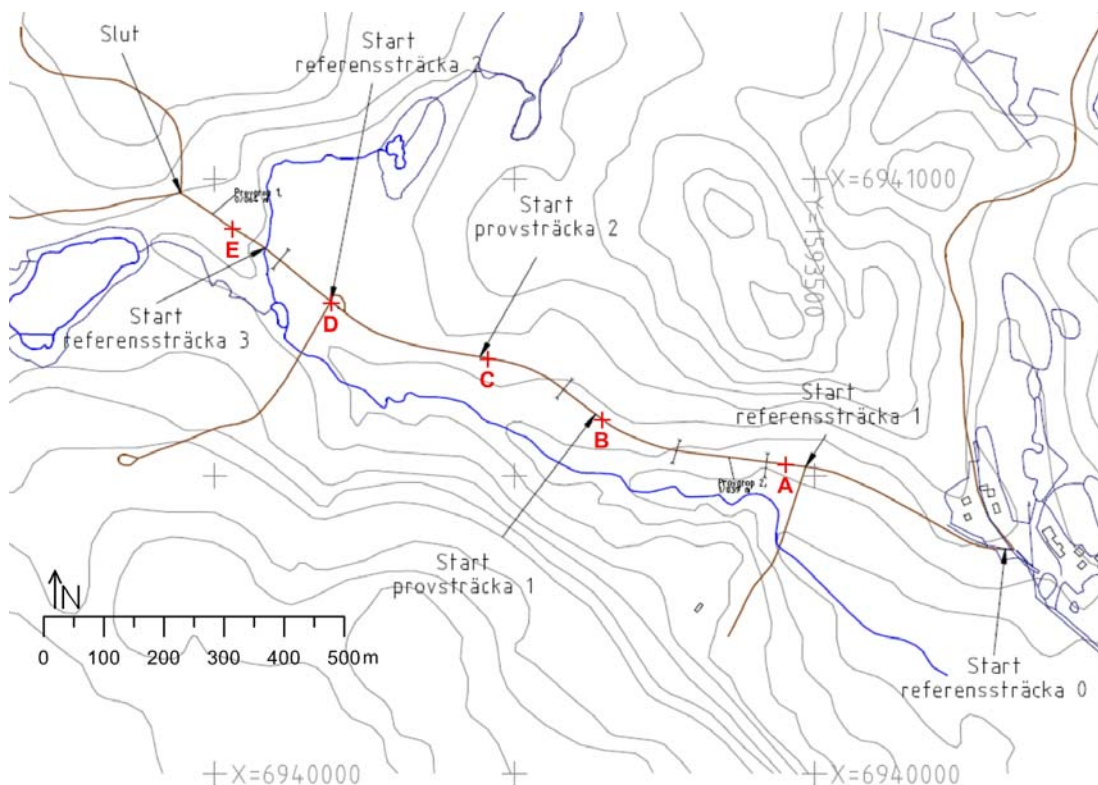
#### **Mätningar i fält:**

- Initialförsöket i Sörkrånge, Timrå:
  - Asksträcka 1, (MS2D)
  - Asksträcka 2 (MS2D)
  - Referenssträcka 1 (MS2D)
  - Referenssträcka 2 (MS2D)
- Mätningar i Börje, Uppsala:
  - Asksträcka (MS2D)
  - Asksträcka (MS2F)
  - Referenssträcka (MS2D)
  - Referenssträcka (MS2F)
  - Åkermark i omgivningen (MS2D)

**Sörkrånge** ligger ungefär mitt emellan Sundsvall och Härnösand, inte långt från E4:an. Det är en skogsbilväg som under juni 2009 uppgraderats på en ca 1,5 km lång sträcka som är indelad i fyra referenssträckor och två provsträckor (Figur 4). Provsträckorna är

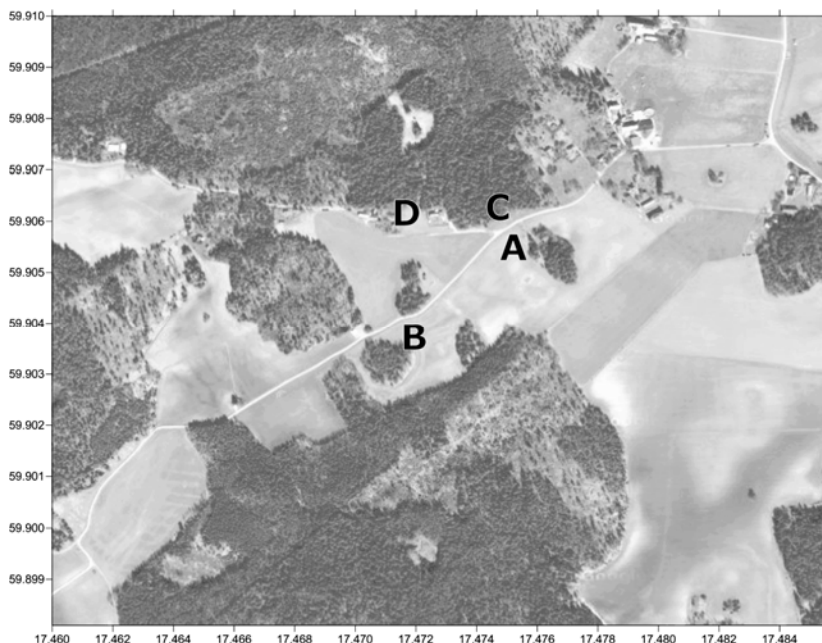
uppgraderade genom att flygaska frästs in i det befintliga bärlagret till förhållandet 3:7. Provsträcka 1 har efter packningen ett ca 16 cm tjockt askinblandat gruslager och provsträcka 2 har ett ca 20 cm tjockt askinblandat gruslager under grusslitlagret som är samma på båda provsträckorna

Alla uppgraderade sträckorna har 70 mm slitlagergrus. Flygaskan är ihopfräst med det befintliga bärlagret. Vägen är därefter vattnad och packad. Uppgraderingen gjordes under juni 2009. Fältlokalen i Sörkrånge, Timrå finns ingående beskriven i Värmeforskrapporten ”Effektivt askutnyttjande i vägar” [15]. Flygaskan är från Ortvikens pappersbruk och kommer från en panna med en fluidiserad bädd som eldas med flygaska från en rosterpanna (som eldas med bark) samt slam och bark. Slammet består till 80 % av fiberslam och 20 % bioslam. Båda slammen innehåller aska från kaolinlera och kalciumkarbonat. Fiberslammet består även av fibrer och spån och bioslammet består även av organiskt material och mikroorganismer [15].



Figur 4 Fältlokalen i Sörkrånge. Kartan anger startpunkterna från väster mot öster för referenssträcka 0, referenssträcka 1, provsträcka 1, provsträcka 2, referenssträcka 2 och referenssträcka 3. Bokstäverna A–E anger referenspunkter i förhållande till mätresultaten i Figur 13. Grundkartan hämtad ur rapport [15].

