

EXAMENSARBETE

Metallers lakningsbenägenhet hos järnsand i banvall



LENA ANDERSSON

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET

Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Avfallsteknik

Metallers lakningsbenägenhet hos järnsand i banvall



LENA ANDERSSON

Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Avfallsteknik

FÖRORD

Detta examensarbete utgör den avslutande delen av civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik med inriktning mot teknisk miljövård vid Luleå tekniska universitet. Uppgiften har varit att med hjälp av lakförsök undersöka metallens lakningsbenägenhet hos ballastmaterial som innehåller en hög andel järnsand och utifrån uppkomna resultat göra en riskbedömning med avseende på lakning av metaller.

Arbetet har utförts åt Banverket Norra Banregionen, Investeringssektionen med handledare Stig Sörlin. Handledare på universitetet har varit Holger Ecke, Avdelningen för avfallsteknik.

Stort tack till mina handledare Holger och Stig för mycket bra handledning. Jag vill också tacka Ulla-Britt Uvemo som hjälpte mig att komma igång med lakförsöken. Tack också till Per Lindmark, projektledare för projektet *Vännäs-Bastuträsk* som ekonomiskt gjort examensarbetet möjligt.

Luleå, April 2002

Lena Andersson

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete har utförts åt Banverket Norra Banregionen, Investeringssektionen i Luleå. Syftet med arbetet var att med hjälp av lakförsök undersöka metallers lakningsbenägenhet och miljöpåverkan hos banvallsmaterial som innehåller järnsand.

Banvallarna kan vara en källa till spridning av föroreningar. De innehåller föroreningar som t ex rester från oljor, tungmetaller, bekämpningsmedel och impregneringsmedel. I banvallarna har olika typer av slaggblandad järnsand använts som frostskyddsmaterial.

Eftersom pH i hög grad påverkar tillgängligheten av metaller valdes en lakmetod där lakning utförs vid tre olika statistiska pH-värden dvs pH_{stat} -test. Järnsandens lakningsbenägenhet jämfördes med ett referensmaterial som bestod av ett krossmaterial av bergarten gabbro.

Järnsand innehåller höga halter av Cu (2860 ± 115 mg/(kg TS)), Pb (5130 ± 285 mg/(kg TS)) och Zn (28533 ± 1201 mg/(kg TS)). Referensmaterialet har låga halter av de flesta tungmetaller jämfört med järnsanden, Cu ($66 \pm 3,6$ mg/(kg TS)), Pb ($1,5 \pm 0,2$ mg/(kg TS)) och Zn ($30 \pm 1,1$ mg/(kg TS)).

För att utföra en bedömning av ett materials påverkan på omgivande miljö är tillgängligheten av ett ämne av större betydelse än totalhalten. Lakförsöken visade att järnsanden är svårlakad. Detta kunde man se på t ex Zn som fanns i mycket hög halt (28533 ± 1201 mg/(kg TS)) där endast 0,06 % lakades ut som mest vid pH 4. Referensmaterialet visade procentuellt en högre lakbarhet, men järnsandens höga totalhalter gör att den specifika lakbarheten är högre.

Hur omgivande miljö har påverkats av järnsand som legat i banvallen i 35 år är svårt att uppskatta utan att göra ytterligare undersökningar *in situ*.

Mot bakgrund av denna och tidigare utförda undersökningar (Tossavainen, 2000), (Fällman & Carling, 1998) borde det inte vara något hinder för Banverket att återanvända massor som innehåller järnsand inom järnvägsområde. Om massor som innehåller järnsand avses återanvändas är noggrann dokumentation att rekommendera.

ABSTRACT

This master's degree thesis has been produced for Banverket the north region, the section of investment. The purpose of the study was to investigate the disposition of leaching of embankment material which include ironsand, and the possible environmental impact using leaching tests.

The embankment can be a source of distribution (spreading) of pollutants. The embankment contains pollutants like oil, heavy metals, weedkiller and impregnating agents. Several types of slagmaterials, one of them ironsand, has been used as frost protection material in the embankment.

Since pH affect the availability of heavy metals a method when leaching with three different static pH-values (pH_{stat}-test) was choosed. The leaching of the ironsand was compared with a rock material (Gabbro).

The ironsand contain a high content of Cu (2860±115 mg/(kg TS)), Pb (5130±285 mg/(kg TS)) and Zn (28533±1201 mg/(kg TS)). The referencematerial has low content of most heavymetals compared with ironsand, Cu (66±3,6 mg/(kg TS)), Pb (1,5±0,2 mg/(kg TS)) and Zn (30±1,1 mg/(kg TS)).

The availability of a substance is more important than the total content to estimate a material's influence at the surrounding environment. The leaching tests showed that the ironsand do not leach easy. For example the content of Zn is (28533±1201 mg/(kg TS)) but only 0,06 % was leached out in pH 4. The referencematerial showed a higher leachability in percent but the total content in the ironsand gives that the specific leachability is higher.

How the surrounding environment influenced by ironsand in 35 years is hard to estimate without investigations *in situ*.

This and other investigations, (Tossavainen, 2000), (Fällman & Carling, 1998), has showed that the leachability of the ironsand is low. There is probably not a problem for Banverket to recycle embankment material including ironsand in the area of the railway. If ironsand is recycled documentation of the places are being recommended.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	5
2	LITTERATURSTUDIE	6
2.1	Banvallar.....	6
2.1.1	Banvallens uppbyggnad.....	6
2.1.2	Överskottsmassor.....	7
2.1.3	Miljön i en banvall.....	7
2.1.4	Vittring.....	8
2.1.5	Mikrobiell aktivitet.....	8
2.1.6	Spridning av föroreningar.....	9
2.2	Metaller.....	9
2.2.1	Tillgänglighet.....	10
2.2.2	Metallers påverkan av pH och redoxpotential	11
2.3	Järnsand	12
2.3.1	Tillverkningsprocess.....	12
2.3.2	Användningsområden	12
2.3.3	Användning i Banverket	12
2.3.4	Sammansättning.....	12
2.3.5	Kornstorleksfördelning.....	13
4	MATERIAL OCH METODER	14
4.1	Provtagning.....	14
4.2	Torrsubstanshalt	14
4.3	pH-värde	15
4.4	pH _{stat} -test.....	15
5	RESULTAT	17
5.1	Totalhalter.....	17
5.2	Utlakning	18
6	DISKUSSION	20
6.1	Vald lakmetod	20
6.2	Utförande	20
6.3	Jämförelse av resultat	21
6.4	Miljöriskbedömning	22
6.5	Omhändertagande av överskottsmassor	25
7	SLUTSATSER	26
	REFERENSER	27
	BILAGOR 1-14	

1 INLEDNING

Järnvägen har funnits i Sverige i nästan 200 år. Trots att järnvägen betraktas som ett miljövänligt transportalternativ så har den negativa miljöeffekter i flera avseenden (bilaga 1). T ex kan banvallarna vara en källa till spridning av föroreningar. Banvallarna innehåller föroreningar som t ex rester från oljor, tungmetaller, bekämpningsmedel och impregneringsmedel.

Jord, grus och krossmaterial samt frostisoleringsmaterial såsom kolaska och flera typer av slagg från metallframställning kan återfinnas i banvallarna. Dessa material kan vara en källa till tungmetaller. På Rönnskärsverken i Skellefteå bildas en restprodukt vid kopparframställningen som kallas järnsand. Banverket har lagt ut järnsand som frostskyddsmaterial i banvallen, på flertalet sträckor i varierande mängd, under 60-talet.

Järnsand som frostskyddsmaterial kan betraktas som förorenad mark enligt Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark (MKM GV, MKM) p g a förhöjda totalhalter av Cu, Zn och Pb. Vid bedömning av risken för miljöpåverkan måste hänsyn tas även till metallers mobilitet.

Syftet med detta examensarbete var att ta reda på lakningsbenägenheten hos ballastmaterial som innehåller en hög andel järnsand och utifrån resultaten göra en riskbedömning med avseende på lakning av metaller. Syftet var även att ge förslag på hur överskottsmassor som innehåller järnsand ska hanteras då det tas upp ur banvallarna vid t ex ballastrening. Examensarbetet kan även vara en del i ett underlag för upprättande av platsspecifika riktvärden.

Examensarbetet inriktades på tungmetallerna Cu, Pb och Zn som fanns i höga halter vid analysen av totalhalterna i ballastmaterialet. Övriga föroreningar som kan förekomma i banvallar behandlas inte i detta examensarbete. De laktester som har genomförts har enbart analyserats med avseende på metaller.

Examensarbetet består av tre delar. En litteraturstudie om studieobjekten banvallar och järnsand. Den andra delen består av laboratorieundersökningar i form av laktester och den tredje en diskussion om materialets miljöpåverkan och omhändertagande.

2 LITTERATURSTUDIE

2.1 Banvallar

2.1.1 Banvallens uppbyggnad

Själva bankonstruktionen, järnvägen, består av överbyggnad och underbyggnad (figur 1). Till överbyggnad räknas ballast, slipers, räler med befästningsanordningar samt växlar. Banunderbyggnaden omfattar allt som behövs för att bära upp överbyggnaden, dvs banvall, broar, trummor etc. Ändamålet med banunderbyggnaden är även att utjämna terrängens ojämnheter (Jansson, 2001).

Vid byggande av järnväg ska så kallat frostpassivt material användas, som inte påverkas av vatten eller frost.

En god dränering är viktig att upprätthålla i banvallen och därför utformas diken till lämpliga djup längs hela banvallen (Jansson, 2001). Där banvallen går genom jord- eller bergskärning läggs ofta ett frostskyddsmaterial. Detta görs för att grundvattenytan i allmänhet är högre på sådana ställen (Thun, 2002).

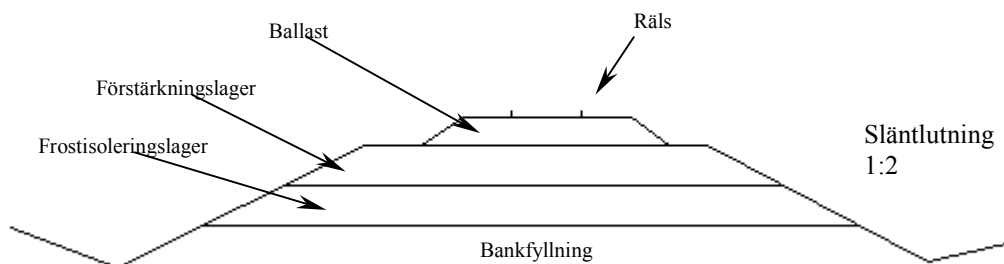
Banvallen måste vara väl dränerad för att undvika problem med instabilitet och bärighet samt uppfrysning vid kyla. Ballastmaterialet ska av den anledningen ha goda dräneringsegenskaper, vara hårt, slitstarkt och frostbeständigt samt vara fritt från organiskt material och lera (Jansson, 2001).

Partiklarna ska vara skarpkantade och kubiska. Stora och skrovliga partiklar gynnar spårstabiliteten och elasticiteten eftersom friktionen mellan partiklar och sliprar ökar. Dessa partiklar ger dessutom stora hålrum i ballasten vilket underlättar dränering och ger också ett stort utrymme för det finkorniga material som bildas när ballasten slits ner (Jansson, 2001).

I Sverige har grus länge varit ett dominerande ballastmaterial, men allt eftersom kraven på högre hastigheter och axellaster ökat har grusballast alltmer ersatts av krossat stenmaterial, s k makadam. Makadam krossas fram ur finkristallina bergarter, såsom diabas och granit, och levereras till Banverket i olika fraktioner (Jansson, 2001).

En typsektion (figur 1) av en banvall består av (Thun, 2002):

- ballast, makadam klass 1, 0,6 m
- underballast, förstärkningslager, krossmaterial 0 –150 mm, 0,8 m
- underballast, frostisoleringslager, kross- eller jordmaterial, 0,8 m
- bankfyllning, jord



Figur 1. Schematisk bild av en banvall.

2.1.2 Överskottsmassor

Banvallarna rensas med jämna mellanrum, i genomsnitt vart tionde år, från de mindre partiklar som uppstår i och med mekanisk vittring. En så kallad ballastrening utförs där räler och slipers lyfts upp och allt material mindre än 32 mm rensas bort från banvallen med en ballastreningsmaskin (Jansson, 2001). Vid ballastrening kan även material från andra lager t ex järnsand hamna i överskottsmassorna.

Ballastreningsmassornas egenskaper är oftast så goda att det är samhällsekonomiskt och miljömässigt intressant att återanvända materialet. Genom att återanvända massorna undviks en stor förbrukning av grusresurser (Jansson, 2001). Banverket avser själva att så långt det är möjligt försöka att återanvända material. De restprodukter som uppkommer i Banverkets verksamhet ska i första hand också omhändertas inom Banverket. Överskottsmassor används t ex till banvallsförstärkningar och bangårdsförlängningar.

2.1.3 Miljön i en banvall

Mark definieras som den övre delen av jordskorpan. Den kan utgöras av fast berg, lösa avlagringar som morän eller organiska bildningar som torvmark. Markens beståndsdelar utgörs av de fyra huvudkomponenterna mineralpartiklar, organiskt material, markluft och markvätska (Markinfo, 2002).

Banvallen är en väldigt extrem form av markmiljö där vissa av beståndsdelarna, som rötter, mikroorganismer och vatten, nästan saknas helt. Dessa delar är heller inte önskvärda i en banvall. Istället råder en dominans av minerogent material och miljön visar låg mikrobiell aktivitet (Jansson, 2001).

2.1.4 Vittring

Vittring omfattar de fysikaliska och kemiska förändringar som bergarter och mineral går igenom under påverkan av bl a vatten och biologisk aktivitet.

Man brukar skilja mellan tre vittringsprocesser, fysikalisk-, kemisk- och biologisk vittring, som oftast samverkar i marken (Markinfo 2002). Alla tre vittringsprocesserna förekommer även i banvallar.

Den fysikaliska vittringen sker genom olika former av mekanisk påverkan, t ex isbildning och snabba temperaturförändringar eller sprängverkan orsakad av rötter. Den kemiska vittringen innebär en mer eller mindre fullständig upplösning och att mineralens och bergarternas kemiska sammansättning förändras. Biologisk vittring kan hänföras som endera en kemisk vittring initierad av biologiska processer eller en fysikalisk vittring iscensatt av t ex rötters sprängverkan (Markinfo, 2002).

Kemisk vittring spelar den viktigaste rollen för mobilisering av olika ämnen till växttillgängliga former. Den kemiska vittringen förbrukar vätejoner och är därför också en process som motverkar vätejonansamling och pH-sänkning i mark och vatten (Markinfo, 2002).

Den kemiska vittringshastigheten beror främst av mineralsammansättning, kornstorleksfördelning, klimat och vittringsstimulerande ämnen som syror och organiskt material. Klimatfaktorer såsom temperatur och vattenöverskott (differensen mellan nederbörd och avdunstning inklusive växternas transpiration) som perkolerar ned genom marken påverkar vittringen. Ett annat viktigt förhållande är också hur länge marken är frusen under vinterhalvåret (Markinfo, 2002).

Vittringshastigheten beror också på partikelstorlek. Specifik yta är dock ett mer lämpligt begrepp än partikelstorlek eftersom vittring liksom de flesta markprocesserna sker på partikelytorna. Den specifika ytan definieras som den sammanlagda ytan hos alla partiklar i en viss mängd jord. Specifika ytan uppgår i regel för lerpartiklar till ca 10 - 50 m²/g mineraljord samt understigande 1 m²/g för partiklar i sandfraktionen (Markinfo, 2002). I en banvall förekommer de flesta fraktioner, från grovt makadam ner till lerpartiklar.

2.1.5 Mikrobiell aktivitet

Låg mikrobiell aktivitet pågår mer eller mindre även i en banvall trots att den innehåller mycket mindre organiskt material än vad naturlig mark gör.

Mikroorganismer och mikromiljöer påverkas generellt av bl a näringstillgång av både minerogent och organiskt ursprung, markstruktur, vatten, markluft, pH, temperatur och ljus. Mikroorganismer får en stor andel av sin nödvändiga näring från vittrande mineral. Organiskt material fungerar som en energikälla (Jansson, 2001).

I en banvall med makadam och under förhållanden med liten andel finpartiklar är porerna stora. I en sådan markmiljö har många mikroorganismer svårt att etablera sig. En banvall som har större andel finpartiklar får en mängd mikroorganismer som kan hjälpa till med nedbrytning av organiska föroreningar (Jansson, 2001).

Ju högre tillgång på syre desto högre aerob mikrobiell aktivitet. Porernas utseende och storlek inverkar även på mikroorganismernas tillgång till syre. Maximal biologisk aktivitet sker vanligen vid ytan där tillgången till syre är störst. I en banvall, där man strävar efter en god dränering, kan jämförelsevis mycket syre diffundera ner i profilen (Jansson, 2001).

2.1.6 Spridning av föroreningar

För att förstå hur föroreningar uppträder i markmiljön är det viktigt att ha inblick i hur marken fungerar och vilka processer som påverkar föroreningar.

Marken kan genom sorption (inkluderat jonbyte), utfällning, dispersion och mikrobiologisk aktivitet förändra en tillförd förorenings sammansättning och koncentration. Förutom de ämnesspecifika egenskaperna är det jordens egenskaper, som exempelvis dess vattenmättnadsgrad, permeabilitet, innehåll av organiskt material, kornstorleksfördelning, skiktning, djupet till grundvattennivån och djupet till berggrunden som styr en förorenings spridningsvägar (Jacobsson, Mácsik, et al. 1998).

Genom transport med vatten kan förflyttning av föroreningar ske nedåt och i sidled i banprofilen. Eftersom en banvall är en väl dränerad miljö sker genomflödet av vatten förhållandevis snabbt. Vattenlösliga föroreningar transporteras snabbare i denna miljö än vad de skulle ha gjort i en mindre genomsläpplig mark eller t ex i en väg med hårdgjord yta.

Föroreningar i porvatten kan transporteras till grundvatten med perkolerande regnvatten. När detta vatten når grundvattenytan sker en utspädning av föroreningen med grundvatten som kommer uppströms och från sidorna. När grundvattnet senare kommer till ett utströmningsområde t ex en sjö, sker ytterligare utspädning, hur stor beror på ytvattnets volym och omsättningstid (Naturvårdsverket, 1996)

2.2 Metaller

Många av de föroreningar som hotar miljön kan på olika sätt oskadliggöras. Genom kemiska och biologiska processer kan exempelvis organiska föroreningar brytas ned till enkla och relativt harmlösa oorganiska molekyler. Miljöpåverkande metaller kan däremot inte brytas ned till oskadliga ämnen, de är oförstörbara, och är således exempel på stabila (persistenta) ämnen. Det gör att spridning av metaller i naturen orsakar en näst intill evig förändring i miljön (Warfvinge, 1997).

En del metaller är essentiella eller livsnödvändiga för levande organismer i små koncentrationer, t.ex. koppar, zink och krom.

I stora koncentrationer kan metallerna vara skadliga. Andra metaller har såvitt man vet ingen nödvändig funktion hos levande organismer t ex bly, kadmium, kvicksilver och arsenik. Redan i mycket låga koncentrationer kan dessa metaller vara skadliga för växter och djur (Naturvårdsverket, 1993).

Till tungmetallerna brukar man räkna de metaller vars densitet överstiger 5 g per kubikcentimeter. Ett stort antal grundämnen hör till den gruppen, men i miljösammanhang figurerar i första hand Arsenik (As), Bly (Pb), Kadmium (Cd), Kobolt (Co), Koppar (Cu), Krom (Cr), Kviksilver (Hg), Nickel (Ni), Tenn (Sn), Vanadin (V) och Zink (Zn). Övriga tungmetaller uppträder bara undantagsvis i så höga halter att de får skadliga effekter. As brukar räknas till de miljöfarliga tungmetallerna trots att den egentligen är en halvmetall (Naturvårdsverket, 2002).