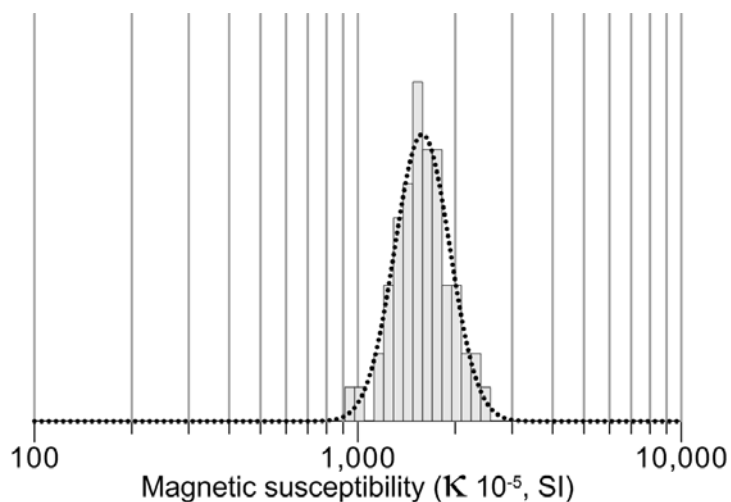
**Börje** ligger strax väster om Uppsala (Figur 5). Fältlokalen i Börje finns ingående beskriven i Värmeforskrapporten ”Flygaska som förstärkningslager i väg” [16].



Figur 5 Fältlokalen i Börje, väster om Uppsala. Askvägen börjar vid vägskälet markerat med 'A' på kartan och fortsätter förbi 'B'. Magnetiserbarheten är undersökt mellan 'A' och 'B', referensmätningar är utförda mellan 'C' och 'D'.

### 2.2.3 Datahantering

De uppmätta magnetiserbarhetsvärdena logaritmeras och sammanställs i histogram med en kurvanpassad normalfördelning (se Figur 6) Normalfördelningens väntevärde ( $\mu$ ) används därefter för att representera det undersökta materialets magnetiserbarhet vid resultatredovisning och vidare analyser.

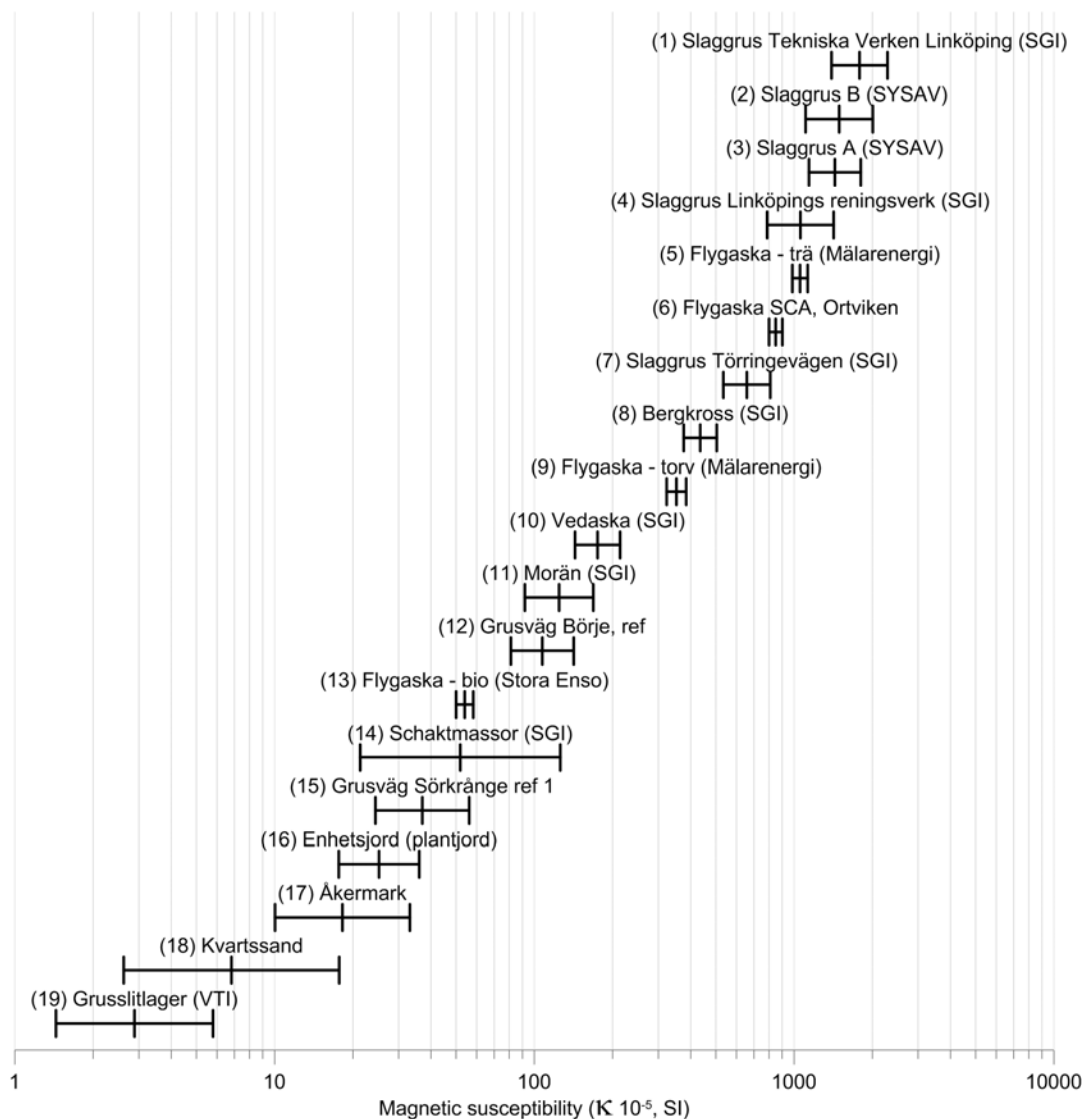


Figur 6 Ett exempel på datahanteringen för magnetiserbarhetsmätningarna. Staplarna som utgör histogrammet är de samlade mätvärdena för provet i fråga och pricklinjen är en kurvanpassad normalfördelning. Toppvärdet (normalfördelningens väntevärde,  $\mu$ ) utgör det värde som representerar provet i vidare analyser och jämförelser.

## 3 Resultat

### 3.1 Magnetiserbarhetsmätningar – olika material

Mätning av magnetiserbarheten hos de askprover och icke-askprover som undersökts i laboratorium och i fält uppvisar värden som sträcker sig över tre magnituder (ental till tusental) (Figur 7).