2.2.1 Tillgänglighet

Metaller förekommer naturligt i låga halter i sötvatten. Fördelningen av metaller mellan fast fas och vattenfas i vattenmiljöer bestäms främst av processerna komplexbildning, sorption och utfällning. Komplexbildning orsakar ofta en förhöjning av metallkoncentrationen i vattenfasen medan sorption och utfällning normalt minskar koncentrationen i vattenfasen.

Tillgängligheten, vilket ofta anses motsvara potentialen för en metall att orsaka miljöstörande effekter, kan antas vara större om metallen är löst i vatten än om den är bunden till partiklar. Förekomstformen av metallerna är av största betydelse bland annat för deras biotillgänglighet och toxicitet (Öman, Malmberg, et al. 2000).

De flesta ämnen färdas långsammare än vattnet på sin väg genom marken vidare till grund- och ytvatten. Det beror på att de av olika orsaker kan fastläggas i marken. De viktigaste kemiska mekanismerna är adsorption och utfällning. För många ämnen, speciellt för metaller som t ex Pb, Cu, Zn och Cd, är adsorption den viktigaste mekanismen som avgör ämnets transporthastighet medan utfällning är mindre viktigt. (Naturvårdsverket, 1993). För Fe och Mn är utfällning vanligt, dessa förekommer ofta utfällda som järn- och manganoxidhydroxider.

Metaller kan adsorberas till jordens partikelytor genom ytkomplexbildning (då metallen bildar komplex med en grupp i partikelytan) eller genom jonbyte (då metallkationer binds elektrostatiskt till negativa laddningar på partikelytan). Tänkbara typer av partikelytor dit metallerna kan bindas är olika slags oxider, lermineral och humusämnen. Speciellt de sistnämnda har visat sig vara centrala för många metallers bindning i jord (Naturvårdsverket, 1993).

Humusämnena komplexbinder metaller genom framför allt sina karboxyl- och fenolgrupper. En hög halt humus i jorden kan därför ofta minska risken för metalläckage. Men om vattnet i sig innehåller mycket lösta humusämnen, kan komplexbundna metaller transporteras med hjälp av humusen (Naturvårdsverket, 1993).

As beter sig inte på samma sätt som metallerna. I en oxiderande miljö finns As ofta som en anjon, arsenat (AsO_4^{3-}), som har mycket stor förmåga att adsorberas till oxider, framför allt järnoxid, medan humus och lermineral är oviktiga partikelytor i sammanhanget (Jansson, 2001).

2.2.2 Metallers påverkan av pH och redoxpotential

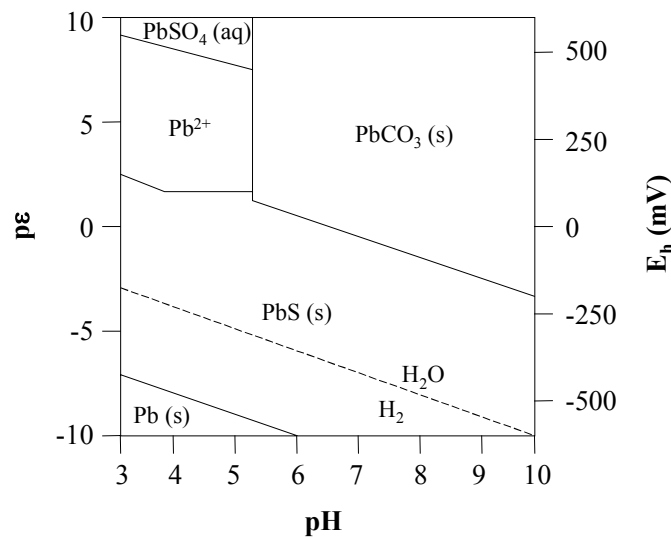
Redoxpotential (Eh) och pH är två viktiga faktorer som påverkar i vilken form metallen förekommer.

pH påverkar lösligheten av flertalet föreningar, kemiska reaktioner och biologiska processer. Det förekommer ingen biologisk aktivitet vid extrema pH-värden, t ex vid $\text{pH} < 1$ och $\text{pH} > 10$ (Ecke, Bergman, et al. 2000).

Många processer påverkar pH i marken t ex nedbrytning av organiskt material, vittring av primära mineral, katjonutbyte eller olika mikroorganismers aktivitet.

pH påverkar i hög grad tillgängligheten av metaller. Sur miljö, dvs lågt pH, medför att utlakningen av metaller ökar (Naturvårdsverket, 1993). De flesta metaller löser sig lättare och stannar i löst form i vatten med lägre pH.

Redoxförhållanden påverkar lösligheten av föreningar, den biologiska aktiviteten och pH. De flesta metaller bildar utfällningar med låg löslighet när redoxpotentialen är låg (figur 2) (Ecke, Bergman, et al. 2000).



Figur 2. Exempel på diagram som visar dominerande områden för ett system som innehåller Pb^{2+} , HS^- and HCO_3^- vid 298 K och $1,013 \times 10^5$ Pa (Ecke et. al. 2000). Den streckade linjen visar stabilitetsområdet för vatten.

2.3 Järnsand

2.3.1 Tillverkningsprocess

Råvaran vid Rönnskärsverken består till största delen av anrikad kopparmalm, så kallad kopparslig. Vid kopparframställningen tillsätts kvarts som slaggbildare. Kvartsen förenar sig med järnet i kopparsligen och bildar kopparslag som avskiljs från skärstenen i smält form. Slaggen renas genom slagg-fuming, vilket innebär att man i en vattenkyld ugn, fumingugn, omvandlar den flytande slaggens zink- och blyinnehåll till metallånga, som i sin tur oxideras och faller ut som stoft i en gasreningsanläggning. Slaggen tappas från fumingugnen till en elektriskt värmd sättningsugn där den renas ytterligare från koppar. Därefter granuleras den till järnsand. Kvarstående metaller är bundna som silikater (Borell & Peterson, 2001).

2.3.2 Användningsområden

Järnsand har goda isolerande och dränerande egenskaper och används framför allt som tjälisolerande material vid väg- och husbyggnad. I Skellefteå kommun har materialet använts i bil- och cykelvägar sedan början av 70-talet. Järnsandens granulerade form gör att den med fördel kan användas om blästermedel (Borell & Peterson, 2001).

Järnsand klassas inte, trots dess höga tungmetallhalt, som farligt avfall. Boliden har under många år sålt och säljer fortfarande järnsand bl a som vägbyggnationsmaterial. Järnsand säljs också som blästermedel under marknadsnamnet Fajalit. EWC-koden för Fajalit är 10 06 01, vilket enligt *Avfallsförordningen (SFS 2001:1063)* står för *slagg från primär och sekundär smältning*.

2.3.3 Användning i Banverket

På 1960-talet har Banverket använt olika typer av frostskyddsmaterial i banvallarna. Material som har använts är bland annat kolaska, slagg från NJA (nuvarande SSAB) och Rönnskär (järnsand). Järnsanden har lagts i 0,40 – 1,40 m tjocka lager på sträckor allt mellan 20 – 200 m. Järnsand kan påträffas på ett djup av 40 – 60 cm under rälsunderkant (Jerbo, 1966). På sträckan Vännäs – Tvärålund som är ca 17,5 km lång har järnsand lagts ut på sammanlagt 2 km det blir ca 2000 m³ om man räknar med en lagertjocklek på i genomsnitt 1 m.

2.3.4 Sammansättning

Järnsand består till största delen av silikater och oxider (tabell 1) (Borell & Peterson, 2001). Koncentrationen av ämnen är nästan identisk med sammansättningen i mineralet Fayalite (Fe₂SiO₄) (Tossavainen, 2000). Vanligast förekommande är järn, kisel, aluminium, kalcium och zink. Av spårämnena återfinns förutom zink, de högsta koncentrationerna av koppar, barium, molybden och krom. Järnsanden innehåller även en del svavel (Fällman & Carling, 1998).

På Rönnskärsverken analyseras järnsanden dagligen och kvartalsvärden sammanställs för ett antal föreningar. I tabell 1 anges medelvärdet för kvartalsvärden från 1998, 1999 och de två första kvartalen under 2000 (Borell & Peterson, 2001).

Tabell 1 Järnsandens sammansättning

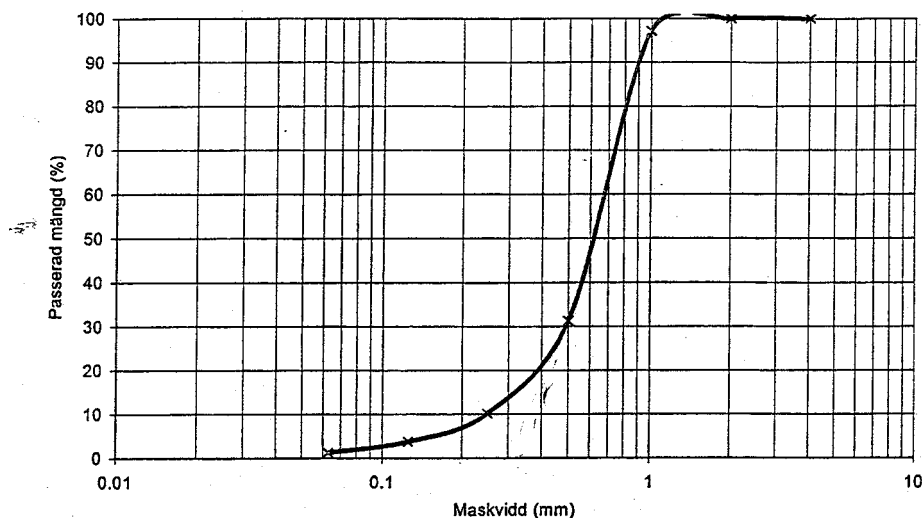
Huvudbeståndsdelar		Grundämnen ¹⁾			Medelvärde av kvartalsvärden från 1998-2000 ²⁾		
Ämne	%	Ämne	%	mg/(kg TS)	Ämne	%	mg/(kg TS)
FeO	45-50	Fe	36,6000	366 000	Fe	36,600	366 200
SiO ₂	35-38	Si	18,2000	181 500	SiO ₂	35,200	351 500
CaO	2-4	Al	2,5700	25 650	CaO	2,540	25 400
Al ₂ O ₃	4-5	Ca	1,4600	14 600	Zn	1,380	13 800
MgO	1-1,5	Zn	1,3200	13 200	S	0,650	6 500
		Mg	0,8000	8 000	Cu	0,540	5 400
		Na	0,6390	6 385	Pb	0,024	240
		S	0,6110	6 105	As	0,005	50
		K	0,5470	5 465			
		Cu	0,4750	4 750			
		Mn	0,2900	2 900			
		Cr	0,1600	1 595			
		Pb	0,0135	135			
		Ni	0,0131	131			
		As	0,0017	17			
		Cd	0,0001	1			
		Hg	0,0001	0,7			

1) Ett urval av totalhalter (n=2) av ämnen järnsand (Fällman, Carling, 1998). Materialets ålder är 0 – 3 år.

2) Medelvärden av kvartalsvärden 1998:1-2000:2 (Borell & Peterson, 2001).

2.3.5 Kornstorleksfördelning

Kornstorleken för huvuddelen av materialet (87 %) ligger inom 0,25-1mm vilket kornfördelningskurvan i figur 3 visar. 0,06-2 mm utgör kornfördelning för sand. (Fällman & Carling, 1998).



Figur 3. Kornstorleksfördelning för Järnsand (Fällman & Carling, 1998).

4 MATERIAL OCH METODER

4.1 Provtagning

Proverna är tagna i november 2001 ur banvallen på sträckan Vännäs-Tvärålund. Provtagningen omfattades av totalt 25 prover och är tagna i grupper om 3-5 st med några kilometers mellanrum. Provtagningen utfördes i varje provpunkt som ett skrapprov manuellt med spade genom ett tvärsnitt i banvallen på ett djup av ca 0,5 m. Provmängden är 1 kg per prov.

Vid en okulär bedömning av proverna dras, på grund av provernas svarta färg, slutsatsen att dessa till största delen innehåller järnsand. Ballastmaterialet kallas för järnsand i labbförsök, tabeller och diagram även fast det kan innehålla andra material.

Material till lakförsöken valdes ut från en delsträcka på 30 meter och 200 g provmaterial från tre punkter tagna med tio meters mellanrum (km 871+340, 871+350 och 871+360) slogs ihop till ett samlingsprov. Provmaterialet blandades och en provmängd på 150 g togs ut med manuell neddelning enligt kvarteringsmetoden.

Eftersom inget referensprov kunde tas ur banvallen under vintern togs referensprov från Kallax grus och betong. 10 prov togs slumpmässigt ur en hög med krossmaterial, dessa blandades och en provmängd på 150 g togs ut med manuell neddelning enligt kvarteringsmetoden.

Referensmaterialet består av ett krossmaterial av bergarten gabbro med kornstorleken ≤ 4 mm. Gabbro är en mörkgrå till svart djupbergart, vilken stelnat på stort djup i jordskorpan och därför har grovkornig textur. Mineralinnehållet utgörs väsentligen av kalciumrik plagioklas ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) och pyroxen. Gabbro tillhör de lättvittrade bergarterna (Loberg, 1993).

Materialen som använts i lakttesterna har analyserats av SGAB Analytica i Luleå. Tre prover av varje material lämnades in för bestämning av totalhalter genom grundämnesanalys enligt metod MG-1. Grundämnesanalyserna har utförts med plasma-emissionsspektrometri (ICP-AES), plasma-masspektrometri (Quadrupol) (ICP-QMS), plasma-masspektrometri (Sektor) (ICP-SMS) och atomfluorescens (AFS) (bilaga 2). Medelvärden och standardavvikelser beräknades av tre prover (bilaga 3).

Vid beräkningen av standardavvikelsen för procentuellt utlakad mängd användes *spreadsheet metoden* för att undvika felfortplantning.

4.2 Torrsubstanshalt

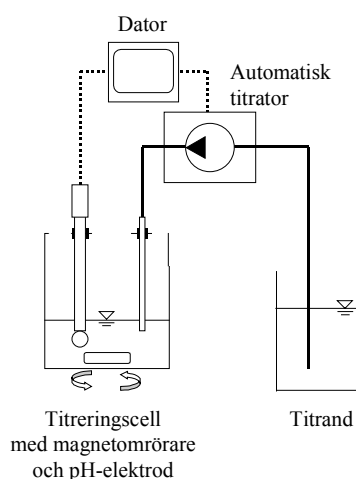
Materialens torrsubstanshalt (TS-halt) bestämdes genom att väga upp ca 10 g av varje material i tre deglar och torka det i en ugn i 105 °C, ett dygn. Deglarna fick svalna i en exsickator, därefter vägdes materialet på nytt och med kännedom om viktförlusten kunde torrsubstanshalten beräknas (bilaga 4).

4.3 pH-värde

Materialens naturliga pH-värde mättes genom att väga upp ca 4 g material och tillsätta 10 ml destillerat vatten. Fem prover av varje material fick stå i kolvar på ett skakbord i ett dygn innan pH mättes. (bilaga 5).

4.4 pH_{stat}-test

Med s k pH_{stat}-test kan utlakningens pH-beroende undersökas. pH_{stat}-test används där lakning ska ske vid ett konstant pH-värde. Försöket utförs under omrörning i 24 timmar vid ett bestämt L/S-förhållande. Utlakningen definieras som lakvattenmängd (L = liquid) i förhållande till mängd fast fas (S = solid) (bilaga 6). En syra eller en bas tillsätts, genom en datorstyrd titreringsapparat (figur 4), för att hålla ett bestämt pH-värde konstant (Fällman & Carling, 1998). Lakning och ett urval av andra lakmetoder beskrivs kortfattat i bilaga 7.



Figur 4. Schematisk bild av uppställningen vid pH-stattest (Cremer & Obermann, 1992).

Lakförsöken utfördes vid tre olika pH-värden, pH 4, pH 9 och järnsandens naturliga pH (6,7). Tre försök gjordes vid varje pH-värde. I försöket vid pH 4 tillsattes 0,001 M HNO₃ (salpetersyra), (0,009±0,001 mmol (H⁺)/(g TS)) och vid pH 9 tillsattes 0,01 M NaOH (natriumhydroxid), (0,021±0,001 mmol (OH⁻)/(g TS)). Vid pH 6,7 lakades järnsanden utan tillsats av syra eller bas (bilaga 8).

Även för referensmaterialet utfördes lakförsöken vid pH 4, pH 6,7 och pH 9,3. I försöken vid pH 4 och pH 6,7 tillsattes 0,01 M HNO₃, (0,053±0,006 mmol (H⁺)/(g TS)) resp. (0,021±0,005 mmol (H⁺)/(g TS)) och vid pH 9,3 tillsattes 0,10 M NaOH, (0,051±0,010 mmol (OH⁻)/(g TS)). Eftersom pH-värdet sjönk med en pH enhet under ett dygn lakades referensmaterialet vid pH 9,3 istället för pH 9, detta för att kunna tillsätta NaOH under hela lakningsförloppet.

Försöken utfördes vid L/S=10 (beräkning se bilaga 6) under omrörning med magnetomrörare i 24 timmar. 5 g av varje material vägdes in i en bägare.

Därefter tillsattes 50 ml destillerat vatten. pH hölls konstant i försöken genom tillsats av salpetersyra eller natriumhydroxid. Lösningen filtrerades i ett mikrofilter med porstorlek 0,45 µm och sattes i syradiskade provburkar.

Proverna surgjordes med en droppe koncentrerad salpetersyra. Proverna förvarades, i slutna burkar, i kylskåp fram till analystillfället.

Vattenproverna från lakttesterna (pH_{stat}-test) har analyserats av SGAB-Analytica i Luleå. Analyser som utförts på vattenproverna är grundämnesanalys av förorenade vatten för bestämning av lägre metallhalter (V-3a). Grundämnesanalyserna har utförts med plasma-emissionsspektrometri (ICP-AES), plasma-masspektrometri (ICP-SMS) och atomfluorescens (AFS) (bilaga 9). Den utlakade mängden per liter räknades om till utlakad mängd per kilo torrsubstanshalt. Medelvärden och standardavvikelse beräknades av tre prover. Resultaten redovisas i sin helhet i bilaga 10.

5 RESULTAT

Resultaten fokuseras i första hand på de tungmetaller som förekom i de största mängderna i järnsanden, dessa är bl a Cu, Pb och Zn. Resultatet för övriga metaller kan utläsas i bilaga 11.

5.1 Totalhalter

Analysresultaten visade att järnsanden består till största delen av silikater ($40\pm 0,3\%$) och av järnoxid ($42\pm 0,4\%$). Referensmaterialet består till största delen av silikater ($47\pm 0,5\%$) och aluminium- ($17\pm 0,4\%$), kalcium- ($11\pm 0,3\%$) och järnoxider ($11\pm 0,06\%$) (bilaga 3).

I tabell 2 jämförs totalhalterna för några av tungmetallerna i referensmaterialet och järnsand från 60-talet med järnsand från 90-talet som analyserats i försöket som gjorts av Fällman och Carling (1998).

Tabell 2 Totalhalter i ren järnsand 0-3 år från 90-talet, järnsand som legat i banvallen sen 60-talet och referensmaterial

Ämne	SGI Järnsand ¹⁾	Järnsand ²⁾		Gabbro	
	mg/(kg TS)	mg/(kg TS)	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav
As	17,20	924,00	48,22	1,76	0,26
Pb	135,00	5310,00	248,80	1,47	0,21
Cd	1,00	6,70	0,15	0,03	0,00
Co	165,00	625,30	23,03	23,03	0,15
Cu	4750,00	2860,00	115,30	66,43	3,63
Cr	1595,00	502,00	10,10	182,00	8,33
Hg	0,71	0,04	0,00	0,04	0,00
Ni	131,00	157,00	6,56	52,43	2,49
V	55,10	75,10	0,53	278,00	11,70
Zn	13200,00	28533,00	1201,00	30,03	1,10

1) Ren järnsand 0-3 år från 90-talet. (Fällman & Carling, 1998).

2) Ballastmaterial som innehåller hög andel järnsand från 60-talet.

Stdav = standardavvikelse

Jämför man järnsanden från 60-talet och 90-talet ser man att totalhalten As, Pb, Cd, Co och Zn var mycket högre på 60-talet medan Cu och Cr var lägre.

Referensmaterialet som är ett naturmaterial visar låga halter av alla metaller utom vanadin (V) där värdet är högre än järnsandens (tabell 2).

Totalhaltsanalysen visade en liten spridning mellan de tre proven. Resultaten redovisas i sin helhet i bilaga 3.

5.2 Utlakning

I tabell 3 och 4 visas resultaten för ett urval av tungmetallerna. Tabellerna visas i sin helhet i bilaga 11.

Tabell 3. Jämförelse av utlakad mängd i mg (kg TS)⁻¹ och procentuellt utlakad mängd hos järnsand vid pH 4, 6,7 och 9 (n = 3).

Ämne	Totalhalt mg/(kg TS)	Utlakbart					
		pH 4		pH 6,7		pH 9	
		mg/(kg TS)	%	mg/(kg TS)	%	mg/(kg TS)	%
As	924±48	0,32±0,33	0,035	0,29±0,11	0,031	2,02±0,37	0,219
Cd	6±0,1	0,02±0,00	0,357	0,002±0,0	0,027	0,002±0,0	0,024
Co	625±13	0,42±0,03	0,068	0,05±0,04	0,008	0,01±0,00	0,002
Cr	501±10	0,02±0,00	0,004	0,02±0,01	0,003	0,04±0,00	0,008
Cu	2860±115	35,82±0,58	1,253	0,90±0,35	0,032	2,47±0,75	0,086
Ni	157±7	0,38±0,03	0,244	0,08±0,07	0,052	0,03±0,01	0,021
Pb	5310±285	21,74±0,27	0,409	1,28±0,47	0,024	3,48±1,12	0,066
Zn	28533±1201	17,46±1,68	0,061	1,32±0,98	0,005	0,60±0,18	0,002

Tabell 4. Jämförelse av utlakad mängd i mg (kg TS)⁻¹ och procentuellt utlakad mängd hos referensmaterial vid pH 4, 6,7 och 9 (n = 3).

Ämne	Totalhalt mg/(kg TS)	Utlakbart					
		pH 4		pH 6,7		pH 9	
		mg/(kg TS)	%	mg/(kg TS)	%	mg/(kg TS)	%
As	1,8±0,3	0,02±0,00	0,911	0,012±0,00	0,683	0,01±0,00	0,626
Cd	0,03±0,0	0,002±0,00	6,250	0,001±0,00	3,125	0,001±0,0	3,125
Co	23±0,2	0,39±0,13	1,708	0,026±0,01	0,113	0,002±0,0	0,009
Cr	181±8,3	0,006±0,00	0,003	0,00032±0	0,000	0,00003±0	0,000
Cu	66±3,6	0,43±0,08	0,643	0,012±0,00	0,018	0,02±0,00	0,023
Ni	52±2,5	0,14±0,05	0,259	0,024±0,01	0,046	0,00038±0	0,001
Pb	1,5±0,2	0,04±0,02	2,658	0,002±0,00	0,136	0,002±0,00	0,136
Zn	30±1,1	2,37±1,02	7,885	0,095±0,04	0,316	0,02±0,01	0,063

För de flesta element visade referensmaterialet en högre procentuell lakbarhet än järnsanden, vid alla tre pH-värden (tabell 3 och 4).

Den specifika lakbarheten (mg/(kg TS)) var högre för järnsand (tabell 3, och 4), eftersom flera av ämnena förekommer i mycket höga halter. De flesta ämnena visade en lakbarhet mindre än en procent. K var det ämne som gav den procentuellt högsta utlakbara mängden vid alla tre pH-värden i båda materialen. Vid pH 9 visar även Na en högre procentuell lakbarhet än övriga ämnen (bilaga 11).

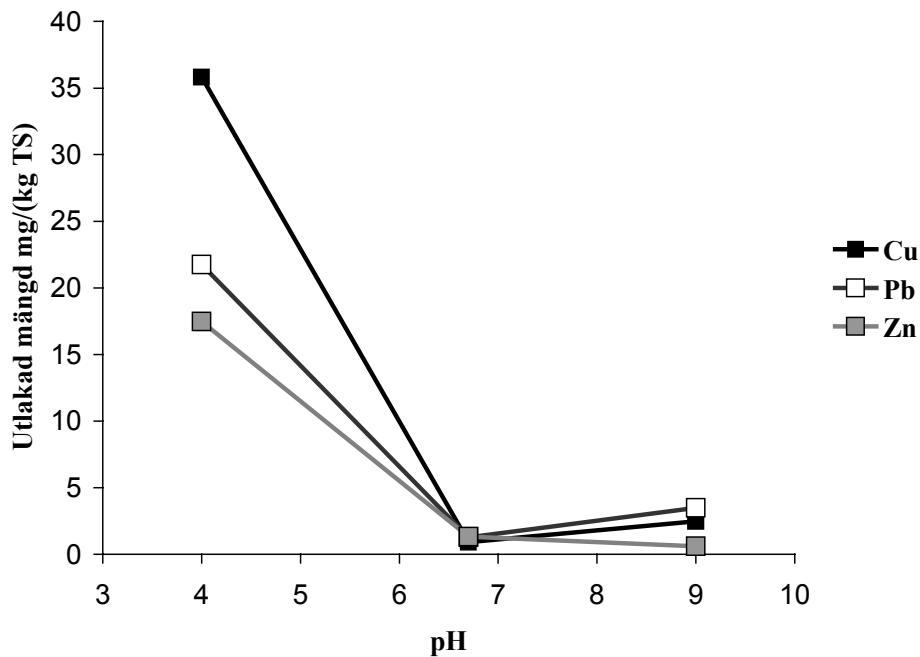
Cu lakar procentuellt mer i järnsanden än i referensmaterialet medan Pb och Zn lakar procentuellt mer i referensmaterialet (tabell 3 och 4). Vid pH 4 i järnsanden var lakbarheten för Cu 35,82±0,58 mg/(kg TS) vilket utgjorde 1,25 % av den totala mängden Cu i proven. I referensmaterialet var lakbarheten för Cu 0,43±0,08 mg/(kg TS) vilket utgjorde 0,64 %.

I järnsanden, vid pH 4 (tabell 3), visade Pb en lakbarhet på $21,74 \pm 0,27$ mg/(kg TS) vilket utgjorde 0,41 % av den totala mängden Pb.

Zn förekom i större mängd än Cu i järnsand. Zn hade vid pH 4 (tabell 3) en lakbarhet på $17,46 \pm 1,68$ mg/(kg TS) vilket endast utgjorde 0,061 % av den totala mängden Zn i proven.

Vid pH 6,7 och pH 9 (tabell 3) minskade de utlakbara mängderna betydligt för de flesta av ämnena. Skillnaden är markant för bl a Cu, Pb och Zn. As lakas ut i ytterst små mängder i båda materialen (tabell 3 och 4). I järnsanden lakas den största mängden As ut vid pH 9, $2,02 \pm 0,37$ mg/(kg TS) vilket utgör 0,219 % av den totala halten i proven. Referensmateriallets totalhalt As är mycket liten men materialet visade en procentuellt högre lakbarhet för As än järnsand.

Ett lägre pH än det som naturligt förekommer i järnsanden (pH 6,7) gav en högre utlakning. I figur 5 kan man utläsa att vid pH 4 visade alla tre metallerna den största lakbarheten. Vid pH 6,7 har den lakbara mängden sjunkit betydligt för alla tre metallerna. Vid pH 9 steg den utlakbara mängden för Cu och Pb en aning medan den fortsätter att sjunka för Zn.



Figur 5. Jämförelse av utlakade mängder Cu, Pb och Zn mg/(kg TS) vid tre olika pH-värden för järnsand.

6 DISKUSSION

6.1 Vald lakmetod

Lakförsök mäter förmågan hos ett material att avge föroreningar. Materialet utsätts för en lakvätska och mängden föroreningar i lakvattnet mäts och jämförs med referensvärden som till exempel halter i grundvatten eller naturliga bakgrundshalter (Ecke et al.1999). Det finns flera olika lakmetoder (bilaga 7). Vilken metod som används beror på vilket material som ska undersökas och vilken information som är intressant i varje specifikt fall. Eftersom pH i hög grad påverkar tillgängligheten av metaller valdes en lakmetod där lakning utförs vid olika konstanta pH-värden dvs pH_{stat}-test.

Man kan säga att en pH_{stat}-test beskriver *värsta fallet* dvs den största mängd av de olika ämnena som kan lakas ut vid ett visst pH-värde. Detta pga att materialet rörs om under hela försöket så att en intensiv kontakt mellan lakvätskan och materialet uppstår. I lakförsöken kom syre i kontakt med lakvätskan och materialet, vilket representerar en oxiderande miljö. En oxiderande miljö ökar de flesta metallers mobilitet.

Under naturliga förhållanden i en banvall kommer inte vatten i kontakt med materialet på samma sätt eftersom materialet ligger hoppackat och stilla. Vattnet tar olika vägar genom banvallen och kommer inte i intensiv kontakt med alla partiklar. Banvallen är förmodligen också en mindre oxiderande miljö, syre har inte lika stort tillträde som i en öppen behållare. Ämnens lakbarhet är sannolikt mindre i en banvall än vid labbförsöket.

6.2 Utförande

Järnsandsproverna från de tre provpunkterna blandades till ett samlingsprov. Ett samlingsprov representerar bättre massorna som hanteras vid t ex en ballastrening än vad ett prov som endast kommer från en punkt gör.

Lakförsöken utfördes vid tre olika pH-värden, pH 4, pH 9 och järnsandens naturliga pH (6,7). pH-värdena valdes inom intervall som kan tänkas förekomma naturligt. Under pH 4 och över pH 9 är inte vanligt. För att kunna se om det fanns någon variation gjordes tre försök vid varje pH-värde. Det visade sig att för flera av metallerna var det stora skillnader i utlakad mängd mellan de tre försöken vid samma pH-värde (bilaga 10). För att öka exaktheten är det viktigt att ha flera prov. Ett enda prov kan vara en extrem i någon riktning och kan leda till att felbedömningar görs.

Ballastmaterialet kallades för järnsand trots att det även kan innehålla andra material, men av provernas svarta färg gjordes bedömningen att de innehöll mycket stor andel järnsand. I försöket med järnsand vid pH 4 tillsattes 0,001 M HNO₃ (salpetersyra), vid järnsandens naturliga pH (6,7) tillsattes ingen syra eller bas och vid pH 9 tillsattes 0,01 M NaOH (natriumhydroxid).

För referensmaterialet utfördes lakförsöken vid pH 4, pH 6,7 och pH 9,3. I försöken vid pH 4 och pH 6,7 tillsattes 0,01 M HNO₃ och vid pH 9,3 tillsattes 0,10 M NaOH. Både järnsand och referensmaterialet visade en initial buffertkapacitet. För att få ner pH-värdet till 4 förbrukade järnsanden 0,009±0,001 mmol (H⁺)/(g TS) och referensmaterialet 0,053±0,006 mmol (H⁺)/(g TS). Vid pH 9 förbrukade järnsanden 0,021±0,005 mmol (OH⁻)/(g TS) och referensmaterialet 0,051±0,010 mmol (OH⁻)/(g TS). Referensmaterialet har större buffertkapacitet än järnsanden på grund av att mer mmol/g TS fick tillsättas av både syran och basen (bilaga 8).

6.3 Jämförelse av resultat

Det visade sig att hur mycket som lakar ut från järnsanden i hög grad beror på pH i lakvattnet. För de flesta metallerna var utlakningen störst vid pH 4. Utlakad mängd i järnsanden sjönk betydligt för bl a Cu, Pb och Zn vid lakning med destillerat vatten (pH 6,7). Vid pH 9 steg den utlakbara mängden en aning för bl a Cu och Pb. As visar ett omvänt förhållande, den utlakade mängden var högst vid pH 9 och lägst vid pH 4.

Järnsand innehåller höga halter av Cu (2860±115 mg/(kg TS)), Pb (5130±285 mg/(kg TS)) och Zn (28533±1201 mg/(kg TS)). Referensmaterialet har låga halter av de flesta tungmetaller jämfört med järnsanden, bl a av Cu (66±3,6 mg/(kg TS)), Pb (1,5±0,2 mg/(kg TS)) och Zn (30±1,1 mg/(kg TS)). Jämförs den procentuella lakbarheten lakar referensmaterialet mer. Referensmaterialet består av bergarten gabbro som tillhör de lättvittrade bergarterna. Även om referensmaterialet lakar ut procentuellt mer så medför järnsandens högre totalhalter att den specifika lakbarheten (mg/(kg TS)) är betydligt högre t ex 35,82±0,58 mg/(kg TS) respektive 0,427±0,08 mg/(kg TS)) för Cu vid pH 4 (bilaga 11).

Processen när bergarter kallnar och stelnar är långsam och kristallerna är väl kristalliserade. Järnsand är ett granulerat, vattenkyllt material som till merparten är amorft (i glasfas). Jämfört med naturliga bergarter har den amorfa järnsanden därför mycket låg löslighet och höga koncentrationer av tungmetaller är effektivt immobiliserade. Det medför att endast en mycket liten del av den totala mängden kan lakas ur (Tossavainen, 2000). Detta kunde man se på t ex Zn som fanns i mycket hög halt (28533±1201 mg/(kg TS)) där endast 0,06 % lakades ut som mest vid pH 4. Järnsanden består till största delen av silikater och oxider vilka är mindre lakningsbenägna i en oxiderande miljö än tex sulfider.

För ett mer lösligt material är utlakningen i högre grad beroende av totalhalten tungmetaller och i vissa fall kan nära på hela mängden lakas ut. Järnsandens förmåga att binda tungmetaller beror på att dessa är inkapslade, eller inkorporerade i glasets struktur. Vid högre koncentrationer, t ex för Cu och Zn, kommer dock metallerna i större grad i kontakt med omgivningen och kan lakas ur (Tossavainen, 2000).

Ballastmaterialet som innehåller järnsand har legat i banvallen i ca 35 år. Vid jämförelse av totalhalterna för järnsand från 60-talet med järnsand från 90-talet ser man att halterna för As, Pb, Cd, Co och Zn är högre (tabell 2) i material från 60-talet.

Däremot är Cu och Cr lägre. Enligt Fällman och Carling, (1998) har totalhalten av Pb sjunkit under åren 1987-1997. Enligt Borell (2002) kan de högre halterna av vissa ämnen i järnsanden komma sig av att på 60-talet användes mer *orena* kopparsliger med högre halter tungmetaller. En annan orsak kan även vara att steget med rening i sättningsugn, innan slaggen granuleras till järnsand, inte alltid var med.

Mängden av ett ämne som finns tillgängligt har stor betydelse, men även vattenomsättningen spelar stor roll för hur stor utlakningen blir. Vattenomsättningen styrs bland annat av omgivningsfaktorer som klimat (nederbörd) och grundvattenförhållanden men också i stor utsträckning av hur anläggningen är konstruerad. En tät beläggning såsom asfalt på en väg, medför att infiltrationen ner i det underliggande materialet blir mindre än i en banvall där mer vatten kommer i kontakt med materialet. Mera vatten gör att utlakningen går snabbare. En annan viktig faktor som påverkar hur stor den totala lakningen blir är hur stor mängd av materialet som används (Fällman & Carling, 1998).

Totalhalterna från lakttesterna av ballastmaterialet kommer troligen inte enbart från järnsand. Höga halter av vissa metaller kan även komma från annat material och från olika verksamheter som bedrivits efter järnvägen. Totalhalten för As i ballastmaterial, som innehåller järnsand från 60-talet, var $924 \pm 48,2$ mg/(kg TS). Ren järnsand från 90-talet hade en totalhalt på 17,2 mg/(kg TS). Antagligen kommer inte all As i banvallmaterialet från järnsand, utan även från impregneringsmedel som Banverket har behandlat slipers med.

As förekommer ofta som anjonen arsenat, vilken är benägen att adsorbera till oxider framförallt järnoxider (Naturvårdsverket, 1993). Järnoxider utgör ca (42 %) av innehållet i järnsand. Därav dras slutsatsen att As från impregneringsmedel kan ha adsorberat på järnsanden och därmed bidra till att totalhalten As blir högre.

Även Cu och Pb kan komma från andra källor än järnsand. Cu kommer bl a från kontaktledningar och bly från bl a blymönja och bly i kablar. Cu från kontaktledningar är troligen mobilare än koppar från järnsand, eftersom Cu som kommer ifrån kontaktledningar inte är inkapslat i en glasstruktur.

6.4 Miljöriskbedömning

Antropogena produkter t ex järnsand som ligger i naturen utsätts för vittring och följden blir en utlakning av föroreningar till underliggande mark och grundvatten. Dessa föroreningar fastläggs till viss del i marken genom adsorption på partiklar. Resterande perkolerar ned till grundvattnet och blandar sig med detta (Mácsik et al 1998).

Grundvattenmagasinen fylls på av nedsipprande regn- och snösmältningvatten samt av vatten från sjöar och älvar. Av den nederbörd som faller över Sverige avdunstar ungefär hälften och återförs till atmosfären genom inverkan av solenergin. Nästan hela återstoden infiltrerar i marken. När vattnet passerar genom jord och berggrund påverkas det av den fysikaliska och kemiska sammansättningen av dessa. Likaså påverkas grundvatten av föroreningar vid markytan och det lakvatten som dessa genererar.

Eftersom grundvattnen är en källa för dricksvatten är det viktigt att skydda det från kontaminering (Jonsson & Stenberg 2000).

De grundämnen som finns i järnsand förekommer även i varierande halter i naturen. Bakgrundshalterna är oftast inte skadliga för miljön och kan därför vara bra att känna till vid miljöriskbedömningar (bilaga 12).

Naturmaterial t ex bergkross och olika typer av slagg lakar ut metaller. Det kan vara vilseledande att utifrån ett materials totalhalter försöka avgöra dess påverkan på omgivande miljö. Totalhalten kan påvisa att materialet innehåller ett visst ämne, men inte hur mycket som är tillgängligt, dvs kan avges till omgivande miljö. Karaktären på det mineral metallen är bunden till är av större betydelse än totalhalten ur lakningssynpunkt (Tossavainen, 2000). Den miljöpåverkan som uppkommer på grund av utlakning från järnsand beror på en mängd olika faktorer. Mängden material, yta som materialet tar i anspråk, den totalt utlakbara mängden ämnen, i vilken form ämnena förekommer t ex så är Cr VI mycket mer toxiskt än Cr III.

Tossavainen (2000) jämförde lakningsegenskaperna hos bergartsmaterial och slaggmaterial i vägkonstruktioner. Lakningen utfördes med tillgänglighetstest. Resultatet jämfördes med två olika metallurgiska slaggmaterial, hyttsten och järnsand. Resultaten från denna jämförande studie indikerade att båda slaggmaterialen kan användas i vägkonstruktioner utan risk för skadlig miljöpåverkan med avseende på lakning av tungmetaller.

Akuta toxicitetstester enligt ISO 6341 på blästermedlet Fajalit (Järnsand) med *Daphnia Magna* har inte påvisat någon giftighet (Peders, 2000).

I bilaga 13 redovisas ett beräkningsexempel för att uppskatta den miljöpåverkan som kan uppkomma av järnsand som ligger i banvallarna. I beräkningarna används resultat från lakttesterna i detta examensarbete. Resultatet kan avläsas i tabell 6.

Tabell 6. Totalt utlakad mängd i järnsand och referensmaterial per meter banvall efter 30 år vid pH 4, 6,7 och 9, baserat på pH_{stat}-test.

Material	Ämne	PH 4		PH 6,7		PH 9	
		mg/(kg TS)	g/m banvall	mg/(kg TS)	g/m banvall	mg/(kg TS)	g/m banvall
Järnsand	Cu	35,824	365,4	0,904	9,2	2,469	25,2
Järnsand	Pb	21,740	221,7	1,281	13,1	3,482	35,5
Järnsand	Zn	17,460	178,1	1,315	13,4	0,595	6,1
Referens	Cu	0,039	0,6	0,012	0,1	0,015	0,1
Referens	Pb	2,469	22,2	0,002	0,02	0,002	0,02
Referens	Zn	2,368	21,3	0,095	0,9	0,019	0,2

På sträckan mellan Vännäs och Tvärålund där järnsand lagts ut på ca 2 km skulle enligt dessa beräkningar innebära att vid pH 6,7 skulle ca 18 kg Cu, 26 kg Pb och 27 kg Zn lakas ut under 30 år.