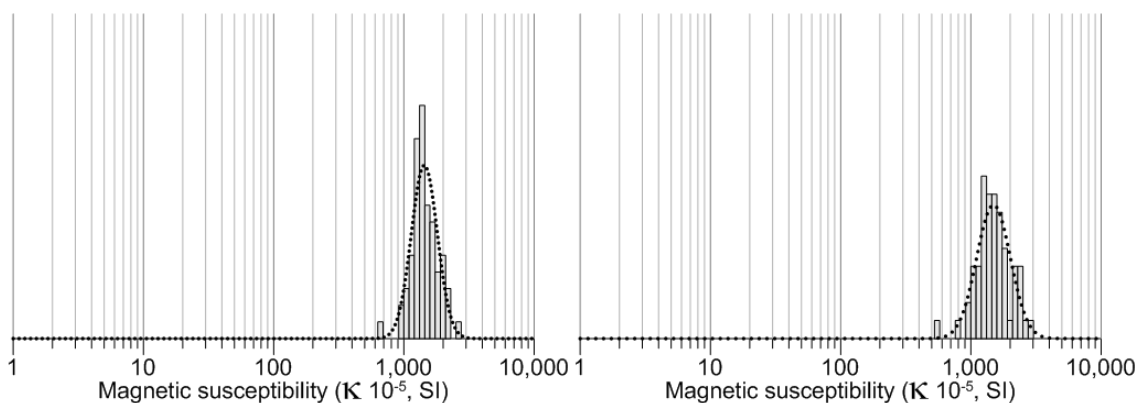


Figur 7 Magnetiserbarheten hos de undersökta proverna (väntevärde och standardavvikelse). Histogram över mätningarna som ligger bakom figuren presenteras i bilagan.

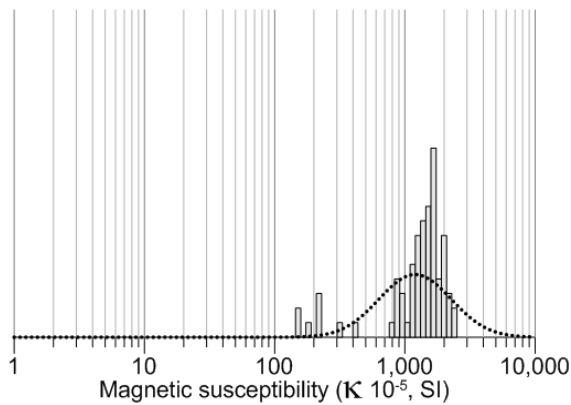
Askorna som undersöktes i laboratedelen av projektet uppvisade både höga som relativt låga magnetiserbarhetsvärden. Höga magnetiserbarhetsvärden får till exempel slaggrusen (1–4 och 7), men även träflygaska från Mälarenergi (5) och flygaskan från SCA i Ortviken (6). Relativt låga magnetiserbarhetsvärden får till exempel flygaskan från bioförbränning (13) och vedaskan (10). Avgörande för om huruvida

magnetiserbarhet ska fungera som metod att kunna detektera askan i en konstruktion är magnetiserbarheten hos det materialet som täcker askan. Som exempel ser vi i Figur 7 att flygaskan från bioförbränning hos Stora Enso (13) har betydligt lägre magnetiserbarhet än bergkrosset från SGI:s materialförråd (8), men högre än grusslitlagret från VTI:s förråd (19). Det innebär sannolikt att en askkonstruktion med sådan flygaska från bioförbränning lättast skulle kunna detekteras om den var täckt av ett slitlager med den låga magnetiserbarheten, då den annars sannolikt skulle döljas av de starkare signalerna från ett material med högre magnetiserbarhet.

Ett exempel på laboratoriemätning av magnetiserbarheten hos provpåsar med slaggrus från SYSAV visas i Figur 8 och Figur 9. Proverna skulle analyseras till sin totalhalt av olika ämnen hos SGI inom ramen för ett annat uppdrag och kunde därför dessförinnan analyseras med avseende på magnetiserbarheten inom ramen för detta projekt. Det figurerna visar är att prov A och B (prov 3 och 2 i Figur 7) visar snarlika fördelningar hos magnetiserbarheten, men påse C ger ett betydligt lägre genomsnittsvärde. Betraktar man mätvärdena noggrannare (Figur 9) finner man dock att innehållet i påse C sannolikt består av fler än ett material; innehållet är inte homogent. Det tycks vara två populationer som dyker upp i histogrammet. En närmare analys av det kemiska innehållet visade dock inga tydliga skillnader mellan påse A, B och C som skulle kunna förklara fenomenet. Påse A och B ingår som prov i sammanställningen av de kemiska analyserna och magnetiserbarheten som redovisas i Figur 11 (prov 3 respektive 2).



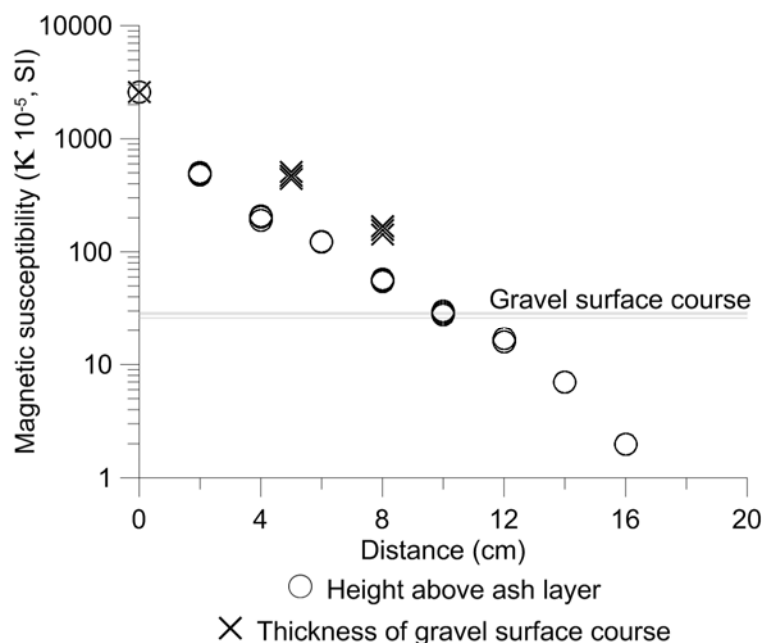
*Figur 8 Den magnetiska susceptibiliteten hos slaggrus från SYSAV. Till vänster påse A ( $\kappa = 1435$ ) och till höger påse B ( $\kappa = 1491$ ). De båda proverna ligger nära varandra i magnetiserbarhet, till skillnad från påse C (Figur 9) som tycks innehålla material från två källor.*



Figur 9 Den magnetiska susceptibiliteten hos slaggrus från SYSAV, påse C. Histogrammet antyder att påsen innehåller två typer av material, dels slaggrus med samma magnetiserbarhet som påse A och B (Figur 8), dels ett material med betydligt lägre magnetiserbarhet (antagligen kring ca 200 SI-enheter).