Sträckan mellan Vännäs och Tvärålund (bilaga 14) går huvudsakligen på fast moränmark med inslag av torvtäkt mark. Lokalt förekommer även våtare områden, våtmarker, myrmark med varierande mäktighet samt fuktigare områden i anslutning till vattendrag. Vegetationen är i huvudsak representativ för området i stort. Boreal barrskog är dominerande men inslag av löv förekommer dels i trädskiktet och dels i buskskiktet beroende på fuktighet, succession och antropogen påverkan. En viss variation beträffande fältskiktet förekommer utmed hela sträckan dock är vegetationen i huvudsak av ristyp (Sörlin, 2000). I området är pH i nederbörden ca 4,8 (Naturvårdsverket, 2002).

De högsta utlakbara halterna av Cu, Pb och Zn påvisades vid pH 4, men eftersom dessa förhållanden med största sannolikhet inte förekommer i en banvall kommer dessa koncentrationer inte uppnås. Även om nederbörden skulle bli surare kan järnsandens buffertkapacitet motverka en pH-sänkning.

Både järnsand och ovanliggande material har ett högre naturligt pH (ca 6,5-9) och en buffertkapacitet som motverkar pH-sänkningar. En betydande del av de utlakade mängderna fastläggs t ex genom adsorption av tungmetaller till markpartiklar och organiskt material när lakvattnet perkolerar genom banvallen, vilket minskar den mängd som når grundvattnet. Den koncentration som finns i lakvattnet späds ut när det blandas med grundvattnet.

Det går inte att utifrån detta examensarbete göra en generell bedömning av den miljöpåverkan som uppkommer på grund av utlakning från järnsand. Järnvägen sträcker sig över ett stort område med många olika miljöer bl a passeras skydds zoner för vattentäkter, känsliga biotoper, nationalparker mm. Järnsanden har legat i banvallen i ca 35 år. Hur mycket som har lakats ut under den tiden och hur omgivande miljö har påverkats är svårt att uppskatta utan att göra ytterligare undersökningar *in situ*.

Sträckan mellan Vännäs och Tvärålund går mestadels genom obebyggt område (bilaga 14). Risker för att människor exponeras för föroreningar med ursprung från järnsand är troligen liten eftersom järnsanden ligger inbäddad i banvallen. Exponering kan däremot ske vid arbeten som utförs i banvallarna.

Resultaten från denna och andra undersökningar visar på en lakbarhet under 1% för de flesta av tungmetallerna. Lakförsöken visar även *värsta fallet* i verkligheten blir lakningen mindre. Med de uppgifter som kommit fram om bl a omgivande miljö bedöms risken för skadlig miljöpåverkan med avseende på lakning av tungmetaller från järnsand efter sträckan mellan Vännäs och Tvärålund vara liten.

Att jämföra resultaten från totalhaltsanalysen med de generella riktvärdena för förorenad mark som Naturvårdsverket tagit fram är vilseledande eftersom materialet visar en låg lakbarhet. I ett EU-arbete pågår framtagande av mottagningskriterier och gränsvärden för deponier. Kommissionen har kommit ut med en ny version av det arbetsdokument som kommer att resultera i ett beslutsdokument i juni 2002. I arbetet tas lakningsbaserade gränsvärden fram för bl a metaller. Gränsvärdena kommer att gälla för olika typer av avfall bl a inert, icke farligt och farligt avfall (Lundberg, 2002).

Lakningsbaserade gränsvärden kommer att underlätta vid bedömningar om risk för skadlig miljöpåverkan. Vid hantering av t ex ballastreningsmassor kan en rutin för framtagande av platsspecifika riktvärden utarbetas med avseende på lakning, som anpassas till de platsspecifika förutsättningarna.

Ytterligare undersökningar för att klargöra järnsandens miljöpåverkan kan vara att undersöka föroreningsnivåerna i grundvattnet på platser där järnsand använts i banvallarna. Det kan t ex göras genom att sätta ut grundvattenrör och följa eventuella förändringar i grundvattnet under en längre tidsperiod.

6.5 Omhändertagande av överskottsmassor

Oavsett om överskottsmassor är avfall eller ej gäller de allmänna hänsynsreglerna i *Miljöbalken (SFS 1998:808) 2 kap.* vilket bl a innebär att verksamhetsutövaren är skyldig att skaffa sig kunskap om jordmassorna och hur de påverkar miljön och människors hälsa samt om vad som kan göras för att minimera denna påverkan.

Överskottsmassor som innehåller järnsand, som uppkommer vid bl a ballastrening, är enligt *Avfallsförordningen (SFS 2001:1063)* inte att betrakta som farligt avfall. Andra förekommande föroreningar i en banvall kan däremot göra att massorna klassas som farligt avfall. När lakningsbaserade gränsvärden tagits fram kan det bli aktuellt för Banverket att göra laktester i samband med övriga provtagningar som utförs i banvallar.

Järnsand har använts som fyllnadsmaterial sedan 60-talet. Materialet säljs fortfarande och används av andra samhällssektorer. Flera undersökningar (Tossavainen, 2000), (Fällman & Carling, 1998) och denna har visat att järnsand, trots dess höga tungmetallinnehåll, är svårlakad. Procentuellt lakas en mycket liten andel (<1 %) av bl a Cu, Pb och Zn ut. Mot bakgrund av detta borde det inte vara något hinder att Banverket återanvänder massor som innehåller järnsand inom järnvägsområde. Återanvändning i direkt anslutning till vatten bör undvikas eftersom det skulle påskynda lakningen.

Eftersom miljöerna längs järnvägen varierar bör en bedömning om återanvändning göras utifrån de specifika förhållanden som råder på plats. Noggrann dokumentation t ex med hjälp av GIT om var massor innehållande järnsand eventuellt återanvänds är att rekommendera.

7 SLUTSATSER

I detta examensarbete har metallers lakningsbenägenheten hos järnsand i banvallar undersökts, slutsatserna man kan dra av undersökningen är följande:

Järnsand är svårlakad, procentuellt lakas en mycket liten andel (<1 %) av bl a Cu, Pb och Zn ut. Största mängden av de analyserade elementen frigörs vid pH 4 vid tillsats av en syra.

I en banvall blir den utlakade mängden mindre än vid ett lakförsök eftersom kontakten mellan materialet och perkolerande vatten inte är lika god.

Den höga variabiliteten hos järnsandens sammansättning kräver flera analysprover för att säkerställa resultatens exakthet.

As, Cu och Pb kommer troligen också från andra källor än järnsand t ex Cu från kontaktledningar, As från impregneringsmedel och Pb från blymönja. Dessa är inte inkapslade i en glasstruktur, som metaller är i järnsand, och är därmed mobilare.

Hur omgivande miljö har påverkats av järnsand som legat i banvallen i 35 år är svårt att uppskatta utan att göra ytterligare undersökningar *in situ*.

Överskottsmassor som innehåller järnsand, som uppkommer vid bl a ballastrening, är enligt *Avfallsförordningen (SFS 2001:2163)* inte att betrakta som farligt avfall. Andra förekommande föroreningar i en banvall kan däremot göra att massorna klassas som farligt avfall.

Mot bakgrund av denna och tidigare utförda undersökningar (Tossavainen, 2000), (Fällman & Carling, 1998) borde det inte vara något hinder att Banverket återanvänder massor som innehåller järnsand inom järnvägsområde. Om massor som innehåller järnsand avses återanvändas är noggrann dokumentation att rekommendera.

REFERENSER

- Borell, M., Peterson, Å., (2001). *Boliden järnsand – en kunskapssammanställning*. Rapport Boliden.
- Carling, M. Fällman, A-M., (1998). *Miljömässig karaktärisering av järnsand*. Statens geotekniska institut.
- Cremer, S., Obermann, P., (1992). *Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden und Deponien: Entwicklung eines aussagekräftigen Elutionsverfahrens*. Materialien zur Ermittlung und Saneierung von Altlasten, Band 6. Landesamt für Wasser und Abfall NRW, Germany.
- Ecke, H., (2001). *Carbonation for fixation of metals in municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash*. Doktorsavhandling, Avdelningen för avfallsteknik, Luleå tekniska universitet ISSN 1402- 1544, ISRN LTU-DT—01/33—SE.
- Ecke, H., Bergman, A., Lagerkvist, A., (2000). *Waste characterisation*. Avdelningen för Avfallsteknik, Luleå tekniska universitet.
- Eklund, M., Svensson, N., (1999). *Flöden och förråd av miljöskadliga ämnen i banvallar*. Industriell miljöteknik, Linköpings Universitet.
- Jacobsson, A., Mácsik, J., Pousette, K., (1998). *Miljögeoteknik*. AFR-kompendium 7, Avdelningen för geoteknik, Luleå tekniska universitet. ISSN 1400-0210.
- Jansson, S., (2001). *Provtagning av ballastmassor i banvall*. Examensarbete, ISNR SLU-MLE-EXS--45--SE, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för markkemi och jordmånslära, Uppsala 2001, ISSN 1102-1381.
- Jerbo, A., (1966). *Planering av frostskyddande åtgärder i spår och statistisk bedömning*. Rapport, Statens järnvägar (SJ).
- Jonsson, A., Stenberg, C., (2000). *Miljöriskbedömning av LKAB:s produkter*. Examensarbete 2000:165 CIV, Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik, Avdelningen för Tillämpad geologi, Luleå tekniska universitet. ISSN:1402-1617, ISRN:LTU-Exx—00/165—SE
- Lagerkvist, A., (1999). *Landfill Technology*. Avdelningen för avfallsteknik, Luleå tekniska universitet SE-971 87 LULEÅ.
- Malmberg, M., Wolf-Wats, C., Öman, C., (2000). *Karaktärisering av lakvatten från avfallsupplag*, IVL rapport, RFVs Utvecklingssektion deponering rapport nr 3, Stockholm 2000.
- Loberg, B., (1993). *Geologi*. Femte upplagan, Borås (1993) ISBN 91-1-923122-9

Löwegren, N., (2001). *Hantering av jordmassor ur avfalls- och förorenings synpunkt*. Remissversion, Banverket, Handbok, BVH 585.85.

Naturvårdsverket, (1993). *Metallerna och miljön*. SNV rapport 4135. Naturvårdsverket, Stockholm, ISBN 91-620-4135-5, ISSN 0282-7298.

Naturvårdsverket, (1996). *Generella riktvärden för förorenad mark*. SNV rapport 4638. Naturvårdsverket, Stockholm, ISBN 91-620-4638-1, ISSN 0282-7298.

Peders, K., (2000). *Blästermedlet Fajalit rening eller deponering*, Examensarbete Göteborgs Universitet, Avdelningen för miljövetenskaplig programutbildning.

Sigfrid, L., (2000). *Användning av alternativa material som fyllnads- och vägbyggnadsmaterial*. Seminarierapport, AFR rapport 276, Naturvårdsverket Stockholm, ISSN 1102-6944, ISRN AFR-R—276—SE.

Sörlin, S., (2000). *Spårupprustning till STAX 25 ton, Vännäs-Bastuträsk*, Övergripande miljöutredning, Banverket Norra Banregionen, Luleå, H50001-IBRNP-004.

Tossavainen, M., (2000). *Leaching behaviour of rock materials and a comparison with slag used in road construction*. Licentiat uppsats, Luleå tekniska universitet, ISSN 1402-1757.

Warfvinge, P., (1997). *Miljö kemi, miljövetenskap i biogeokemiskt perspektiv*. Lund, ISBN 91-88558-18-5.

Muntliga referenser

Borell Mikael (2002), Rönnskärs miljöavdelning, Boliden Mineral AB, Skellefteå

Lundberg Stina (2002), Naturvårdsverket, Stockholm

Thun Niklas, Bansystem (2002), Banverket Norra Banregionen, Luleå

Elektroniska referenser

Markinfo (2002). URL: <http://www-markinfo.slu.se/sve/kem/vittring.html> (2002-01-24)

Naturvårdsverkets hemsida (2002) URL: <http://www.environ.se>. (2002-01-24)

SMHI (2002). URL: <http://www.smhi.se>. (2002-03-05)

Tabell A. Översiktlig beskrivning av förekommande verksamheter samt därav möjliga föroreningar (Löwegren, 2001).

	Verksamhet	Förorening
Utsläpp från punktkällor	Impregneringsanläggning ¹⁾ och upplag av impregneradesliprar och stolpar	Kreosot, metaller
	Transformatoranläggning, sugtransformatorer och omformare	Oljor, PCB
	Tankningsplats	Oljor, diesel
	Förvaring av eldningsolja	Eldningsolja
	Verstadslokal	Oljor, diesel, fetter, lösningsmedel, färgavfall, metaller
	Lokstall	Oljor, diesel, metaller
	Gasverk	Kol, stenkolsolja, kreosot, cyanid
	Kolupplag	Metaller, tjära
	Upplag/deponi av okända massor	Kreosot, metaller, oljor, diesel, fetter, lösningsmedel, bekämpningsmedel
	Byggnader	Samma som utförd verksamhet
	Växlar, clicomatic	Olja, fetter
	Olycka trafik	Farligt gods bl a vätskor och gaser
	Olycka banunderhåll, entreprenad	Oljor, diesel
	Nylagda sprängstensmassor	Kväve
Diffusa utsläpp	Bangårdsområde (ej banvall)	Kreosot, metaller, oljor, diesel, fetter, lösningsmedel
	Banvall (inkl sliprar, metallslitage, dieselspill)	Kreosot, metaller, oljor, diesel
	Banvall med aska/slagg	Metaller
	Banvall med cellplastskivor som frostskydd	HBCD Hexabromcyklodekan (bromerat flamskyddsmedel)
	Banvall med vegetationsbekämpning	Bekämpningsmedel
	Orenade utsläpp av dräneringsvatten	Kreosot, metaller, oljor, diesel, fetter, lösningsmedel, bekämpningsmedel

1) Förutsätter impregnering med kreosot eller metallsalter. Om andra impregneringsmedel (t ex pentaklorfenol eller kvarntorpsolja) har nyttjats kan andra föroreningar förekomma.



Registrerad: 2002-03-11
Analyserad : 2002-03-22
Utfärdad : 2002-03-22

Banverket Projektering
Lena Andersson

BOX 74
971 03 Luleå

Analys enligt metod MG-1.

Provet har torkats vid 105 °C enligt svensk standard SS 028113.

För As, Cd, Cu, Co, Hg, Ni, Pb, Tl, Zn och S gäller:

*Analysprov har torkats vid 50 °C och elementhalterna TS-korrigerats.
Upplösning har skett i mikrovågsugn i slutna teflonbehållare med
salpetersyra / vatten 1:1*

Analys har skett enligt EPA-metoder 200.7 och 200.8 (modifierade).

För övriga grundämnen gäller:

0.125 gram torkat prov smälts med 0.375 gram LiBO₂ och upplöses i HNO₃.

Slutbestämning av metallhalter har skett med:

*Plasma-emissionsspektrometri ICP-AES
Plasma-masspektrometri (Quadropol) ICP-QMS
Plasma-masspektrometri (Sektor) ICP-SMS
Atomfluorescens AFS*

I rapporten används följande förkortningar:

E,A före analysvärde betyder att slutbestämning skett med ICP-AES.
M,Q* före analysvärde betyder att slutbestämning skett med ICP-QMS.
H,S* före analysvärde betyder att slutbestämning skett med ICP-SMS.
F,G* före analysvärde betyder att slutbestämning skett med AFS.
V före analysvärde betyder vikt
TS betyder torrsubstans, GR betyder glödförlust.*

Beträffande laboratoriets ansvar i samband med uppdrag se prislista.

** anger ej ackrediterad analys.*

Vid frågor ring Kundtjänst 0920-49 24 82 , 0920-49 24 67

Provnummer	0040649	0040650	0040651	0040652
Beteckn 1	Prov 1	Prov 2	Prov 3	Prov 1
Beteckn 2	Referens	Referens	Referens	Järnsand
SiO2 %	A 46.3	A 46.8	A 47.3	A 40.7
Al2O3 %	A 17.4	A 16.7	A 16.7	A 5.98
CaO %	A 11.7	A 11.5	A 11.2	A 3.54
Fe2O3 %	A 11.4	A 11.3	A 11.4	A 42.7
K2O %	A 0.492	A 0.464	A 0.524	A 1.28
MgO %	A 7.63	A 7.38	A 7.29	A 1.87
MnO2 %	A 0.170	A 0.169	A 0.164	A 0.145
Na2O %	A 2.73	A 2.66	A 2.66	A 1.16
P2O5 %	A 0.382	A 0.401	A 0.426	A 0.173
TiO2 %	A 1.77	A 1.77	A 1.78	A 0.277
Summa%	100.0	99.1	99.4	97.8
LOI %	V 1.1	V 1.0	V 1.2	V -4.9
As mg/kg	Q 2.05	Q 1.63	Q 1.59	A 944
Ba mg/kg	A 408	A 380	A 426	A 659
Be mg/kg	A <0.6	A <0.6	A <0.6	A 2.84
Cd mg/kg	Q 0.0360	Q 0.0280	Q 0.0323	Q 6.84
Co mg/kg	Q 23.0	Q 22.9	Q 23.2	A 624
Cr mg/kg	A 191	A 179	A 175	A 503
Cu mg/kg	A 70.6	A 64.0	A 64.7	A 2870
Hg mg/kg	Q <0.04	Q <0.04	Q <0.04	Q <0.04
La mg/kg	A <6	A 6.03	A <6	A 19.6
Mo mg/kg	A <6	A <6	A <6	A 132
Nb mg/kg	A <6	A <6	A <6	A 6.38
Ni mg/kg	A 55.3	A 50.9	A 51.1	A 158
Pb mg/kg	Q 1.33	Q 1.36	Q 1.71	A 5370
S mg/kg	A 1730	A 1880	A 1940	A 8210
Sc mg/kg	A 31.8	A 32.2	A 32.1	A 6.10
Sn mg/kg	A <20	A <20	A <20	A 383
Sr mg/kg	A 938	A 880	A 874	A 110
V mg/kg	A 269	A 273	A 291	A 75.7
W mg/kg	A <60	A <60	A <60	A 78.5
Y mg/kg	A <2	A 8.56	A 8.15	A 14.5
Zn mg/kg	A 30.1	A 28.9	A 31.1	A 28600
Zr mg/kg	A 19.2	A 19.5	A 28.0	A 101



Provnummer	0040653	0040654
Beteckn 1	Prov 2	Prov 3
Beteckn 2	Järnsand	Järnsand
SiO ₂ %	A 40.3	A 40.1
Al ₂ O ₃ %	A 6.16	A 5.91
CaO %	A 3.64	A 3.56
Fe ₂ O ₃ %	A 42.7	A 42.0
K ₂ O %	A 1.27	A 1.31
MgO %	A 1.90	A 1.86
MnO ₂ %	A 0.147	A 0.148
Na ₂ O %	A 1.15	A 1.10
P ₂ O ₅ %	A 0.169	A 0.171
TiO ₂ %	A 0.283	A 0.277
Summa%	97.7	96.4
LOI %	V -4.8	V -5.1
As mg/kg	A 869	A 959
Ba mg/kg	A 652	A 681
Be mg/kg	A 3.03	A 2.97
Cd mg/kg	Q 6.77	Q 6.56
Co mg/kg	A 603	A 649
Cr mg/kg	A 491	A 511
Cu mg/kg	A 2740	A 2970
Hg mg/kg	Q <0.04	Q <0.04
La mg/kg	A 20.2	A 27.2
Mo mg/kg	A 134	A 131
Nb mg/kg	A <6	A <6
Ni mg/kg	A 150	A 163
Pb mg/kg	A 5000	A 5560
S mg/kg	A 7860	A 8460
Sc mg/kg	A 5.90	A 5.51
Sn mg/kg	A 383	A 369
Sr mg/kg	A 118	A 109
V mg/kg	A 74.9	A 74.7
W mg/kg	A 79.1	A 66.8
Y mg/kg	A 14.1	A 11.6
Zn mg/kg	A 27300	A 29700
Zr mg/kg	A 99.5	A 103

Tabell A. Procentuell andel metalloxider, medelvärde och standardavvikelse.

		Al2O3	CaO	Fe2O3	K2O	LOI	MgO	MnO2	Na2O	P2O5	SiO2	Summa	TiO2
Atomvikt		101,959	56,079	159,691	94,195		40,304	86,936	61,977	141,941	60,083		79,898
Andel metall %		0,529	0,715	0,699	0,830		0,603	0,632	0,742	0,436	0,467		0,600
Material	nr	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Järnsand	1	5,980	3,540	42,700	1,280	-4,900	1,870	0,145	1,160	0,173	40,700	97,800	0,277
Järnsand	2	6,160	3,640	42,700	1,270	-4,800	1,900	0,147	1,150	0,169	40,300	97,700	0,283
Järnsand	3	5,910	3,560	42,000	1,310	-5,100	1,860	0,148	1,100	0,171	40,100	96,400	0,277
Medelvärde		6,017	3,580	42,467	1,287	-4,933	1,877	0,147	1,137	0,171	40,367	97,300	0,279
Standardavvikelse		0,129	0,053	0,404	0,021	0,153	0,021	0,002	0,032	0,002	0,306	0,781	0,003
Referens	1	17,400	11,700	11,400	0,492	1,100	7,630	0,170	2,730	0,382	46,300	100,000	1,770
Referens	2	16,700	11,500	11,300	0,464	1,000	7,380	0,169	2,660	0,401	46,800	99,100	1,770
Referens	3	16,700	11,200	11,400	0,524	1,200	7,290	0,164	2,660	0,426	47,300	99,400	1,780
Medelvärde		16,933	11,467	11,367	0,493	1,100	7,433	0,168	2,683	0,403	46,800	99,500	1,773
Standardavvikelse		0,404	0,252	0,058	0,030	0,100	0,176	0,003	0,040	0,022	0,500	0,458	0,006

Tabell B. Totalhalt av metaller, medelvärde och standardavvikelse

		As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	La	Mo	Nb	Ni
Material	provnr	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Järnsand	1	944,000	659,000	2,840	6,840	624,000	503,000	2870,000	0,040	19,600	132,000	6,380	158,000
Järnsand	2	869,000	652,000	3,030	6,770	603,000	491,000	2740,000	0,040	20,200	134,000	6,000	150,000
Järnsand	3	959,000	681,000	2,970	6,560	649,000	511,000	2970,000	0,040	27,200	131,000	6,000	163,000
Medelvärde		924,000	664,000	2,947	6,723	625,333	501,667	2860,000	0,040	22,333	132,333	6,127	157,000
Standardavvikelse		48,218	15,133	0,097	0,146	23,029	10,066	115,326	0,000	4,225	1,528	0,219	6,557
Referens	1	2,050	408,000	0,600	0,036	23,000	191,000	70,600	0,040	6,000	6,000	6,000	55,300
Referens	2	1,630	380,000	0,600	0,028	22,900	179,000	64,000	0,040	6,030	6,000	6,000	50,900
Referens	3	1,590	426,000	0,600	0,032	23,200	175,000	64,700	0,040	6,000	6,000	6,000	51,100
Medelvärde		1,757	404,667	0,600	0,032	23,033	181,667	66,433	0,040	6,010	6,000	6,000	52,433
Standardavvikelse		0,255	23,180	0,000	0,004	0,153	8,327	3,625	0,000	0,017	0,000	0,000	2,485

Tabell C. Totalhalt av metaller, medelvärde och standardavvikelse

		Pb	S	Sc	Sn	Sr	V	W	Y	Zn	Zr
Material	provnr	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Järnsand	1	5370,000	8210,000	6,100	383,000	110,000	75,700	78,500	14,500	28600,000	101,000
Järnsand	2	5000,000	7860,000	5,900	383,000	118,000	74,900	79,100	14,100	27300,000	99,500
Järnsand	3	5560,000	8460,000	5,510	369,000	109,000	74,700	66,800	11,600	29700,000	103,000
Medelvärde		5310,000	8176,667	5,837	378,333	112,333	75,100	74,800	13,400	28533,333	101,167
Standardavvikelse		284,781	301,386	0,300	8,083	4,933	0,529	6,935	1,572	1201,388	1,756
Referens	1	1,330	1730,000	31,800	20,000	938,000	269,000	60,000	2,000	30,100	19,200
Referens	2	1,360	1880,000	32,200	20,000	880,000	273,000	60,000	8,560	28,900	19,500
Referens	3	1,710	1940,000	32,100	20,000	874,000	291,000	60,000	8,150	31,100	28,000
Medelvärde		1,467	1850,000	32,033	20,000	897,333	277,667	60,000	6,237	30,033	22,233
Standardavvikelse		0,211	108,167	0,208	0,000	35,346	11,719	0,000	3,675	1,102	4,996



Inramade värden betyder t ex värde <20, högsta värdet valdes.

BILAGA 4

Tabell A. Torrsubstanshalt i järnsand

Material	TS-halt %
Järnsand	0,970
Järnsand	0,978
Järnsand	0,978
Medelvärde	0,975
Standardavvikelse	0,002

Tabell B. Torrsubstanshalt i referensmaterial

Material	TS-halt %
Referens	0,967
Referens	0,966
Referens	0,968
Medelvärde	0,967
Standardavvikelse	0,001

BILAGA 5

Tabell A. pH järnsand

Nr	Provmtr	pH	pH medel
1	Järnsand	6,766	6,739
2	Järnsand	6,692	
3	Järnsand	6,764	
4	Järnsand	6,729	
5	Järnsand	6,745	

Tabell B. pH referens

Nr	Provmtr	pH	pH medel
1	Referens	8,217	8,322
2	Referens	8,308	
3	Referens	8,345	
4	Referens	8,367	
5	Referens	8,374	

Beräkning av L/S-kvot

Utlakningen definieras som lakvattenmängd (L) i förhållande till mängd fast fas (S). L/S-kvoten kan tolkas som en tidsskala i år. Mängden material per m² och mängden infiltrerande vatten är de huvudfaktorer som påverkar omräkningen till år (Lagerkvist,1999).

På flera sträckor har järnsand lagts ut i ett ca 1 m tjockt lager. Ballastmaterialet som lakttesterna utförs på har legat i banvallen i drygt 30 år. Beräkningen utgår från hur mycket som kan lakas ur materialet efter ytterligare 30 år.

L/S-kvoten kan beräknas enligt:

$$L = I \cdot t + (1 - TS)H \cdot \rho \quad (1)$$

$$S = TS \cdot H \cdot \rho \quad (2)$$

I = årsnederbörd, [m]

I = 0,6 m (SMHI, 2002)

t = tid, [år]

t = 30 år

TS = torrsustanshalt, [%]

TS = 97,52 %

H = höjd, [m]

H = 1 m

ρ = densitet [ton/m³]

ρ = 1,7 ton/m³ (ρ ren järnsand)

Insättning av värdena i formel (1) och (2) ger L/S=10, vilket representerar lakningen under ca 30 år för ballastmaterialet.

LAKNING

Faktorer som påverkar lakning

Lakning är transporten av föroreningar från den fasta fasen till den lösta fasen. Genom laktester kan man mäta ett materials potential att avge föroreningar (Ecke et al.1999).

Faktorer som påverkar lakning:

- pH
- Redox potential
- Komplexbildande ämnen
- Jonstyrka
- Rörelse, t ex omrörning och skakning
- Förhållandet mellan fast och flytande fas, L:S (liquid to solid)
- Temperatur
- Partikelstorlek
- Morfologi
- Adsorption och jonbyte
- Reaktionshastighet

De flesta metaller dock inte alla, har lägre lakbarhet vid högre pH. Detta gäller bl a för mangan och kadmium, lakbarheten för kalium, natrium, klor och brom har inte visat pH-beroende. En del metaller är lösliga i både sur och alkalisk miljö men är mindre lösliga däremellan. Detta gäller bl a koppar, järn, zink och bly (Sigfrid, 2000).

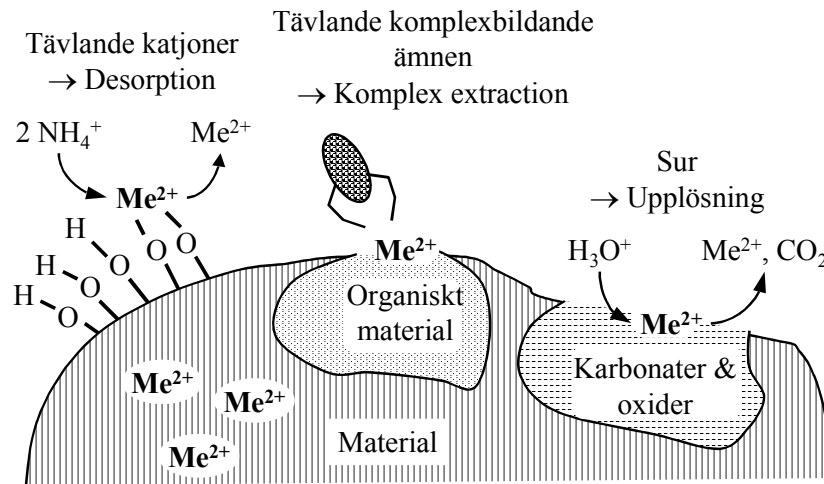
Lakvattnets sammansättning har stor betydelse för lakningen. Organiska komplexbildande material, t ex humus, har stor påverkan på lösligheten av vissa metaller, bl a koppar. De olika ämnenas vattenlöslighet påverkar också urlakningen. Vissa salter, t ex kaliumsalter, har nästan obegränsad löslighet, medan mineralfaser, t ex fältspater, i stort sett är olösliga. Många mineraler har också en långsam reaktionshastighet. Det kan ta år innan jämvikt inställer sig (Sigfrid, 2000).

Materialets partikelstorlek har betydelse för lakningen. Ju mindre partiklarna är desto större är den totala yta som är tillgänglig för lakning. En finkornig restprodukt har därför större lakningsbenägenhet än en grovkornig (Sigfrid, 2000).

En annan viktig faktor som påverkar lakningen är kontakttiden mellan materialet och lakningsmediet t ex vattnet. Upplösningsprocessen har olika kinetik för olika föreningar som resulterar i ett tillstånd av kemisk jämvikt vid olika tid. Mobilisering av metaller beror huvudsakligen på tre mekanismer (se figur 4) (Ecke et al.1999):

- Sur desorption
- Komplex extraction
- Upplösning av metallbärande fas

Desorption påverkas av både protonaktivitet och metallöslighet. Protoner (vätejoner) tävlar med metallerna som är bundna på partikelytan och den drivande kraften för ett utbyte ökar med minskande pH. Komplex extraktion beror på att komplexbildande ämnen orsakar en förändring i det heterogena fast/flytande jämviktsstadiet genom att öka metallernas löslighet i den flytande fasen. Fasupplösning kontrolleras huvudsakligen av pH och redoxpotential. Ju lägre pH och ju högre redoxpotential desto högre mobilitet för de flesta metaller (Ecke et al.1999).



Figur A. Laktionsmekanismer för metaller: desorption, komplex extraction och fasupplösning (Ecke, 1997).

Lakning i lab

Det är svårt att efterlikna de naturliga lakningsförloppen, som sker *in situ* i en jord, vid ett laboratorieförsök. Lakningsförsök i laboriemiljö kan ge viktig information om urlakning av olika ämnen vid specifika Eh- och pH-förhållanden. Att utifrån laborieförsöken bedöma hur *in situ* porvattnets Eh, pH och därmed även dess jonsammansättning förändras med tiden är ett problem (Jacobsson, Mácsik, Pousette, 1998).

Några av de viktigaste faktorerna som styr lakningsförhållandena *in situ* i en jord är:

- Kontaktytan mellan jordpartiklarna och porvattnet
- Porvattnets hastighet genom jorden
- Lakningsmediets t ex nederbördsvattnets Eh, Ph och konduktivitet

De viktigaste faktorerna som styr ett materials lakbarhet i en laboriemiljö är materialets fysikaliska och kemiska egenskaper och lakningsmetoden. Bästa resultatet fås enligt (Jacobsson, Mácsik, och Pousette, 1998) när flera lakningsmetoder kombineras. Viktiga materialegenskaper och lakningsförhållanden som styr urlakningen vid en lakningsstudie i laboriemiljö är (Jacobsson, Mácsik, Pousette, 1998):

- Kontaktytan mellan material och lakvätska
- Mekanisk påverkan som skakning
- Förhållandet mellan mängden lakvätska [g] och mängden material [g], (L/S = liquid/Solid)

LAKMETODER

Lakförsök mäter förmågan hos ett material att avge föroreningar. Materialet utsätts för en lakvätska och mängden föroreningar i lakvattnet mäts och jämförs med referensvärden som till exempel halter i grundvatten eller naturliga bakgrundshalter (Ecke et al.1999). Det finns flera olika lakmetoder. Vilken metod som används beror på vilket material som ska undersökas och vilken information som är intressant i varje specifikt fall. Nedan beskrivs ett urval av laktester.

RSLT

RSLT är ett redoxsekventiellt laktest som utförs i sex steg. Metoden fastställer hur bland annat metaller binds till och fälls ut i ett material. Testet är ett skaktest och i vart och ett av de sex lakstegen tillförs en lakvätska. Beroende på hur elementen sitter bundna i materialet, så går de i lösning i något av stegen. På så sätt kan man se ett lakningsförlopp och avgöra vilka element som är mobila och stabila (Jonsson, Stenberg 2000).

ENA-testet

ENA-testet är ett sekventiellt laktest som utförs i fyra steg. Laktestet utförs som ett skaktest där vatten används som lakningsmedium. Efter varje laksteg separeras den fasta och flytande fasen. Syftet kan vara att få fram maximal koncentration av föroreningar i lakvattnet. I det fallet håller man kvoten mellan lakvattnet och fast fas konstant, L/S-kvot 1:1, genom att i varje laksteg tillsätta samma mängd nytt fast material (Jonsson, Stenberg et al. 2000).

Syftet kan också vara att bestämma maximal lakbar mängd föroreningar. Om detta är målet blandas samma fasta material med nytt lakningsmedium i varje laksteg och detta medför att L/S-kvoten ökar med varje laksteg för att slutligen uppgå till 1:16. Man får en bild av utlakningsförloppet genom att L/S-kvoten relateras med tiden. Vätskan L står för regnet som faller på det fasta materialet S. Om den årliga nederbörden och den aktuella ytan är känd kan mängden vatten som årligen kommer i kontakt med materialet beräknas. Därefter kan antalet år till en viss L/S-kvot uppnås uppskattas (Jonsson, Stenberg et al. 2000).

DIN-test Agitation batch tests

DIN-testen är ett slags skaktest som syftar till att identifiera lakbara föreningar. Lakningen utförs vanligtvis i ett steg med känd L/S-kvot. Provet rörs om i en behållare under en bestämd tidsperiod (vanligtvis mellan 1 och 48 timmar). Gasfasen består av luft, tillsatt gas och/eller gas som genereras under lakningen. Reaktioner mot kemisk jämvikt äger rum. Vanligtvis analyseras bara den flytande fasen (Ecke et al.1999).

Fördelarna med DIN-testet är att det är relativt enklare och billigare att utföra än ENA-testet. Nackdelarna med testet är att det inte ger någon information om eventuell initieffekt. På grund av att DIN-testet endast har en lakcykel kan mättade lösningar uppstå vilket kan påverka lakbara mängder (Jonsson, Stenberg 2000).

Kolonntest

Kolonntester utförs genom att placera materialet som ska lakas i en kolonn. Lakvätskan flödar genom kolonnen antingen uppifrån eller nedifrån. Kolonntester ger sekventiell lakning under vattenmättade förhållanden. Lakvätskan flödar konstant genom materialet och tar med sig lösta ämnen. Materialet kommer hela tiden i kontakt med ny lakvätska. De kontrollerande faktorerna pH och redox bestäms av materialets egenskaper (Ecke et al.1999).

Data som erhålls från kolonntester är en noggrannare uppskattning av de verkliga lakningsförhållandena än de data som erhålls från skaktester. Tidsperioden som krävs för att få meningsfulla resultat är dock oftast mycket längre än vid många andra laktester (Ecke et al.1999).

Tvåstegs tillgänglighetstest

Tillgänglighetstester bestämmer den maximalt utlakbara mängden av olika ämnen, dvs avspeglar den för utlakning tillgängliga mängden på mycket lång sikt. Testet, som utförs enligt Nordtest NT ENVIR 003 (1995), är ett tvåstegstest med ett stort förhållande mellan vätska och fast fas (L/S=100 i två steg). Det testade materialet mals ned, vilket innebär att lakningen i testerna inte är begränsad av kornstorleken. Försöket utförs i två steg vid olika pH, tre timmar vid pH=7 och 18 timmar vid pH=4 (Fällman, Carling, 1998).

Tillgänglighetstester kan även utföras under oxiderande förhållanden, genom att redoxpotentialen hela tiden korrigeras så att fullt oxiderande förhållanden i vattnet uppnås vid det aktuella pH-värdet. Oxiderande förhållanden uppnås med tillsats av väteperoxid. För ett material som normalt ger upphov till reducerande redoxförhållanden i lakvattnet, kan utlakningen av vissa ämnen förändras vid oxidering (Fällman, Carling, 1998).

BILAGA 8Tabell A. Tillsatt HNO₃ och NaOH i mmol/(g TS)

Material	Provnr	Vikt [g]	pH	S/B ml	mmol/(g TS)
Järnsand	1	5,0352	4	44,00	0,009
Järnsand	2	5,0341	4	45,00	0,009
Järnsand	3	5,0034	4	50,01	0,010
Medelvärde					0,009
Standardavvikelse					0,001
Järnsand	1	5,0455	9	9,28	0,019
Järnsand	2	5,0130	9	10,32	0,021
Järnsand	3	5,0192	9	11,54	0,024
Medelvärde					0,021
Standardavvikelse					0,001
Referens	1	5,0179	4	35,66	0,074
Referens	2	5,0098	4	20,16	0,042
Referens	3	5,0180	4	21,59	0,045
Medelvärde					0,053
Standardavvikelse					0,006
Referens	1	5,0098	6,7	10,05	0,021
Referens	2	5,0310	6,7	12,71	0,026
Referens	3	5,0332	6,7	7,83	0,016
Medelvärde					0,021
Standardavvikelse					0,005
Referens	3	5,0299	9,3	3,33	0,069
Referens	1	5,0299	9,3	1,65	0,034
Referens	2	5,0145	9,3	2,44	0,050
Medelvärde					0,051
Standardavvikelse					0,010

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

 Analyspaket: **V3A-N**

Provnummer:	U10040676-00	U10040677-00
Beteckning 1:	Prov 1 pH4	Prov 2 pH4
Beteckning 2:	Järnsand	Järnsand

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	1,35	0,19	mg/l	ICP-AES	Ca	1,35	0,19	mg/l	ICP-AES
Fe	4,15	0,53	mg/l	ICP-AES	Fe	4,57	0,58	mg/l	ICP-AES
K	44,6	5,5	mg/l	ICP-AES	K	45	5,6	mg/l	ICP-AES
Mg	0,244	0,048	mg/l	ICP-AES	Mg	0,265	0,049	mg/l	ICP-AES
Na	0,371	0,183	mg/l	ICP-AES	Na	0,349	0,182	mg/l	ICP-AES
S	0,164	0,11	mg/l	ICP-AES	S	<0,2		mg/l	ICP-AES
Al	570		µg/l	ICP-SMS	Al	539		µg/l	ICP-SMS
As	5,15		µg/l	ICP-SMS	As	36,4		µg/l	ICP-SMS
Ba	44,2		µg/l	ICP-SMS	Ba	45		µg/l	ICP-SMS
Cd	1,22		µg/l	ICP-SMS	Cd	1,25		µg/l	ICP-SMS
Co	21,3		µg/l	ICP-SMS	Co	20,9		µg/l	ICP-SMS
Cr	1,28		µg/l	ICP-SMS	Cr	0,92		µg/l	ICP-SMS
Cu	1840	222	µg/l	ICP-AES	Cu	1880	225	µg/l	ICP-AES
Hg	<0,02		µg/l	AFS	Hg	<0,02		µg/l	AFS
Mn	122		µg/l	ICP-SMS	Mn	107		µg/l	ICP-SMS
Ni	21,6		µg/l	ICP-SMS	Ni	19,3		µg/l	ICP-SMS
Pb	1150	200	µg/l	ICP-AES	Pb	1110	197	µg/l	ICP-AES
Zn	839	111	µg/l	ICP-AES	Zn	878	116	µg/l	ICP-AES

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.