### 3.2 Sensorns avstånd till det magnetiska materialet

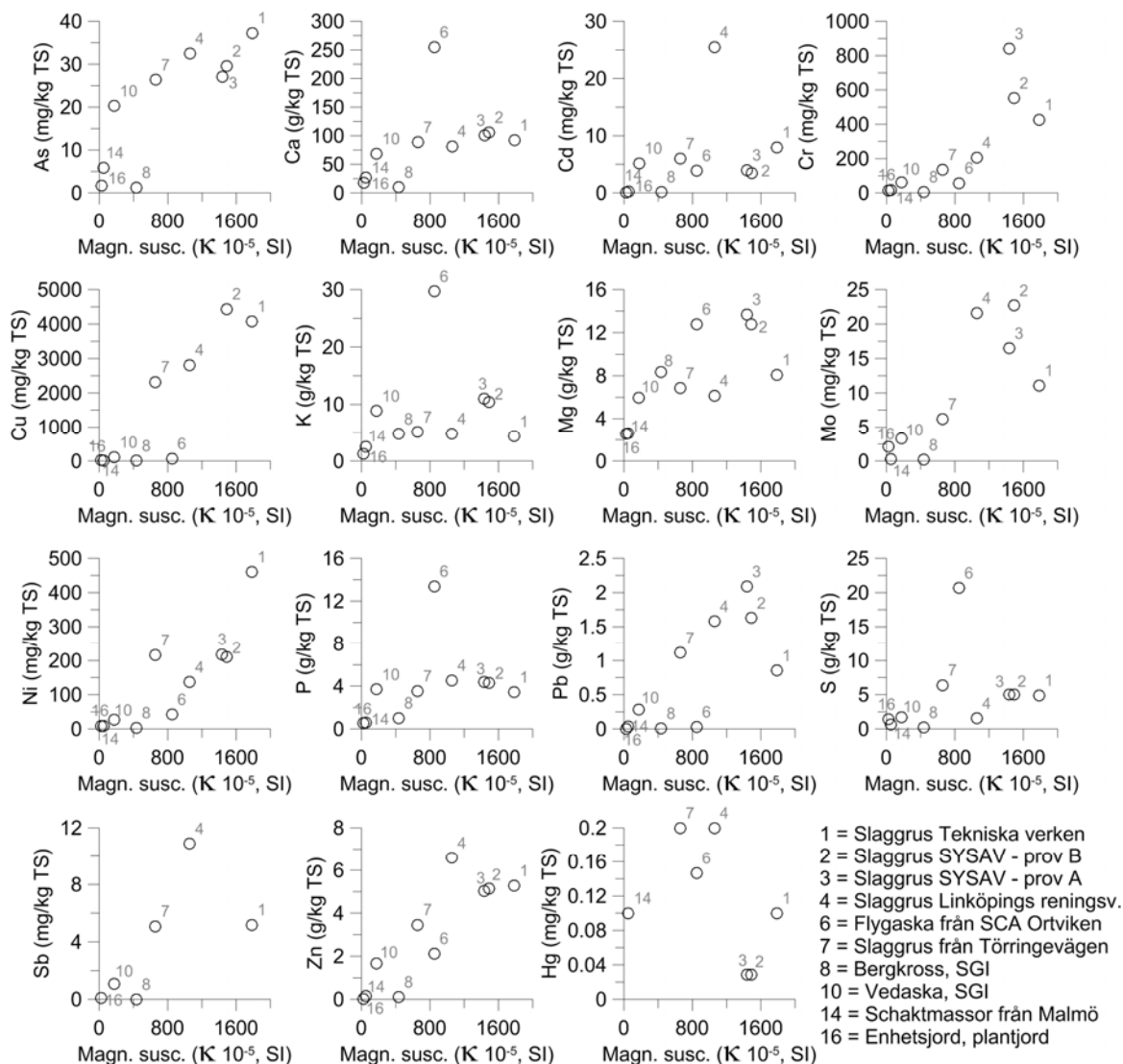
Förhållandet mellan avståndet och sensorns (MS2D) respons testades såväl genom mätning där sensorn hölls med olika avstånd från materialet (slaggrus) och då avståndet åstadkoms genom täckning av slaggruset med grusslitlager (0/16) som mellanliggande material med låg magnetiserbarhet. Resultatet av den analysen visar att sensorn var påverkad av slaggruset upp till ett avstånd av 16 cm då det endast var luft mellan provet och sensorn (Figur 10). Då ett grusslitlager på 5 respektive 8 cm överlagrade slaggruset uppvisades ett högre mätvärde än då endast luft utgjorde mellanmassan.



Figur 10 Magnetiserbarhetens beroende av avstånd till magnetiserbart material samt inverkan av mellanliggande grusslitlagers mäktighet.

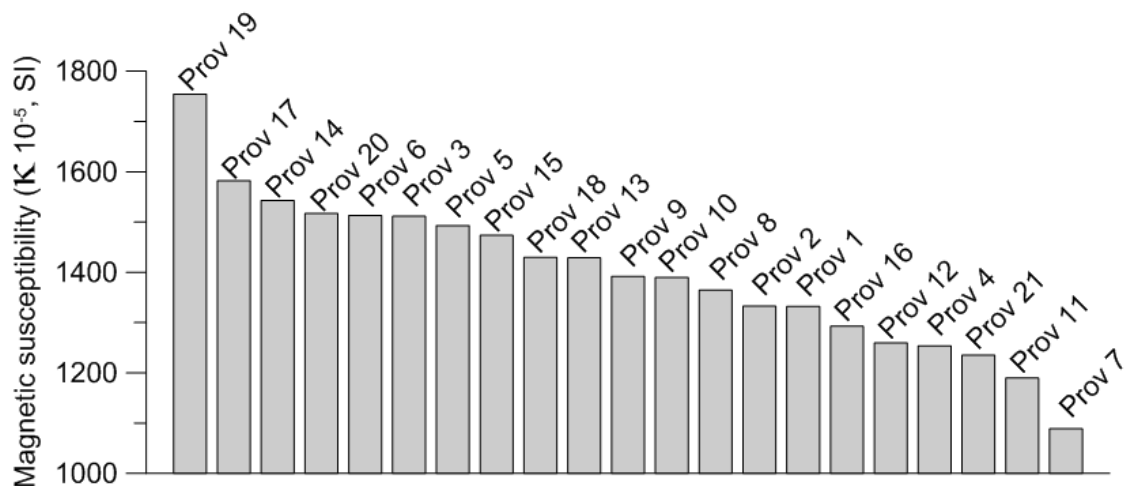
### 3.3 Magnetiserbarhet och föroreningar

En analys av det kemiska innehållet på ett antal prov av olika karaktär (såväl askor som referensprover) relaterat till provens magnetiserbarhet visar ett positivt samband för ett antal ämnen (Figur 11). De ämnen som ingår i sammanställningen är: As, Ca, Cd, Cr, Cu, K, Mg, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Zn och Hg. I princip alla ämnen utom kvicksilver (Hg) uppvisar mer eller mindre tydliga positiva samband.



Figur 11 Totalanalyser för de tio prov där kemiska analysresultat (totalhalter) finns.