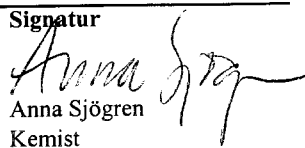
Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå
Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

Hemsida:
 www.sgab.com
E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst
Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

Analyspaket: V3A-N

Provnummer:	U10040678-00	U10040679-00
Beteckning 1:	Prov 3 pH4	Prov 1 pH 6,7
Beteckning 2:	Järnsand	Järnsand

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	1,46	0,21	mg/l	ICP-AES	Ca	1,66	0,23	mg/l	ICP-AES
Fe	5,35	0,68	mg/l	ICP-AES	Fe	1,02	0,13	mg/l	ICP-AES
K	42,9	5,3	mg/l	ICP-AES	K	127	16	mg/l	ICP-AES
Mg	0,305	0,051	mg/l	ICP-AES	Mg	0,362	0,057	mg/l	ICP-AES
Na	0,393	0,184	mg/l	ICP-AES	Na	1,11	0,23	mg/l	ICP-AES
S	<0,2		mg/l	ICP-AES	S	0,804	0,157	mg/l	ICP-AES
Al	529		µg/l	ICP-SMS	Al	338		µg/l	ICP-SMS
As	7,93		µg/l	ICP-SMS	As	23,9		µg/l	ICP-SMS
Ba	47,3		µg/l	ICP-SMS	Ba	27		µg/l	ICP-SMS
Cd	1,16		µg/l	ICP-SMS	Cd	0,238		µg/l	ICP-SMS
Co	22,3		µg/l	ICP-SMS	Co	9,61		µg/l	ICP-SMS
Cr	0,993		µg/l	ICP-SMS	Cr	2,53		µg/l	ICP-SMS
Cu	1750	210	µg/l	ICP-AES	Cu	123		µg/l	ICP-SMS
Hg	<0,02		µg/l	AFS	Hg	<0,02		µg/l	AFS
Mn	118		µg/l	ICP-SMS	Mn	55,7		µg/l	ICP-SMS
Ni	17,6		µg/l	ICP-SMS	Ni	15,4		µg/l	ICP-SMS
Pb	1060	189	µg/l	ICP-AES	Pb	171		µg/l	ICP-SMS
Zn	943	126	µg/l	ICP-AES	Zn	239		µg/l	ICP-SMS


Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.
 Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorier uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress	Hemsida:	Telefon	Signatur
Luleå Tekniska Universitet 97187 Luleå	www.sgab.com	+ 46 920 492 480 Växel + 46 920 492 482 Kundtjänst	
Besöksadress	E-post	Fax	Anna Sjögren Kemist
Universitetsområdet C-huset	lulea@sgab.se	+ 46 920 492 490	

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson
 BOX 74
 971 03 Luleå

 Analyspaket: **V3A-N**

Provnummer:	U10040680-00	U10040681-00
Beteckning 1:	Prov 2 pH 6,7	Prov 3 pH 6,7
Beteckning 2:	Järnsand	Järnsand

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	0,825	0,118	mg/l	ICP-AES	Ca	0,646	0,094	mg/l	ICP-AES
Fe	0,735		mg/l	ICP-SMS	Fe	0,404		mg/l	ICP-SMS
K	7,4	0,95	mg/l	ICP-AES	K	2,09	0,36	mg/l	ICP-AES
Mg	0,147	0,04	mg/l	ICP-AES	Mg	0,094	0,0356	mg/l	ICP-AES
Na	0,496	0,187	mg/l	ICP-AES	Na	0,348	0,182	mg/l	ICP-AES
S	0,566	0,118	mg/l	ICP-AES	S	0,44	0,114	mg/l	ICP-AES
Al	156		µg/l	ICP-SMS	Al	102		µg/l	ICP-SMS
As	40,6		µg/l	ICP-SMS	As	18,9		µg/l	ICP-SMS
Ba	5,36		µg/l	ICP-SMS	Ba	3,38		µg/l	ICP-SMS
Cd	0,184		µg/l	ICP-SMS	Cd	0,106		µg/l	ICP-SMS
Co	3,14		µg/l	ICP-SMS	Co	2,72		µg/l	ICP-SMS
Cr	1,29		µg/l	ICP-SMS	Cr	0,995		µg/l	ICP-SMS
Cu	86,6		µg/l	ICP-SMS	Cu	55,1		µg/l	ICP-SMS
Hg	0,034		µg/l	AFS	Hg	0,0222		µg/l	AFS
Mn	21,6		µg/l	ICP-SMS	Mn	16,5		µg/l	ICP-SMS
Ni	4,53		µg/l	ICP-SMS	Ni	3,86		µg/l	ICP-SMS
Pb	125		µg/l	ICP-SMS	Pb	79		µg/l	ICP-SMS
Zn	75,1		µg/l	ICP-SMS	Zn	71		µg/l	ICP-SMS

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.


Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorier uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå
Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

Hemsida:
 www.sgab.com
E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst
Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

 Analyspaket: **V3A-N**

Provnummer:	U10040682-00	U10040683-00
Beteckning 1:	Prov 1 pH 9	Prov 2 pH 9
Beteckning 2:	Järnsand	Järnsand

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	0,427	0,064	mg/l	ICP-AES	Ca	0,285	0,045	mg/l	ICP-AES
Fe	1,9	0,24	mg/l	ICP-AES	Fe	1,69	0,22	mg/l	ICP-AES
K	332	41	mg/l	ICP-AES	K	188	23	mg/l	ICP-AES
Mg	<0,09		mg/l	ICP-AES	Mg	<0,09		mg/l	ICP-AES
Na	42,4	5,3	mg/l	ICP-AES	Na	44,5	5,6	mg/l	ICP-AES
S	0,695	0,143	mg/l	ICP-AES	S	0,568	0,122	mg/l	ICP-AES
Al	548		µg/l	ICP-SMS	Al	551		µg/l	ICP-SMS
As	181		µg/l	ICP-SMS	As	185		µg/l	ICP-SMS
Ba	8		µg/l	ICP-SMS	Ba	7,45		µg/l	ICP-SMS
Cd	0,17		µg/l	ICP-SMS	Cd	0,126		µg/l	ICP-SMS
Co	1,11		µg/l	ICP-SMS	Co	0,925		µg/l	ICP-SMS
Cr	3,55		µg/l	ICP-SMS	Cr	3,3		µg/l	ICP-SMS
Cu	260		µg/l	ICP-SMS	Cu	212		µg/l	ICP-SMS
Hg	<0,02		µg/l	AFS	Hg	<0,02		µg/l	AFS
Mn	7,31		µg/l	ICP-SMS	Mn	6,99		µg/l	ICP-SMS
Ni	3,55		µg/l	ICP-SMS	Ni	2,16		µg/l	ICP-SMS
Pb	377		µg/l	ICP-SMS	Pb	291		µg/l	ICP-SMS
Zn	61,9		µg/l	ICP-SMS	Zn	51,5		µg/l	ICP-SMS

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.
 Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå

Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

Hemsida:
 www.sgab.com

E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst

Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

Analyspaket: V3A-N

Provnummer:	U10040684-00	U10040685-00
Beteckning 1:	Prov 3 pH 9	Prov 1 pH 4
Beteckning 2:	Järnsand	Referens

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	0,33	0,051	mg/l	ICP-AES	Ca	51,3	7,2	mg/l	ICP-AES
Fe	0,974	0,125	mg/l	ICP-AES	Fe	18,8	2,4	mg/l	ICP-AES
K	193	24	mg/l	ICP-AES	K	256	32	mg/l	ICP-AES
Mg	<0,09		mg/l	ICP-AES	Mg	6,41	0,82	mg/l	ICP-AES
Na	48,7	6,1	mg/l	ICP-AES	Na	4,35	0,58	mg/l	ICP-AES
S	0,701	0,157	mg/l	ICP-AES	S	1,86	0,32	mg/l	ICP-AES
Al	479		µg/l	ICP-SMS	Al	3130	384	µg/l	ICP-AES
As	127		µg/l	ICP-SMS	As	<1		µg/l	ICP-SMS
Ba	5,09		µg/l	ICP-SMS	Ba	236		µg/l	ICP-SMS
Cd	0,0952		µg/l	ICP-SMS	Cd	0,175		µg/l	ICP-SMS
Co	0,527		µg/l	ICP-SMS	Co	30,8		µg/l	ICP-SMS
Cr	2,88		µg/l	ICP-SMS	Cr	7,21		µg/l	ICP-SMS
Cu	132		µg/l	ICP-SMS	Cu	27,3		µg/l	ICP-SMS
Hg	0,0745		µg/l	AFS	Hg	0,0209		µg/l	AFS
Mn	4,19		µg/l	ICP-SMS	Mn	609		µg/l	ICP-SMS
Ni	2,26		µg/l	ICP-SMS	Ni	60,5		µg/l	ICP-SMS
Pb	184		µg/l	ICP-SMS	Pb	3,2		µg/l	ICP-SMS
Zn	32,1		µg/l	ICP-SMS	Zn	201		µg/l	ICP-SMS

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.


Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå
Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

Hemsida:
 www.sgab.com
E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst
Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

 Analyspaket: **V3A-N**

Provnummer:	U10040686-00	U10040687-00
Beteckning 1:	Prov 2 pH 4	Prov 3 pH 4
Beteckning 2:	Referens	Referens

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	46,8	6,6	mg/l	ICP-AES	Ca	44,8	6,3	mg/l	ICP-AES
Fe	3,23	0,41	mg/l	ICP-AES	Fe	5,23	0,67	mg/l	ICP-AES
K	382	47	mg/l	ICP-AES	K	174	21	mg/l	ICP-AES
Mg	5,05	0,64	mg/l	ICP-AES	Mg	5,27	0,67	mg/l	ICP-AES
Na	3,14	0,43	mg/l	ICP-AES	Na	3,25	0,45	mg/l	ICP-AES
S	1,87	0,33	mg/l	ICP-AES	S	1,99	0,35	mg/l	ICP-AES
Al	1710		µg/l	ICP-SMS	Al	1800		µg/l	ICP-SMS
As	<1		µg/l	ICP-SMS	As	<1		µg/l	ICP-SMS
Ba	212		µg/l	ICP-SMS	Ba	183		µg/l	ICP-SMS
Cd	0,151		µg/l	ICP-SMS	Cd	0,102		µg/l	ICP-SMS
Co	20,3		µg/l	ICP-SMS	Co	23,1		µg/l	ICP-SMS
Cr	1,59		µg/l	ICP-SMS	Cr	2,48		µg/l	ICP-SMS
Cu	32,4		µg/l	ICP-SMS	Cu	22,4		µg/l	ICP-SMS
Hg	<0,02		µg/l	AFS	Hg	<0,02		µg/l	AFS
Mn	500		µg/l	ICP-SMS	Mn	522		µg/l	ICP-SMS
Ni	39,4		µg/l	ICP-SMS	Ni	43,9		µg/l	ICP-SMS
Pb	3,44		µg/l	ICP-SMS	Pb	0,767		µg/l	ICP-SMS
Zn	123		µg/l	ICP-SMS	Zn	120		µg/l	ICP-SMS

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorier uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå


Hemsida:
 www.sgab.com

Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst

Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

Analyspaket: V3A-N

Provnummer:	U10040688-00	U10040689-00
Beteckning 1:	Prov 1 pH 6,7	Prov 2 pH 6,7
Beteckning 2:	Referens	Referens

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	35,7	5	mg/l	ICP-AES	Ca	40,4	5,7	mg/l	ICP-AES
Fe	0,0254		mg/l	ICP-SMS	Fe	0,0119		mg/l	ICP-SMS
K	255	31	mg/l	ICP-AES	K	137	17	mg/l	ICP-AES
Mg	4,13	0,53	mg/l	ICP-AES	Mg	4,67	0,6	mg/l	ICP-AES
Na	3,29	0,45	mg/l	ICP-AES	Na	3,33	0,45	mg/l	ICP-AES
S	2,75	0,47	mg/l	ICP-AES	S	3,41	0,57	mg/l	ICP-AES
Al	17,1		µg/l	ICP-SMS	Al	6,78		µg/l	ICP-SMS
As	<1		µg/l	ICP-SMS	As	<1		µg/l	ICP-SMS
Ba	119		µg/l	ICP-SMS	Ba	111		µg/l	ICP-SMS
Cd	<0,05		µg/l	ICP-SMS	Cd	<0,05		µg/l	ICP-SMS
Co	2,17		µg/l	ICP-SMS	Co	2,63		µg/l	ICP-SMS
Cr	<0,5		µg/l	ICP-SMS	Cr	<0,5		µg/l	ICP-SMS
Cu	<1		µg/l	ICP-SMS	Cu	<1		µg/l	ICP-SMS
Hg	<0,02		µg/l	AFS	Hg	<0,02		µg/l	AFS
Mn	156		µg/l	ICP-SMS	Mn	209		µg/l	ICP-SMS
Ni	7,58		µg/l	ICP-SMS	Ni	11,4		µg/l	ICP-SMS
Pb	<0,2		µg/l	ICP-SMS	Pb	<0,2		µg/l	ICP-SMS
Zn	9,45		µg/l	ICP-SMS	Zn	8,99		µg/l	ICP-SMS

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.


Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå
Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

Hemsida:
 www.sgab.com
E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst
Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

Analyspaket: V3A-N

Provnummer:	U10040690-00	U10040691-00
Beteckning 1:	Prov 3 pH 6,7	Prov 1 pH 9,3
Beteckning 2:	Referens	Referens

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	29,2	4,1	mg/l	ICP-AES	Ca	7,6	1,07	mg/l	ICP-AES
Fe	0,0324		mg/l	ICP-SMS	Fe	0,1		mg/l	ICP-SMS
K	179	22	mg/l	ICP-AES	K	80,3	9,9	mg/l	ICP-AES
Mg	4,39	0,56	mg/l	ICP-AES	Mg	2,15	0,28	mg/l	ICP-AES
Na	3,89	0,52	mg/l	ICP-AES	Na	89,9	11,3	mg/l	ICP-AES
S	3,11	0,52	mg/l	ICP-AES	S	5,06	0,85	mg/l	ICP-AES
Al	16,1		µg/l	ICP-SMS	Al	436		µg/l	ICP-SMS
As	<1		µg/l	ICP-SMS	As	<1		µg/l	ICP-SMS
Ba	80,6		µg/l	ICP-SMS	Ba	23,2		µg/l	ICP-SMS
Cd	<0,05		µg/l	ICP-SMS	Cd	<0,05		µg/l	ICP-SMS
Co	1,42		µg/l	ICP-SMS	Co	0,192		µg/l	ICP-SMS
Cr	<0,5		µg/l	ICP-SMS	Cr	<0,5		µg/l	ICP-SMS
Cu	<1		µg/l	ICP-SMS	Cu	1,71		µg/l	ICP-SMS
Hg	<0,02		µg/l	AFS	Hg	<0,02		µg/l	AFS
Mn	98,8		µg/l	ICP-SMS	Mn	3,07		µg/l	ICP-SMS
Ni	4,85		µg/l	ICP-SMS	Ni	1,07		µg/l	ICP-SMS
Pb	<0,2		µg/l	ICP-SMS	Pb	0,256		µg/l	ICP-SMS
Zn	4,35		µg/l	ICP-SMS	Zn	2,53		µg/l	ICP-SMS

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.
 Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.

Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorierna uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå


Hemsida:
 www.sgab.com

Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst

Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

Er Order Id: Ex-jobb
 Registrerad: 2002-03-11
 Analyserad: 2002-03-15
 Utfärdad: 2002-03-15

 Banverket Projektering
 Lena Andersson

 BOX 74
 971 03 Luleå

 Analyspaket: **V3A-N**

Provnummer:	U10040692-00	U10040693-00
Beteckning 1:	Prov 2 pH 9,3	Prov 3 pH 9,3
Beteckning 2:	Referens	Referens

Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod	Analys	Resultat	Mätosäk.	Enhet	Metod
Ca	5,36	0,76	mg/l	ICP-AES	Ca	7,06	0,99	mg/l	ICP-AES
Fe	0,285		mg/l	ICP-SMS	Fe	0,164		mg/l	ICP-SMS
K	16,1	2	mg/l	ICP-AES	K	220	27	mg/l	ICP-AES
Mg	1,13	0,15	mg/l	ICP-AES	Mg	2,78	0,36	mg/l	ICP-AES
Na	125	16	mg/l	ICP-AES	Na	168	21	mg/l	ICP-AES
S	5,79	0,97	mg/l	ICP-AES	S	6,24	1,04	mg/l	ICP-AES
Al	481		µg/l	ICP-SMS	Al	216		µg/l	ICP-SMS
As	1,09		µg/l	ICP-SMS	As	<1		µg/l	ICP-SMS
Ba	11,7		µg/l	ICP-SMS	Ba	20		µg/l	ICP-SMS
Cd	<0,05		µg/l	ICP-SMS	Cd	<0,05		µg/l	ICP-SMS
Co	0,361		µg/l	ICP-SMS	Co	0,126		µg/l	ICP-SMS
Cr	0,926		µg/l	ICP-SMS	Cr	0,565		µg/l	ICP-SMS
Cu	1,35		µg/l	ICP-SMS	Cu	1,05		µg/l	ICP-SMS
Hg	<0,02		µg/l	AFS	Hg	<0,02		µg/l	AFS
Mn	5,22		µg/l	ICP-SMS	Mn	1,54		µg/l	ICP-SMS
Ni	1,27		µg/l	ICP-SMS	Ni	1,03		µg/l	ICP-SMS
Pb	0,225		µg/l	ICP-SMS	Pb	<0,2		µg/l	ICP-SMS
Zn	1,79		µg/l	ICP-SMS	Zn	<1		µg/l	ICP-SMS

Analys av vattenprov utan föregående uppslutning. Provet har surgjorts med 1 ml salpetersyra(suprapur) per 100 ml. Detta gäller dock ej prov som varit surgjort vid ankomsten till laboratoriet.

Analys har skett enligt EPA-metoder (modifierade) 200.7 (ICP-AES) och 200.8 (ICP-SMS).

Spridningen anges som en utvidgad osäkerhet (enligt definitionen i "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISO, Geneva, Switzerland 1993) beräknad med täckningsfaktor lika med 2 vilket ger en konfidensnivå på ungefär 95%.

Analysnamn märkta med * indikerar ej ackrediterade analyser.


Laboratorium ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Verksamheten vid de svenska ackrediterade laboratorier uppfyller kraven i SS-EN 45001 (1989), SS-EN 45002 (1989) och ISO/IEC Guide 25 (1990:E).

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte SWEDAC och utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Utdrag ur rapport m dock göras för resultat som används för redovisning till Statens naturvårdsverk (SNV), länsstyrelser och kommuner för kontroll enligt SNVs krav.

Postadress
 Luleå Tekniska Universitet
 97187 Luleå
Besöksadress
 Universitetsområdet C-huset

Hemsida:
 www.sgab.com
E-post
 lulea@sgab.se

Telefon
 + 46 920 492 480 Växel
 + 46 920 492 482 Kundtjänst
Fax
 + 46 920 492 490

Signatur

 Anna Sjögren
 Kemist

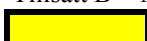
Tabell A. Utlakad mängd ämnen per liter och per kilo TS

BILAGA 10

Material	Provnr	Vikt [g]	H2O [ml]	pH	PH avläst	S/B	Tot volym	Ca		Fe		K		Mg	
								mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg
Järnsand	1	5,0352	50,000	4	3,999	44,00	94,000	1,350	25,843	4,150	79,445	44,600	853,792	0,244	4,671
Järnsand	2	5,0341	50,000	4	4,001	45,00	95,000	1,350	26,124	4,570	88,435	45,000	870,804	0,265	5,128
Järnsand	3	5,0034	50,000	4	4,003	50,01	100,010	1,460	29,925	5,350	109,657	42,900	879,310	0,305	6,252
Medelvärde								1,387	27,298	4,690	92,512	44,167	867,969	0,271	5,350
Standardavvikelse								0,064	2,280	0,609	15,514	1,115	12,993	0,031	0,813
Järnsand	1	5,0019	50,000	6,378	6,853	-	50,000	1,660	17,016	1,020	10,455	127,000	1301,802	0,362	3,711
Järnsand	2	5,0053	50,000	5,87	6,726	-	50,000	0,825	8,451	0,735	7,529	7,400	75,802	0,147	1,506
Järnsand	4	5,0095	50,000	-	6,665	-	50,000	0,646	6,612	0,404	4,135	2,090	21,391	0,094	0,962
Medelvärde								1,044	10,693	0,720	7,373	45,497	466,332	0,201	2,060
Standardavvikelse								0,541	5,552	0,308	3,163	70,634	724,050	0,142	1,456
Järnsand	1	5,0455	50,000	9	9,021	9,28	59,278	0,427	5,144	1,900	22,890	332,000	3999,758	0,090	1,084
Järnsand	2	5,013	50,000	9	9,019	10,32	60,320	0,285	3,517	1,690	20,852	188,000	2319,678	0,090	1,110
Järnsand	3	5,0192	50,000	9	9,015	11,54	61,540	0,330	4,149	0,974	12,246	193,000	2426,535	0,090	1,132
Medelvärde								0,347	4,270	1,521	18,663	237,667	2915,324	0,090	1,109
Standardavvikelse								0,073	0,821	0,485	5,650	81,733	940,666	0,000	0,024
Referens	1	5,0179	50,000	4	3,997	35,66	85,660	51,300	905,997	18,800	332,022	256,000	4521,153	6,410	113,205
Referens	2	5,0098	50,000	4	3,978	20,16	70,160	46,800	678,060	3,230	46,798	382,000	5534,594	5,050	73,167
Referens	3	5,018	50,000	4	3,999	21,59	71,590	44,800	661,231	5,230	77,193	174,000	2568,172	5,270	77,783
Medelvärde								47,633	748,429	9,087	152,004	270,667	4207,973	5,577	88,052
Standardavvikelse								3,329	136,717	8,471	156,639	104,773	1507,805	0,730	21,906
Referens	1	5,0098	50,000	6,7	6,589	10,05	60,050	35,700	442,705	0,025	0,315	255,000	3162,176	4,130	51,215
Referens	2	5,031	50,000	6,7	6,667	12,71	62,710	40,400	520,975	0,012	0,153	137,000	1766,673	4,670	60,222
Referens	3	5,0332	50,000	6,7	6,636	7,83	57,828	29,200	347,080	0,032	0,385	179,000	2127,650	4,390	52,181
Medelvärde								35,100	436,920	0,023	0,285	190,333	2352,166	4,397	54,539
Standardavvikelse								5,624	87,092	0,010	0,119	59,811	724,336	0,270	4,945
Referens	3	5,0299	50,000	9,3	9,334	3,33	53,330	7,600	83,364	0,100	1,097	80,300	880,807	2,150	23,583
Referens	1	5,0299	50,000	9,3	9,308	1,65	51,648	5,360	56,939	0,285	3,028	16,100	171,030	1,130	12,004
Referens	2	5,0145	50,000	9,3	9,320	2,44	52,438	7,060	76,379	0,164	1,774	220,000	2380,095	2,780	30,076
Medelvärde								6,673	72,228	0,183	1,966	105,467	1143,978	2,020	21,888
Standardavvikelse								1,169	13,693	0,094	0,980	104,254	1127,801	0,833	9,154

Tillsatt S = Salpetersyra HNO₃, 0,001 M för järnsand, 0,010 M för referens

Tillsatt B = Natriumhydroxid NaOH, 0,010 M för järnsand, 0,100 M för referens



Inramade värden betyder t ex värde <20, högsta värdet valdes.

Järnsand pH 4, 0,009 mmol (H⁺)/g TS, Referens, 0,050 mmol (H⁺)/(g TS)

Järnsand pH 9, 0,021 mmol (OH⁻)/g TS, Referens, 0,153 mmol(OH⁻)/(g TS)

Referens pH 6,7, 0,021 mmol (H⁺)/(g TS)

Tabell B. Utlakad mängd ämnen per liter och per kilo TS

Material	Provnr	Vikt [g]	H2O [ml]	pH	PH avläst	S/B	Tot volym	Na		S		Al		As	
								mg/l	mg/kg	mg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg
Järnsand	1	5,0352	50,000	4	3,999	44,00	94,000	0,371	7,102	0,164	3,140	570,000	10,912	5,150	0,099
Järnsand	2	5,0341	50,000	4	4,001	45,00	95,000	0,349	6,754	0,200	3,870	539,000	10,430	36,400	0,704
Järnsand	3	5,0034	50,000	4	4,003	50,01	100,010	0,393	8,055	0,200	4,099	529,000	10,843	7,930	0,163
Medelvärde								0,371	7,304	0,188	3,703	546,000	10,728	16,493	0,322
Standardavvikelse								0,022	0,674	0,021	0,501	21,378	0,260	17,296	0,333
Järnsand	1	5,0019	50,000	6,378	6,853	-	50,000	1,110	11,378	0,804	8,241	338,000	3,465	23,900	0,245
Järnsand	2	5,0053	50,000	5,87	6,726	-	50,000	0,496	5,081	0,566	5,798	156,000	1,598	40,600	0,416
Järnsand	4	5,0095	50,000	-	6,665	-	50,000	0,348	3,562	0,440	4,503	102,000	1,044	18,900	0,193
Medelvärde								0,651	6,673	0,603	6,181	198,667	2,036	27,800	0,285
Standardavvikelse								0,404	4,144	0,185	1,898	123,650	1,268	11,364	0,116
Järnsand	1	5,0455	50,000	9	9,021	9,28	59,278	42,400	510,812	0,695	8,373	548,000	6,602	181,000	2,181
Järnsand	2	5,013	50,000	9	9,019	10,32	60,320	44,500	549,073	0,568	7,008	551,000	6,799	185,000	2,283
Järnsand	3	5,0192	50,000	9	9,015	11,54	61,540	48,700	612,292	0,701	8,813	479,000	6,022	127,000	1,597
Medelvärde								45,200	557,392	0,655	8,065	526,000	6,474	164,333	2,020
Standardavvikelse								3,208	51,249	0,075	0,941	40,731	0,404	32,393	0,370
Referens	1	5,0179	50,000	4	3,997	35,66	85,660	4,350	76,824	1,860	32,849	3130,000	55,278	1,000	0,018
Referens	2	5,0098	50,000	4	3,978	20,16	70,160	3,140	45,494	1,870	27,093	1710,000	24,775	1,000	0,014
Referens	3	5,018	50,000	4	3,999	21,59	71,590	3,250	47,969	1,990	29,372	1800,000	26,567	1,000	0,015
Medelvärde								3,580	56,762	1,907	29,771	2213,333	35,540	1,000	0,016
Standardavvikelse								0,669	17,418	0,072	2,899	795,131	17,117	0,000	0,002
Referens	1	5,0098	50,000	6,7	6,589	10,05	60,050	3,290	40,798	2,750	34,102	17,100	0,212	1,000	0,012
Referens	2	5,031	50,000	6,7	6,667	12,71	62,710	3,330	42,942	3,410	43,973	6,780	0,087	1,000	0,013
Referens	3	5,0332	50,000	6,7	6,636	7,83	57,828	3,890	46,238	3,110	36,966	16,100	0,191	1,000	0,012
Medelvärde								3,503	43,326	3,090	38,347	13,327	0,164	1,000	0,012
Standardavvikelse								0,335	2,740	0,330	5,079	5,692	0,067	0,000	0,001
Referens	3	5,0299	50,000	9,3	9,334	3,33	53,330	89,900	986,109	5,060	55,503	436,000	4,782	1,000	0,011
Referens	1	5,0299	50,000	9,3	9,308	1,65	51,648	125,000	1327,876	5,790	61,507	481,000	5,110	1,090	0,012
Referens	2	5,0145	50,000	9,3	9,320	2,44	52,438	168,000	1817,527	6,240	67,508	216,000	2,337	1,000	0,011
Medelvärde								127,633	1377,171	5,697	61,506	377,667	4,076	1,030	0,011
Standardavvikelse								39,117	417,895	0,596	6,003	141,804	1,515	0,052	0,000

Tillsatt S = Salpetersyra HNO₃, 0,001 M för järnsand, 0,010 M för referens

Tillsatt B = Natriumhydroxid NaOH, 0,010 M för järnsand, 0,100 M för referens

Inramade värden betyder t ex värde <20, högsta värdet valdes.

Järnsand pH 4, 0,009 mmol (H⁺)/g TS, Referens, 0,050 mmol (H⁺)/(g TS)

Järnsand pH 9, 0,021 mmol (OH⁻)/g TS, Referens, 0,153 mmol(OH⁻)/(g TS)

Referens pH 6,7, 0,021 mmol (H⁺)/(g TS)

Tabell C. Utlakad mängd ämnen per liter och per kilo TS

Material	Provnr	Vikt [g]	H2O [ml]	pH	PH avläst	S/B	Tot volym	Ba		Cd		Co		Cr	
								µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg
Järnsand	1	5,0352	50,000	4	3,999	44,00	94,000	44,200	0,846	1,220	0,023	21,300	0,408	1,280	0,025
Järnsand	2	5,0341	50,000	4	4,001	45,00	95,000	45,000	0,871	1,250	0,024	20,900	0,404	0,920	0,018
Järnsand	3	5,0034	50,000	4	4,003	50,01	100,010	47,300	0,969	1,160	0,024	22,300	0,457	0,993	0,020
Medelvärde								45,500	0,895	1,210	0,024	21,500	0,423	1,064	0,021
Standardavvikelse								1,609	0,065	0,046	0,000	0,721	0,029	0,190	0,003
Järnsand	1	5,0019	50,000	6,378	6,853	-	50,000	27,000	0,277	0,238	0,002	9,610	0,099	2,530	0,026
Järnsand	2	5,0053	50,000	5,87	6,726	-	50,000	5,360	0,055	0,184	0,002	3,140	0,032	1,290	0,013
Järnsand	4	5,0095	50,000	-	6,665	-	50,000	3,380	0,035	0,106	0,001	2,720	0,028	0,995	0,010
Medelvärde								11,913	0,122	0,176	0,002	5,157	0,053	1,605	0,016
Standardavvikelse								13,103	0,134	0,066	0,001	3,862	0,040	0,815	0,008
Järnsand	1	5,0455	50,000	9	9,021	9,28	59,278	8,000	0,096	0,170	0,002	1,110	0,013	3,550	0,043
Järnsand	2	5,013	50,000	9	9,019	10,32	60,320	7,450	0,092	0,126	0,002	0,925	0,011	3,300	0,041
Järnsand	3	5,0192	50,000	9	9,015	11,54	61,540	5,090	0,064	0,095	0,001	0,527	0,007	2,880	0,036
Medelvärde								6,847	0,084	0,130	0,002	0,854	0,010	3,243	0,040
Standardavvikelse								1,546	0,018	0,038	0,000	0,298	0,003	0,339	0,003
Referens	1	5,0179	50,000	4	3,997	35,66	85,660	236,000	4,168	0,175	0,003	30,800	0,544	7,210	0,010
Referens	2	5,0098	50,000	4	3,978	20,16	70,160	212,000	3,072	0,151	0,002	20,300	0,294	1,590	0,004
Referens	3	5,018	50,000	4	3,999	21,59	71,590	183,000	2,701	0,102	0,002	23,100	0,341	2,480	0,005
Medelvärde								210,333	3,314	0,143	0,002	24,733	0,393	3,760	0,006
Standardavvikelse								26,539	0,763	0,037	0,001	5,437	0,133	3,021	0,003
Referens	1	5,0098	50,000	6,7	6,589	10,05	60,050	119,000	1,476	0,050	0,001	2,170	0,027	0,500	0,00033
Referens	2	5,031	50,000	6,7	6,667	12,71	62,710	111,000	1,431	0,050	0,001	2,630	0,034	0,500	0,00044
Referens	3	5,0332	50,000	6,7	6,636	7,83	57,828	80,600	0,958	0,050	0,001	1,420	0,017	0,500	0,00020
Medelvärde								103,533	1,288	0,050	0,001	2,073	0,026	0,500	0,00032
Standardavvikelse								20,260	0,287	0,000	0,000	0,611	0,009	0,000	0,00012
Referens	3	5,0299	50,000	9,3	9,334	3,33	53,330	23,200	0,254	0,050	0,001	0,192	0,002	<0,5	0,00002
Referens	1	5,0299	50,000	9,3	9,308	1,65	51,648	11,700	0,124	0,050	0,001	0,361	0,004	0,926	0,00004
Referens	2	5,0145	50,000	9,3	9,320	2,44	52,438	20,000	0,216	0,050	0,001	0,126	0,001	0,565	0,00001
Medelvärde								18,300	0,198	0,050	0,001	0,226	0,002	0,746	0,00003
Standardavvikelse								5,935	0,067	0,000	0,000	0,121	0,001	0,255	0,00001

Tillsatt S = Salpetersyra HNO₃, 0,001 M för järnsand, 0,010 M för referens

Tillsatt B = Natriumhydroxid NaOH, 0,010 M för järnsand, 0,100 M för referens

Inramade värden betyder t ex värde <20, högsta värdet valdes.

Järnsand pH 4, 0,009 mmol (H⁺)/g TS, Referens, 0,050 mmol (H⁺)/(g TS)

Järnsand pH 9, 0,021 mmol (OH⁻)/g TS, Referens, 0,153 mmol(OH⁻)/(g TS)

Referens pH 6,7, 0,021 mmol (H⁺)/(g TS)

Tabell D. Utlakad mängd ämnen per liter och per kilo TS

Material	Provnr	Vikt [g]	H2O [ml]	pH	PH avläst	S/B	Tot volym	Cu		Hg		Mn		Ni	
								µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg
Järnsand	1	5,0352	50,000	4	3,999	44,00	94,000	1840,000	35,224	0,020	0,00038	122,000	2,335	21,600	0,413
Järnsand	2	5,0341	50,000	4	4,001	45,00	95,000	1880,000	36,380	0,020	0,00039	107,000	2,071	19,300	0,373
Järnsand	3	5,0034	50,000	4	4,003	50,01	100,010	1750,000	35,869	0,020	0,00041	118,000	2,419	17,600	0,361
Medelvärde								1823,333	35,824	0,020	0,00039	115,667	2,275	19,500	0,383
Standardavvikelse								66,583	0,580	0,000	0,00001	7,767	0,182	2,007	0,028
Järnsand	1	5,0019	50,000	6,378	6,853	-	50,000	123,000	1,261	0,020	0,00021	55,700	0,571	15,400	0,158
Järnsand	2	5,0053	50,000	5,87	6,726	-	50,000	86,600	0,887	0,034	0,00035	21,600	0,221	4,530	0,046
Järnsand	4	5,0095	50,000	-	6,665	-	50,000	55,100	0,564	0,022	0,00023	16,500	0,169	3,860	0,040
Medelvärde								88,233	0,904	0,025	0,00026	31,267	0,320	7,930	0,081
Standardavvikelse								33,979	0,349	0,008	0,00008	21,313	0,219	6,478	0,066
Järnsand	1	5,0455	50,000	9	9,021	9,28	59,278	260,000	3,132	0,020	0,00024	7,310	0,088	3,550	0,043
Järnsand	2	5,013	50,000	9	9,019	10,32	60,320	212,000	2,616	0,020	0,00025	6,990	0,086	2,160	0,027
Järnsand	3	5,0192	50,000	9	9,015	11,54	61,540	132,000	1,660	0,075	0,00094	4,190	0,053	2,260	0,028
Medelvärde								201,333	2,469	0,038	0,00047	6,163	0,076	2,657	0,033
Standardavvikelse								64,663	0,747	0,031	0,00040	1,716	0,020	0,775	0,009
Referens	1	5,0179	50,000	4	3,997	35,66	85,660	27,300	0,482	0,021	0,00037	609,000	10,755	60,500	0,190
Referens	2	5,0098	50,000	4	3,978	20,16	70,160	32,400	0,469	0,020	0,00029	500,000	7,244	39,400	0,105
Referens	3	5,018	50,000	4	3,999	21,59	71,590	22,400	0,331	0,020	0,00030	522,000	7,705	43,900	0,114
Medelvärde								27,367	0,427	0,020	0,00032	543,667	8,568	47,933	0,136
Standardavvikelse								5,000	0,084	0,001	0,00004	57,640	1,908	11,113	0,047
Referens	1	5,0098	50,000	6,7	6,589	10,05	60,050	1,000	0,012	0,020	0,00025	156,000	1,935	7,580	0,024
Referens	2	5,031	50,000	6,7	6,667	12,71	62,710	1,000	0,013	0,020	0,00026	209,000	2,695	11,400	0,035
Referens	3	5,0332	50,000	6,7	6,636	7,83	57,828	1,000	0,012	0,020	0,00024	98,800	1,174	4,850	0,014
Medelvärde								1,000	0,012	0,020	0,00025	154,600	1,935	7,943	0,024
Standardavvikelse								0,000	0,001	0,000	0,00001	55,113	0,760	3,290	0,010
Referens	3	5,0299	50,000	9,3	9,334	3,33	53,330	1,710	0,019	0,020	0,00022	3,070	0,034	1,070	0,000
Referens	1	5,0299	50,000	9,3	9,308	1,65	51,648	1,350	0,014	0,020	0,00021	5,220	0,055	1,270	0,001
Referens	2	5,0145	50,000	9,3	9,320	2,44	52,438	1,050	0,011	0,020	0,00022	1,540	0,017	1,030	0,000
Medelvärde								1,370	0,015	0,020	0,00022	3,277	0,035	1,123	0,000
Standardavvikelse								0,330	0,004	0,000	0,00000	1,849	0,019	0,129	0,000

Tillsatt S = Salpetersyra HNO₃, 0,001 M för järnsand, 0,010 M för referens

Tillsatt B = Natriumhydroxid NaOH, 0,010 M för järnsand, 0,100 M för referens

Inramade värden betyder t ex värde <20, högsta värdet valdes.