Som tidigare nämnts inkorporerades i projektet även 21 stycken prov på slaggrus från SYSAV som kom att laktestas (Figur 12).



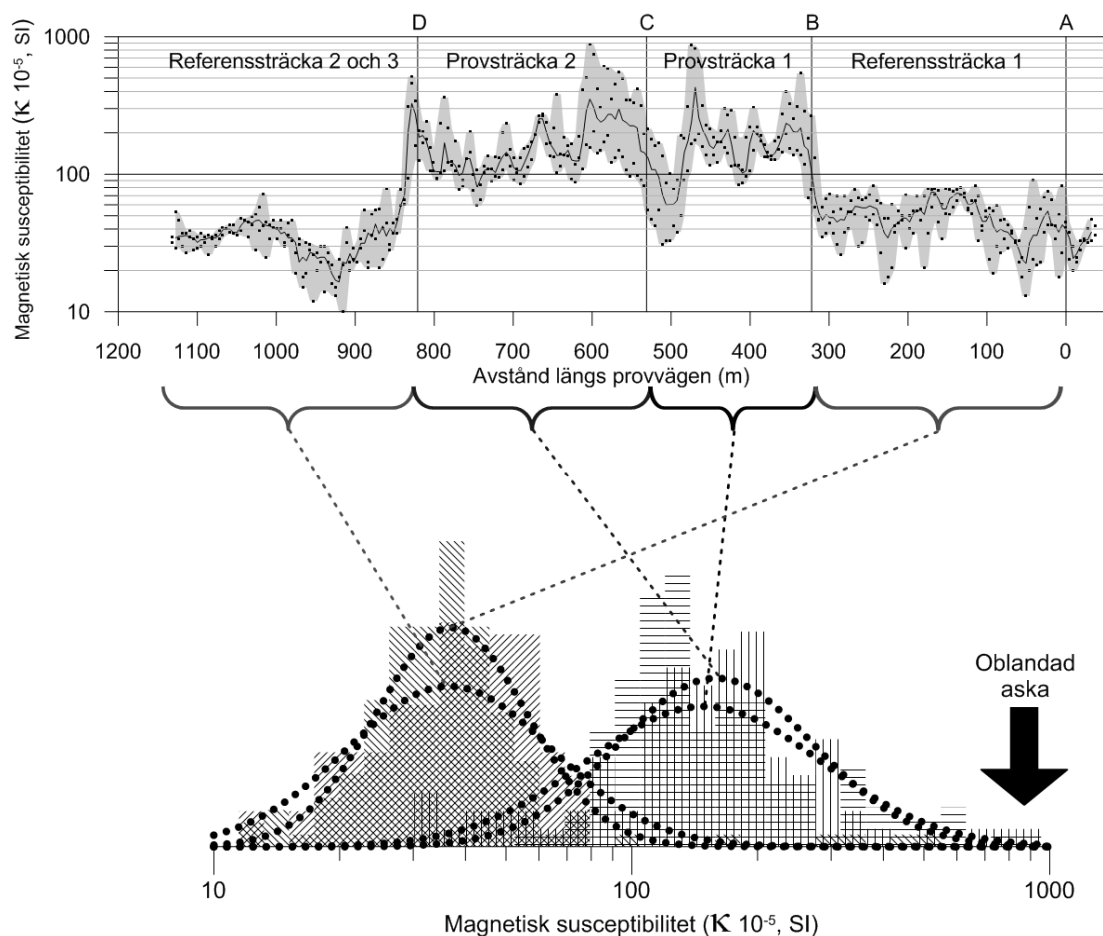
Figur 12 Magnetiserbarheten hos 21 slaggrusprov som uppborrats ur väggkropp i syfte att genomföra lakttest på.

Det är samma typ av slaggrus som presenteras i Figur 8. Provens magnetiserbarhet sträckte sig mellan ca 1100 och  $1750 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter, vilket håller sig helt inom den variation som de båda enskilda proven i Figur 8 har. Något samband mellan magnetiserbarheten och lakttestresultaten kunde inte hittas. Sannolikt krävs större variation mellan provernas magnetiserbarhet, eller så är den lakbara andelen av ämnena inte relaterade till magnetiserbarhetsvärdena.

### 3.4 Fältnätningar

#### 3.4.1 Fältnätningarna i Sörkrånge

Fältnätningarna i **Sörkrånge** visar att metoden kan användas för att peka ut provsträckor med aska i bärlagret. Referenssträckorna skiljer sig tydligt åt i förhållande till provsträckorna (Figur 13). Referenssträckorna ett och två uppvisar båda samma magnetiserbarhetsvärde på  $37 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter. Provsträcka ett och två hade båda betydligt högre magnetiserbarhetsvärden, 149 respektive  $159 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter (Figur 13). Mätningar på en svart askhög intill vändplanen vid bokstaven 'D' i Figur 4, som förmodas vara den aska som ingår i vägens bärlager uppvisade mätvärden mellan 800 och  $900 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter (Figur 13).

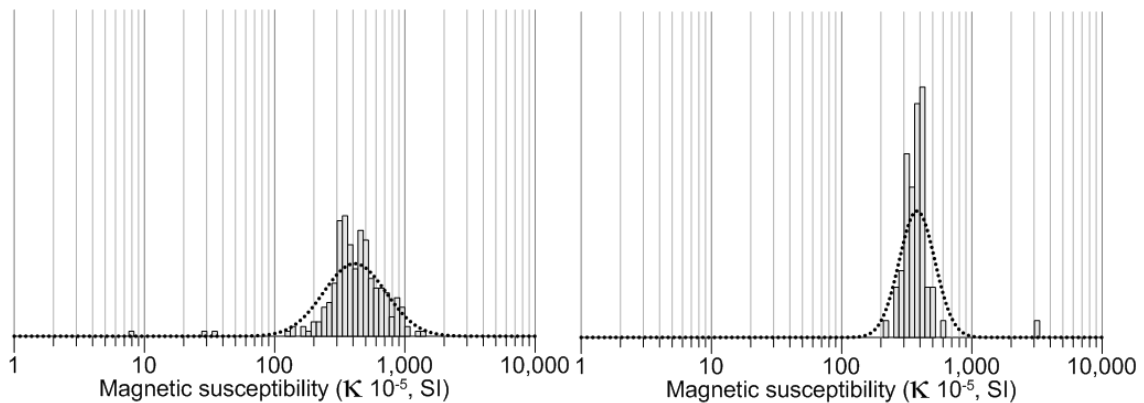


Figur 13 Resultaten från mätningen av magnetisk susceptibilitet längs askvägen i Sörkrånge, Timrå. Det grå fältet i den övre delen av figuren omsluter min- och maxvärdena inom ett ca 10 m långt glidande "fönster" längs mätsträckan. Nedre delen av figuren visar mätvärdena presenterade som histogram för respektive delsträcka.