Järnsand pH 4, 0,009 mmol (H⁺)/g TS, Referens, 0,050 mmol (H⁺)/(g TS)

Järnsand pH 9, 0,021 mmol (OH⁻)/g TS, Referens, 0,153 mmol(OH⁻)/(g TS)

Referens pH 6,7, 0,021 mmol (H⁺)/(g TS)

Tabell E. Utlakad mängd ämnen per liter och per kilo TS

Material	Provnr	Vikt [g]	H2O [ml]	pH	PH avläst	S/B	Tot volym	Pb		Zn	
								µg/l	mg/kg	µg/l	mg/kg
Järnsand	1	5,0352	50,000	4	3,999	44,00	94,000	1150,000	22,015	839,000	16,061
Järnsand	2	5,0341	50,000	4	4,001	45,00	95,000	1110,000	21,480	878,000	16,990
Järnsand	3	5,0034	50,000	4	4,003	50,01	100,010	1060,000	21,727	943,000	19,328
Medelvärde								1106,667	21,740	886,667	17,460
Standardavvikelse								45,092	0,268	52,539	1,683
Järnsand	1	5,0019	50,000	6,378	6,853	-	50,000	171,000	1,753	239,000	2,450
Järnsand	2	5,0053	50,000	5,87	6,726	-	50,000	125,000	1,280	75,100	0,769
Järnsand	4	5,0095	50,000	-	6,665	-	50,000	79,000	0,809	71,000	0,727
Medelvärde								125,000	1,281	128,367	1,315
Standardavvikelse								46,000	0,472	95,833	0,983
Järnsand	1	5,0455	50,000	9	9,021	9,28	59,278	377,000	4,542	61,900	0,746
Järnsand	2	5,013	50,000	9	9,019	10,32	60,320	291,000	3,591	51,500	0,635
Järnsand	3	5,0192	50,000	9	9,015	11,54	61,540	184,000	2,313	32,100	0,404
Medelvärde								284,000	3,482	48,500	0,595
Standardavvikelse								96,690	1,118	15,125	0,175
Referens	1	5,0179	50,000	4	3,997	35,66	85,660	3,200	0,057	201,000	3,550
Referens	2	5,0098	50,000	4	3,978	20,16	70,160	3,440	0,050	123,000	1,782
Referens	3	5,018	50,000	4	3,999	21,59	71,590	0,767	0,011	120,000	1,771
Medelvärde								2,469	0,039	148,000	2,368
Standardavvikelse								1,479	0,024	45,924	1,024
Referens	1	5,0098	50,000	6,7	6,589	10,05	60,050	0,200	0,002	9,450	0,117
Referens	2	5,031	50,000	6,7	6,667	12,71	62,710	0,200	0,003	8,990	0,116
Referens	3	5,0332	50,000	6,7	6,636	7,83	57,828	0,200	0,002	4,350	0,052
Medelvärde								0,200	0,002	7,597	0,095
Standardavvikelse								0,000	0,000	2,821	0,037
Referens	3	5,0299	50,000	9,3	9,334	3,33	53,330	0,256	0,003	2,530	0,028
Referens	1	5,0299	50,000	9,3	9,308	1,65	51,648	0,225	0,002	1,790	0,019
Referens	2	5,0145	50,000	9,3	9,320	2,44	52,438	0,200	0,002	1,000	0,011
Medelvärde								0,227	0,002	1,773	0,019
Standardavvikelse								0,028	0,000	0,765	0,008

Tillsatt S = Salpetersyra HNO₃, 0,001 M för järnsand, 0,010 M för referens

Tillsatt B = Natriumhydroxid NaOH, 0,010 M för järnsand, 0,100 M för referens

Inramade värden betyder t ex värde <20, högsta värdet valdes.

Järnsand pH 4, 0,009 mmol (H⁺)/g TS, Referens, 0,050 mmol (H⁺)/(g TS)

Järnsand pH 9, 0,021 mmol (OH⁻)/g TS, Referens, 0,153 mmol(OH⁻)/(g TS)

Referens pH 6,7, 0,021 mmol (H⁺)/(g TS)

Tabell A. Jämförelse av utlakad mängd per kg TS och procentuellt utlakad mängd hos järnsand och referensmaterial vid pH 4

pH 4 Ämne	Järnsand						Referens					
	Totalhalt		Utlakbart		%	Stdav	Totalhalt		Utlakbart		%	Stdav
	mg/(kg TS)	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav			mg/(kg TS)	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav		
Ca*	25597	3790	27,298	2,280	0,009%		81989	1802	748,429	136,717	0,913%	
Fe*	296865	2824	92,512	15,514	0,866%		79455	405	152,004	156,639	0,191%	
K*	10682	174	867,969	12,993	8,125%		4092	249	4207,973	1507,805	102,837%	
Mg*	11318	127	5,350	0,813	0,047%		44821	1061	88,052	21,906	0,196%	
Na*	10165	237	7,304	0,674	0,072%		19908	297	56,762	17,418	0,285%	
S	8177	301	3,703	0,501	0,045%		1850	108	29,771	2,899	1,609%	
Al*	31830	682	10,728	0,260	0,034%		89576	2137	35,540	17,117	0,040%	
As	924	48	0,322	0,333	0,035%	0,0006	2	0	0,016	0,002	0,911%	0,0001
Ba	664	15	0,895	0,065	0,135%		405	23	3,314	0,763	0,819%	
Cd	7	0	0,024	0,000	0,357%	0,0004	0	0	0,002	0,001	6,250%	0,0009
Co	625	23	0,423	0,029	0,068%	0,001	23	0	0,393	0,133	1,708%	0,0245
Cr	502	10	0,021	0,003	0,004%	0	182	8	0,006	0,003	0,003%	0,0000
Cu	2860	115	35,824	0,580	1,253%	0,0177	66	4	0,427	0,084	0,643%	0,0092
Hg	0,04	0	0,00039	0,00001	0,975%		0,04	0	0,00032	0,00004	0,800%	
Mn*	929	19	2,275	0,182	0,245%		1062	19	8,568	1,908	0,807%	
Ni	157	7	0,383	0,028	0,244%	0,0035	52	2	0,136	0,047	0,259%	0,0037
Pb	5310	285	21,740	0,268	0,409%	0,0058	1	0	0,039	0,024	2,658%	0,0403
Zn	28533	1201	17,460	1,683	0,061%	0,0009	30	1	2,368	1,024	7,885%	0,1146

Stdav = Standardavvikelse

Tabell B. Jämförelse av utlakad mängd per kg TS och procentuellt utlakad mängd hos järnsand och referensmaterial vid pH 6,7

pH 6.7 Ämne	Järnsand						Referens					
	Totalhalt		Utlakbart				Totalhalt		Utlakbart			
	mg/(kg TS)	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav	%	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav	%	Stdav
Ca*	25597	3790	10,693	5,552	0,042%		81989	1802	436,920	87,092	0,533%	
Fe*	296865	2824	7,373	3,163	0,002%		79455	405	0,285	0,119	0,000%	
K*	10682	174	466,332	724,050	4,366%		4092	249	2352,166	724,336	57,483%	
Mg*	11318	127	2,060	1,456	0,018%		44821	1061	54,539	4,945	0,122%	
Na*	10165	237	6,673	4,144	0,066%		19908	297	43,326	2,740	0,218%	
S	8177	301	6,181	1,898	0,076%		1850	108	38,347	5,079	2,073%	
Al*	31830	682	2,036	1,268	0,006%		89576	2137	1,000	0,067	0,001%	
As	924	48	0,285	0,116	0,031%	0,0004	2	0	0,012	0,001	0,683%	0,0097
Ba	664	15	0,122	0,134	0,018%		405	23	1,288	0,287	0,318%	
Cd	7	0	0,002	0,001	0,027%	0,0004	0	0	0,001	0,000	3,125%	0,4430
Co	625	23	0,053	0,040	0,008%	0,0001	23	0	0,026	0,009	0,113%	0,0016
Cr	502	10	0,016	0,008	0,003%	0	182	8	0,00032	0,00012	0,000%	0,0000
Cu	2860	115	0,904	0,349	0,032%	0,0005	66	4	0,012	0,001	0,018%	0,0003
Hg	0,04	0	0,00026	0,00008	0,650%		0,04	0	0,00025	0,00001	0,625%	
Mn*	929	19	0,320	0,219	0,034%		1062	19	1,935	0,760	0,182%	
Ni	157	7	0,081	0,066	0,052%	0,0008	52	2	0,024	0,010	0,046%	0,0007
Pb	5310	285	1,281	0,472	0,024%	0,0003	1	0	0,002	0,000	0,136%	0,0019
Zn	28533	1201	1,315	0,983	0,005%	0	30	1	0,095	0,037	0,316%	0,0046

Tabell C. Jämförelse av utlakad mängd per kg TS och procentuellt utlakad mängd hos järnsand och referensmaterial vid pH 9

pH 9 Ämne	Järnsand					Referens						
	Totalhalt		Utlakbart			Totalhalt		Utlakbart				
	mg/(kg TS)	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav	%	mg/(kg TS)	Stdav	mg/(kg TS)	Stdav	%	Stdav	
Ca*	25597	3790	4,270	0,821	0,017%	81989	1802	72,228	13,693	0,088%		
Fe*	296865	2824	18,663	5,650	0,006%	79455	405	1,966	0,980	0,002%		
K*	10682	174	2915,324	940,666	27,292%	4092	249	1143,978	1127,801	27,957%		
Mg*	11318	127	1,109	0,024	0,010%	44821	1061	21,888	9,154	0,049%		
Na*	10165	237	557,392	51,249	5,483%	19908	297	1377,171	417,895	6,918%		
S	8177	301	8,065	0,941	0,099%	1850	108	61,506	6,003	3,325%		
Al*	31830	682	6,474	0,404	0,020%	89576	2137	4,076	1,515	0,005%		
As	924	48	2,020	0,370	0,219%	0,0031	2	0	0,011	0,000	0,626%	0,0089
Ba	664	15	0,084	0,018	0,013%	405	23	0,198	0,067	0,049%		
Cd	7	0	0,002	0,000	0,024%	0,0004	0	0	0,001	0,000	3,125%	0,0443
Co	625	23	0,010	0,003	0,002%	0	23	0	0,002	0,001	0,009%	0,0010
Cr	502	10	0,040	0,003	0,008%	0	182	8	0,00003	0,00001	0,000%	0,0000
Cu	2860	115	2,469	0,747	0,086%	0,0012	66	4	0,015	0,004	0,023%	0,0003
Hg	0,04	0	0,00047	0,00040	1,175%		0,04	0	0,00022	0,00000	0,550%	
Mn*	929	19	0,076	0,020	0,008%		1062	19	0,035	0,019	0,003%	
Ni	157	7	0,033	0,009	0,021%	0,0003	52	2	0,00038	0,00000	0,001%	0,0000
Pb	5310	285	3,482	1,118	0,066%	0,0009	1	0	0,002	0,000	0,136%	0,0019
Zn	28533	1201	0,595	0,175	0,002%	0	30	1	0,019	0,008	0,063%	0,0009

NATURLIG FÖREKOMST AV GRUNDÄMNINGEN

De grundämnen som finns i järnsand förekommer även i varierande halter i naturen. De naturliga halterna är oftast inte skadliga för miljön och kan därför vara bra att känna till vid miljöriskbedömningar. Nedan beskrivs några av de tungmetaller som förekommer i höga halter i järnsanden.

Koppar

Koppar förekommer i relativt låga halter i jord och berg men finns i ett flertal mineral, främst sulfider och oxider. Sulfidmineral som kopparglans (CuS) och kopparkis (CuFeS₂) utgör största delen av världens brytvärda tillgångar. Metallen används bland annat i elektrisk utrustning, legeringar och dricksvattenledningar (Jonsson, Stenberg, 2000).

I grundvatten varierar kopparhalten mellan 0,5 och 10 µg/l. Koppar har låg rörlighet i mark. I sötvatten förekommer metallen huvudsakligen som komplex.

Koppar finns normalt i både växt- och djurorganismer men dess fysiologiska funktion är i många fall ej helt känd. Otillräcklig koppartillförsel orsakar dock bristsjukdomar hos både växter och djur. Större kopparmängder är giftiga, och särskilt lägre organismer är känsliga för höga kopparhalter. För människan är koppar och dess föreningar måttligt giftiga (Jonsson, Stenberg, 2000).

Bly

Bly förekommer i mycket låga halter i jordskorpan. Högsta koncentrationerna finns i sulfidmalmer och graniter. Mineraler som innehåller bly är t ex blyglans (PbS), cerussit (PbCO₃) och anglesit (PbSO₄). Bly används bland annat som pigment i färger, mässing, glas och plast (Jonsson, Stenberg, 2000).

I vatten är bly huvudsakligen bundet till partiklar, humusämnen och kolloidkomplex av t ex järn- och manganföreningar. När vatten perkolerar genom marken bildas blyulfat, blykarbonat och blyfosfat, som är svårlösliga. Därför har bly en låg rörlighet i mark. Bly kan även adsorberas till mineral och humusytor. I vatten har bly litet samband med pH, men generellt kan man säga att blyhalten ökar när pH sjunker. Blyhalten i grundvatten ligger normalt under 10 µg/l (Jonsson, Stenberg, 2000).

Bly är skadligt för både människa och miljö. Hos däggdjur och fåglar kan en långvarig kontakt med bly orsaka nervrubbingar, störd hemoglobinbildning och försämrat immunförsvar. Bly i stora intag kan till och med vara en dödsorsak. Vissa föreningar tros vara cancerframkallande. Barn är känsligare för blyets skadeverkningar eftersom de har sämre skydd mot blypenetration till blodomlopp och hjärna (Jonsson, Stenberg, 2000).

Även växter påverkas negativt av långvarig exponering av blyföreningar. Växtcellernas fotosyntes störs av höga blyhalter och hämmar produktionen av livsnödvändiga ämnen som t ex klorofyll.

Zink

Jordskorpan medelhalt av Zink är tämligen låg. Den genomsnittliga vikthalten för zink hos bergarterna i den åtkomliga delen av jordskorpan är 65-70 mg/kg (Markinfo 2002). Zink förekommer framförallt som mineralen zinkblände (ZnS), zinkspat (ZnCO₃), zinkit (ZnO) och wurtzit (ZnS). Metallen används bland annat till korrosionsskydd, färgpigment, gummivulkanisering och galvanisering av stål (Jonsson, Stenberg, 2000).

Normala halter av zink i svenska grundvatten är 1-100 µg/l. I naturliga vatten är zinkhalten i de flesta fall låg, men begränsas sällan av zinkens löslighet utan av tillgängligheten. Med sjunkande pH ökar lösligheten och därmed halterna i vattnet.

I kroppens livsprocesser ingår zink i över 300 hormoner och enzymer (ingen annan metall är så viktig i livsfunktionerna som zink). Dessa styr sedan sårläkning, matsmältning, fortplantning, mm. Vid halter över 5 mg/l kan zink hämma metabolismen hos mikroorganismer (Jonsson, Stenberg, 2000).

Kadmium

Kadmium är en metall som förekommer naturligt i jordskorpan med en halt av 0,08-0,5 mg/kg. Metallen är kemiskt lik zink och de förekommer tillsammans. Utvinning av kadmium sker främst som en biprodukt vid zinkframställning. Dessutom finns kadmium som spårämne i fossila bränslen, järnmalmer, bruten fosfat, kalksten och salt. Kadmium används bland annat till ackumulatorer, bildskärmar och legering lödmetall (Jonsson, Stenberg, 2000).

I svenska grundvatten förekommer kadmium i halter mellan 0,1-1 µg/l. Metallen är i vatten huvudsakligen bunden till partiklar, humusämnen och kolloidkomplex. Förekomsten av kadmium i vatten har ett starkt samband med pH där sjunkande pH medför en ökande kadmiumhalt. I mark fastläggs kadmium genom adsorption på lermineral och järn- och manganoxider (Jonsson, Stenberg, 2000).

Kadmium är giftig och orsakar skador på njurar och lungor. Elementet ackumuleras i levande organismer, och primärkonsumenter drabbas därför hårdast av förhöjda kadmiumhalter i naturen.

Arsenik

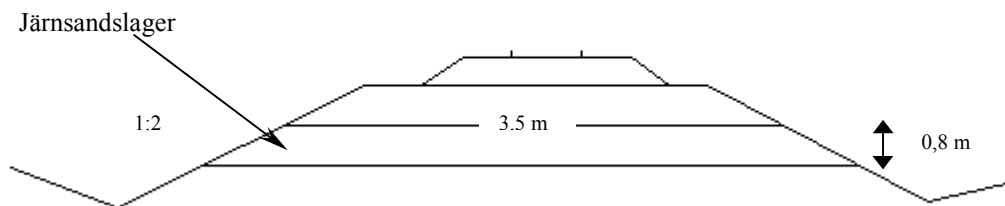
Arsenik är en halvmetall som finns i oorganisk form i mineral. Jord och berg har ofta halter på mellan 1-40 mg/kg. I Sverige finns arsenikkis (FeAsS) i vissa malmer. Vid brytningen av dessa malmer kan en lokal spridning av arsenik ske. Spridning via luften förekommer också runt vissa metallindustrier och smältverk (Markinfo 2002). Arsenik

finns bland annat i träimpregneringsmedel, läkemedel och glas (Jonsson, Stenberg, 2000).

I vatten förekommer arsenik i allmänhet som anjon. Komplexjoner av arsenik är ofta adsorberade på kolloidala partiklar, men elementet uppträder också löst i vattnet. Lösligheten är dock låg i närvaro av koppar, järn och mangan. I jord och sediment bildas svårösliga arsenatkomplex med t ex kalcium, järn och svavel. Koncentrationerna av arsenik i svenska grundvatten understiger normalt 50 µg/l. Arsenik och oorganiska föreningar av metallen är giftiga och cancerframkallande (Jonsson, Stenberg, 2000).

UTLAKAD MÄNGD PER METER BANVALL

Beräkningen avser användning av järnsand som frostisoleringslager över grundvattenytan i en banvall enligt figur A. I exemplet bildas lakvatten genom att nederbörd kan infiltrera i hela banvallen. Ovanliggande lager antas inte minska infiltrationen i någon betydande omfattning eftersom detta lager har hög permeabilitet.



Figur A. Schematisk bild av en banvall

För beräkningarna användes nederbördsstatistik från Umeå. Årmedelnederbörden i området är 650 mm varav 219 mm är snö. Årmedelavdunstningen är 350 mm (Raab & Vedin, 1995).

För beräkning av vattenomsättningen antas att all nederbörd som faller under perioden april (470 mm) t o m november infiltrerar i banvallen. Av nederbörden som faller mellan december t o m mars (180 mm) antas 25 % infiltrera i banvallen resten avgår genom ytavrinning under snösmältningen. Avdunstning från banvallen antas ske motsvarande årmedelavdunstningen för regionen, vilken uppskattas till ca 350 mm (Raab & Vedin, 1995).

Genom beräkning enligt banvallskonstruktionen i figur A är ytan för infiltration $7,1 \text{ m}^2/\text{m}$ banvall, detta ger en total infiltration på $3,7 \text{ m}^3/\text{m}$ banvall och år och en total avdunstning på $2,1 \text{ m}^3/\text{m}$ banvall och år. Nettoinfiltrationen som bildar lakvatten blir $1,6 \text{ m}^3/\text{m}$ banvall och år.

Volymen järnsand i banvallen är $6 \text{ m}^3/\text{m}$, vilket med en torrdensitet på $1,8 \text{ ton}/\text{m}^3$ (Fällman & Carling, 1998) ger $10,2 \text{ ton}/\text{m}$ banvall. Vattenomsättningen efter ett år motsvarar ungefär L/S 0,16. För referensmaterialet utfördes beräkningarna på samma sätt med en torrdensitet på $1,5 \text{ ton}/\text{m}^3$ (Kallax grus och betong) vilket ger $9 \text{ ton}/\text{m}$ banvall.

I lakförsöken med pH_{stat} -test lakades järnsanden vid $L/S=10$, vilket motsvarar utlakningen efter 30 år (bilaga 6). Beräkningen utfördes med värden från lakningen vid pH 6,7. Den beräknade utlakningen efter 30 redovisas i tabell A.

Tabell A. Totalt utlakad mängd i järnsand och referensmaterial per meter banvall efter 30 år vid pH 4, 6,7 och 9 baserat på pH_{stat}-test.

Material	Ämne	PH 4		PH 6,7		PH 9	
		mg/(kg TS)	g/m banvall	mg/(kg TS)	g/m banvall	mg/(kg TS)	g/m banvall
Järnsand	Cu	35,824	365,4	0,904	9,2	2,469	25,2
Järnsand	Pb	21,740	221,7	1,281	13,1	3,482	35,5
Järnsand	Zn	17,460	178,1	1,315	13,4	0,595	6,1
Referens	Cu	0,039	0,6	0,012	0,1	0,015	0,1
Referens	Pb	2,469	22,2	0,002	0,02	0,002	0,02
Referens	Zn	2,368	21,3	0,095	0,9	0,019	0,2

Referens

Raab, B., Vedin, H., (1995). *Klimat, sjöar och vattendrag*, Sveriges nationalatlas, Höganäs 1995, ISBN 91-87760-31-2.



Bild A: Översiktskarta, sträckan Vännäs – Tvärålund.