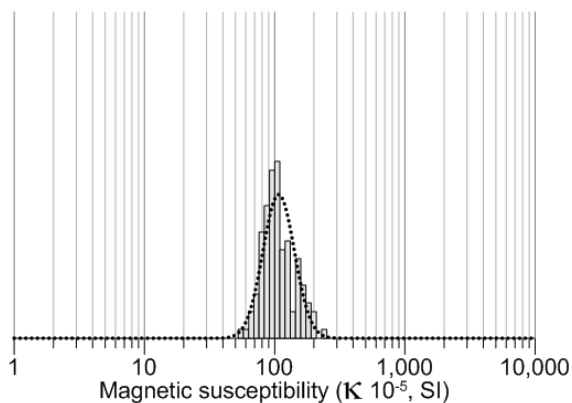
Övre delen av Figur 13 visar mätvärdena utplacerade längs vägen (jämför med kartan i Figur 4, där även referenspunkterna A–D finns angivna). Mätvärdena representerar en ca 10 cm mäktig integrerad volym av grusslitlager (ca 7 cm) och bärlager.

### 3.4.2 Fältmätningarna i Börje

Även fältmätningarna i **Börje**, Uppsala, visar att metoden kan användas för att urskilja askvägen från referensvägen, men även upptäcka skillnader inom askvägen (Figur 14–Figur 16).



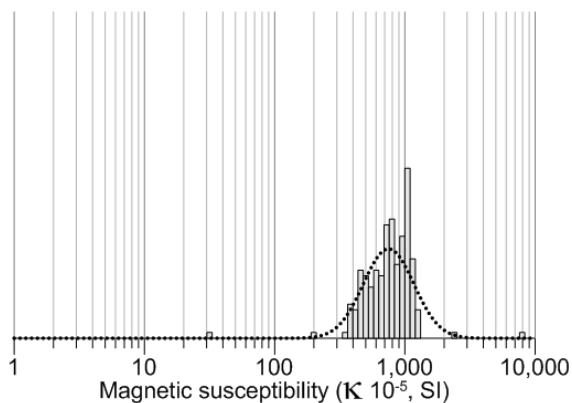
Figur 14 Magnetiserbarheten vid askvägens början (vid 'A' i Figur 5) uppvisar likartade resultat oavsett sensor. Till höger MS2D, till vänster MS2F.



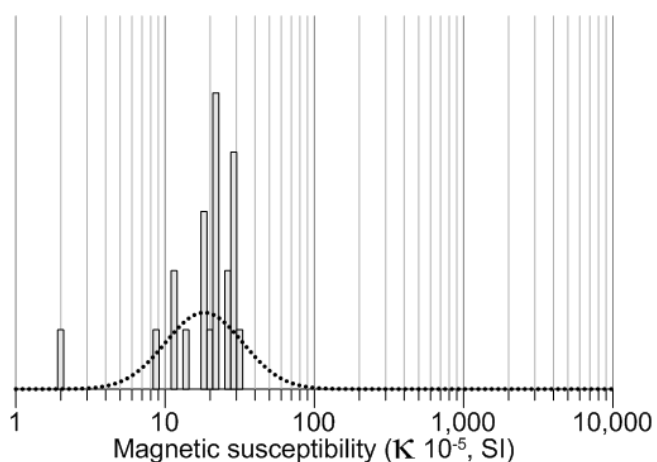
Figur 15 Magnetiserbarheten på referenssträckan (vid 'D' i Figur 5) uppvisar, som förväntat, en lägre magnetiserbarhet än askvägen.

Skillnaden mellan magnetiserbarhetsvärdena hos askvägen och referensvägen var dock inte lika uttalade i Börje som i Sörkrånge, antagligen beroende på att grusslitlagret i Börje höll en högre magnetiserbarhet (ca  $100 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter) än vad grusslitlagret i Sörkrånge gjorde ( $37 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter) (se även material 12 och 15 i Figur 7).

Även i Börje skönjdes skillnader i askvägens kvalitet genom att de avsnitt med synbarligen tunt grusslitlager och härdad aska i dagen uppvisade högre magnetiserbarhetsvärden (ca  $700 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter, Figur 16) än där askvägen hade ett mer täckande grusslitlager (ca  $400 \cdot 10^{-5}$  SI-enheter, Figur 14). Jämför med fotografiet i Figur 3 som är från samma mätplats.



Figur 16 Magnetiserbarheten på askvägen (vid 'B' i Figur 5) där grusslitlagret är mycket tunt.



Figur 17 Den magnetiska susceptibiliteten på åkermarken mellan askvägen och referensvägen i Figur 5 uppvisade ett väntevärde på  $18,2 \cdot 10^5$  SI-enheter, betydligt lägre än både askvägen och referensvägen.

Lägst magnetiserbarhetsvärden i Uppsala uppvisade den mätserie som genomfördes på åkern mellan askvägen och referensvägen (Figur 17). Mätningen gjordes i syfte att kontrollera om någon trend kunde urskönjas mot askvägen, utifall att luftspridning av aska skulle ha förhöjt magnetiserbarheten hos den näraliggande åkern. Någon sådan trend kunde dock inte återfinnas i mätningarna.

## 4 Resultatanalys

Detta projekt bygger på ett 20-tal prov av askor och referensmaterial av olika slag samt fältmätningar vid två askkonstruktioner. Då de använda sensorerna inte har kunnat penetrera mer än ca en decimeter har dessvärre konstruktioner med djupare liggande aska inte kunnat undersökas. Det finns dock mätinstrument med djupare penetrationsförmåga än vad projektgruppen haft tillgång till i denna undersökning, varför metoden förmodligen kan vara intressant även för sådana konstruktioner.

Resultaten visar att slaggrus (fem prov) tycks ha högre magnetiserbarhet än flygaska (fyra prov), även om ett visst överlapp verkar finnas. Vad värre är, är att det även tycks finnas ett överlapp mellan magnetiserbarheten hos vissa askor och vissa bergarter som kan tänkas att överlagra askorna i form av grusslitlager, eller vara blandade med dem i en askkonstruktions bärlager. Men, det finns även typiska grusslitlager som har långt lägre magnetiserbarhet än någon uppmätt aska. Att kunna använda magnetiserbarhet som en metod för att kunna bedöma ett grusslitlagers tillstånd (tjocklek eller uppblandningsgrad med underliggande aska) förutsätter att askan håller en högre magnetiserbarhet än det överliggande materialet. Så har varit fallet med de båda fältstudierna i undersökningen. Men det är långt ifrån säkert att det är så för alla askkonstruktioner.

Hur representativa respektive undersökta material är för just den typen av material är dessvärre inte helt klarlagt, då en sådan genomgång skulle kräva mätning av ett betydligt större antal prov än vad budgeten för detta projekt har medgivit.

## 5 Slutsatser

Projektet visar att, under rätt betingelser – då ett askstabiliserat bärlager med hög magnetiserbarhet överlagras av ett grusslitlager (< 10 cm tjockt) med låg magnetiserbarhet – magnetiserbarhetsmätningar är en metod som kan användas för att detektera utbredningen hos en askkonstruktion och sannolikt även övervaka tillståndet (tjockleken) hos det skyddande grusslitlagret.

Projektet bygger på en sensor med endast ca en decimeters penetrationsdjup varför konstruktioner med större djup inte har kunnat undersökas och slutsats kring dessa kan därför inte dras, även om projektet inte funnit något som talar emot att samma principer skulle gälla för sensorer med större penetrationsdjup.

Resultaten har också visat att det finns ett mer eller mindre tydligt samband mellan magnetiserbarheten och innehållet av ett stort antal ämnen. Detta skulle sannolikt kunna utvecklas till en ”screeningmetod” för att underlätta val av prov som ska till vidare kemisk analys, alternativt val av provtagningsplats vad gäller provtagning av förorenad mark som ska analyseras kemiskt.

## 6 Rekommendationer och användning

Enligt utvärderingen av askprogrammet 2009–2011 [17], rekommenderas framtagande av en handbok och tillsynsvägledning samt en utökad klassificering av askor. För bägge dessa syften skulle askmaterials magnetiserbarhet kunna fylla ett syfte. För det första om metoden vidareutvecklades och även innefattade sensorer med större mätdjup, och för det andra om fler askmaterial undersöktes i större omfattning. I det sammanhanget skulle man även kunna utreda potentialen hos att koppla uppgifter om olika askmaterials magnetiserbarhet till databasen Allaska [18].

## 7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Författarna rekommenderar att magnetiserbarhet som metod fortsätter att utvecklas mot en metod i syfte att kunna:

1. Kvalitetgranska tjockleken på det överliggande skyddande slitlagret i samband med nykonstruktion av askväg,
2. Övervaka grusslitlagrets tillstånd under vägens drift, så att inte askan kommer i dagen,
3. Ta reda på var askan finns den dagen vägen, eller konstruktionen ska rivas om återställas.

I syfte att kunna utveckla metoden att användas för konstruktioner där askan ligger på större djup än vad som kunnat utföras i denna studie rekommenderar författarna att även andra magnetiserbarhetsmätutrustningar testas, än de som projektgruppen har haft tillgång till inom detta projekt.

Viktigt att kartlägga är magnetiserbarheten hos fler askor, såväl flygaskor och slaggrus av olika ursprung, som askor av olika åldrar och från olika typer av förbränningspannor.

---

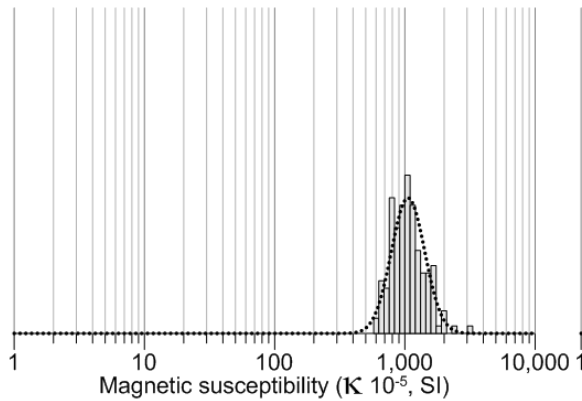
## 8 Litteraturreferenser

1. Kapička, A., Jordanova, N., Petrovsky, E. och Ustjak, S., 2001 "Effect of different soil conditions on magnetic parameters of power-plant fly ashes". *Journal of Applied Geophysics*, 2001. **48**(2): p. 93-102.
2. Hanesch, M., Maier, G. och Scholger, R. 2003 *Mapping heavy metal distribution by measuring the magnetic susceptibility of soils*. in *Journal De Physique. IV : JP*. Grenoble.
3. Gladysheva, M.A., Ivanov, A.V. och Stroganova, M.N., 2007 "Detection of technogenically contaminated soil areas based on their magnetic susceptibility". *Eurasian Soil Science*, 2007. **40**(2): p. 215-222.
4. Lu, S.G., Bai, S.Q. och Xue, Q.F., 2007 "Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: A case study from the city of Luoyang, China". *Geophysical Journal International*, 2007. **171**(2): p. 568-580.
5. Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kadzia?ko-Hofmokl, M., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Bondar, K. och Matviishina, Z., 2008 "Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine". *Acta Geophysica*, 2008: p. 1-22.
6. Hoffmann, V., Knab, M. och Appel, E., 1999 "Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution". *Journal of Geochemical Exploration*, 1999. **66**(1-2): p. 313-326.
7. Kluciarova, D. och Gregorova, D., 2008 "Magnetic susceptibility as an indicator of heavy metal traffic pollution". *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 2008. **38**(1): p. 89-97.
8. Grimley, D.A., Arruda, N.K. och Bramstedt, M.W., 2004 "Using magnetic susceptibility to facilitate more rapid, reproducible and precise delineation of hydric soils in the midwestern USA". *Catena*, 2004. **58**(2): p. 183-213.
9. Fialova, H., Maier, G., Petrovsky, E., Kapička, A., Boyko, T. och Scholger, R., 2006 "Magnetic properties of soils from sites with different geological and environmental settings". *Journal of Applied Geophysics*, 2006. **59**(4): p. 273-283.
10. Chianese, D., D'Emilio, M., Di Salvia, S., Lapenna, V., Ragosta, M. och Rizzo, E., 2004 "Magnetic mapping, ground penetrating radar surveys and magnetic susceptibility measurements for the study of the archaeological site of Serra di Vaglio (southern Italy)". *Journal of Archaeological Science*, 2004. **31**(8): p. 633-643.

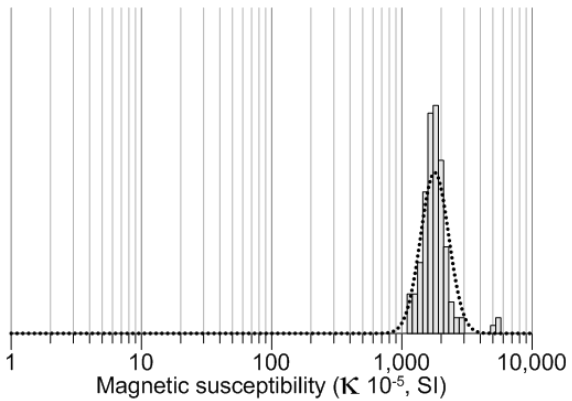
11. Blomqvist, G., Edvardsson, K., Gustafsson, M. och Wik, O.; "Damning från flygaskstabiliserade grusvägar", Askprogrammet, Rapport (under produktion), Värmeforsk Service AB, Stockholm, 2011.
12. "Physics handbook for science and engineering (Table 2.1)", 91-44-00823-6, Nordling & Österman, 1999.
13. *Hyperphysics*. Available from: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/magprop.html>.
14. Hemström, Bramryd, Wik, O., Johansson och Jägerbrand; "Ackumulering av metaller i vegetation på geotekniska askkonstruktioner", Askprogrammet, Rapport (under produktion), Värmeforsk Service AB, Stockholm, 2011.
15. Vestin, J., Arm, M., Nordmark, D., Hallgren, P., Tiberg, C., Lagerkvist, A. och Lind, B.; "Effektivt askutnyttjande i vägar", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 1169, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Januari 2011.
16. Mácsik, J.; "Flygaska som förstärkningslager i grusväg", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 949, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Januari 2006.
17. Axberg, S.; "Askprogrammet 2009-2011, Utvärdering och rekommendationer", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Rapport 1154, Värmeforsk Service AB, Stockholm, Oktober 2010.
18. Bjurström, H., Grönstedt, S. och Shamsa, S.; "Förvaltning av databasen Allaska under 2009", Askprogrammet. Miljöriktig användning av askor, Orientering 129, Värmeforsk Service AB, Stockholm, November 2010.

## Bilagor

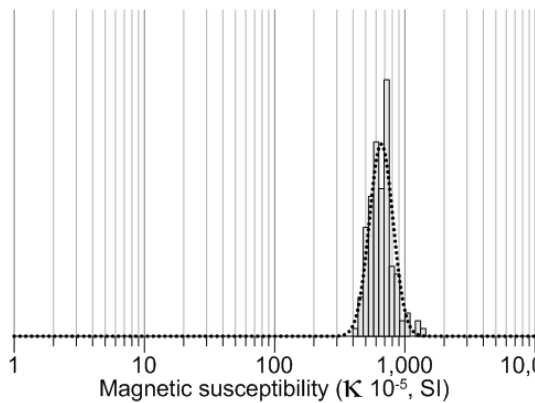
Här följer histogrammen över magnetiserbarheten för de referensprov som uppmätts i laboratorium och ingår i sammanställningen i Figur 7.



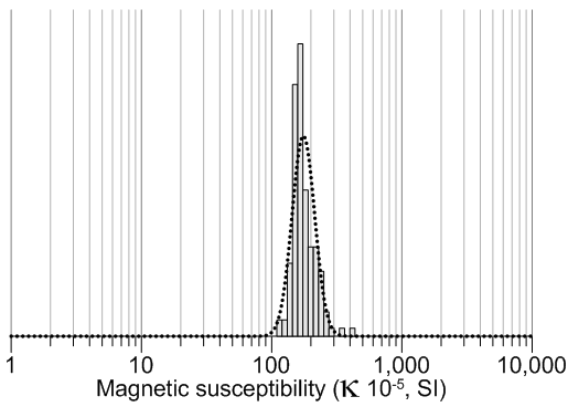
Linköpings reningsverk (prov 4)



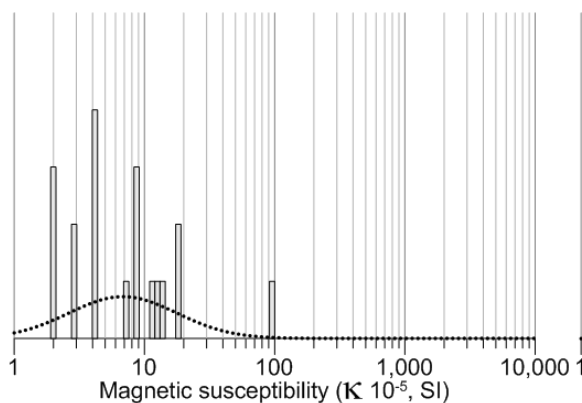
Tekniska verken (prov 1)



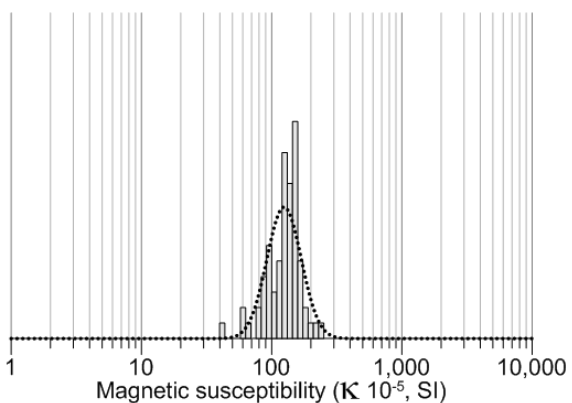
Törringevägen (prov 7)



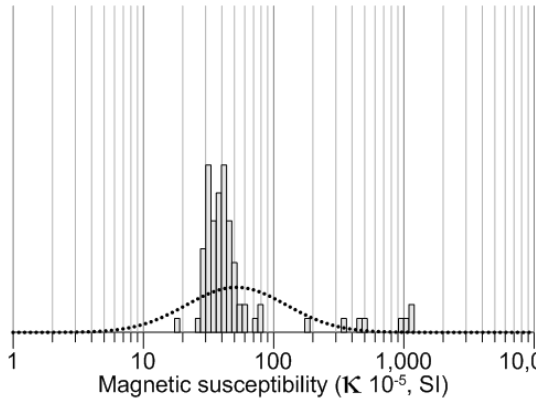
Vedaska (prov 10)



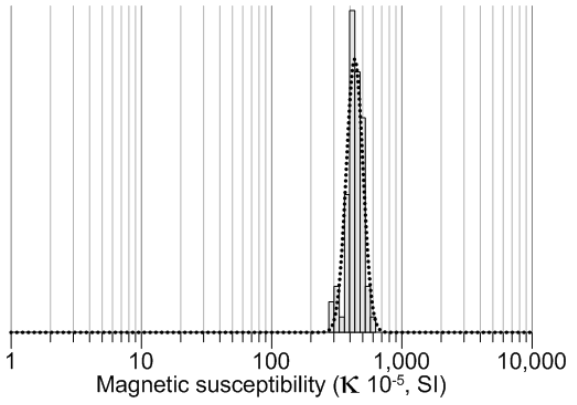
Kvarssand (överskattat pga negativa värden)



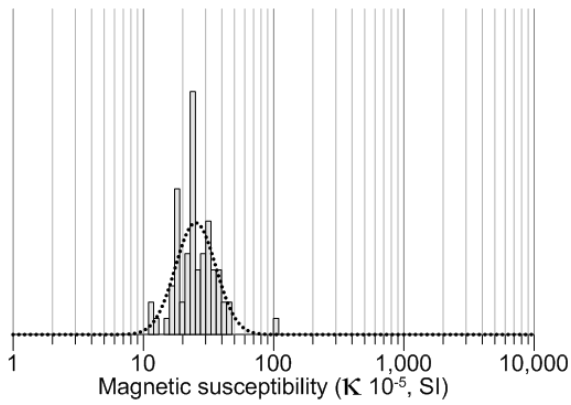
Morän



Schaktmassor



Bergkross



Plantjord

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

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED  
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

[www.varmeforsk.se](http://www.varmeforsk.se)

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35