

Lakegenskaper för naturballast Bergmaterial och moräner

Annika Ekvall, Bo von Bahr, Tove Andersson, Kaj Lax, Urban Åkesson

Lakegenskaper för naturballast

Bergmaterial och moräner

Leaching properties of natural aggregates

Rock materials and tills

Annika Ekvall
Bo von Bahr
Tove Andersson
Kaj Lax
Urban Åkesson

projektnummer Q4-255 och Q4-296

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

Förord

Denna rapport utgör redovisning av två projekt inom Värmeforsk askprogram ”Miljöriktig användning av askor” som pågått mellan 2002-2005. Det ena projektet heter Lakegenskaper för naturballast (Q4-255) och det andra heter Lakegenskaper för naturballast – kompletterande moränprover (Q4-296). Det sistnämnda projektet är ett komplement till det förstnämnda.

Syftet med de två projekten är att ta fram ett dataunderlag för lakegenskaperna hos naturlig ballast och moräner. Denna kunskap är viktig att känna till för att kunna göra bättre bedömningar av andra materials lakningsegenskaper, exempelvis alternativ ballast.

Projektens utförande har bestått av att samla in väl utvalda prover av naturlig ballast (krossat berg) och moräner. 23 prover av krossat berg och 15 prover av morän har valts ut. Därefter har ett antal analyser utförts för att bestämma deras lakningsegenskaper. Resultaten av analyserna sammanfattas i denna rapport samt återges i mer detaljerad form i rapportens bilagor.

Finansiärerna har förutom Värmeforsks askprogram även varit RVF (Renhållningsverksföreningen) och Jernkontoret. Ett stort tack till er.

Referensgruppen har i dessa två projekt bestått av:

- Mattias Göransson, SGU
- Bo Lind, SGI
- Lotta Lind, Sandvik
- Hanna Munde, Vattenfall Värme
- Eva-Lotta Stolt, Vargön Alloys AB (från början Helge Martander)
- Stig-Olov Taberman, Tekniska Verken, Linköping (från början Stellan Jacobsson)

Stort tack till er alla åtta för värdefulla synpunkter.

Borås januari 2006

Annika Ekvall

Abstract

The aim of this project is to produce leaching data for natural aggregates needed for assessment of the environmental impact of alternative materials aimed for use in for example road constructions. Both rock materials and tills are tested. The results shows that very little is leached from natural aggregate. A comparison with landfill criteria for inert waste and the Swedish regulations for drinking water shows that a few samples exceeds the criteria for fluoride ions. All other values are lower then these criteria, and a vast majority of the measurements are below the quantification limit.

Key words: Aggregate, alternative materials, leaching, batch test, percolation test

Sammanfattning

Varje gång ett alternativt ballastmaterial, såsom en slagg eller en aska, skall användas kommer frågan om utlakning av miljöstörande ämnen upp. Hittills har det funnits mycket få data över utlakningsegenskaperna för de material som traditionellt har använts t ex för vägbyggnadsändamål, vilket innebär att man inte vetat vad man skulle jämföra med.

Ett urval av bergmaterial och moräner representativa för Sverige, med en viss övervikt för södra landet pga att de flesta vägar byggs där, valdes ut. Bergmaterialen har valts och anskaffats av SP, medan SGU har valt ut och provtagit moränerna.

I detta projekt har lakegenskaperna hos denna vanliga svenska naturballast undersökts med de metoder som anges i NFS2004:10. Att just dessa metoder valts beror på att alla material som riskerar att hamna på deponi undersöks med dessa metoder. Det betyder att dessa kommer att användas för de alternativa material som är tänkbara som t ex vägbyggnadsmaterial och att andra lakmetoder troligen kommer att bli mindre vanliga i framtiden.

Målgruppen är ägare av traditionella och alternativa ballastmaterial, entreprenörer och konsulter som använder dessa material, myndigheter som bedömer miljöpåverkan av t ex vägkonstruktioner samt andra forskare.

Resultaten visar att de flesta naturliga berg- och moränmaterial lakar mycket lite metaller. Majoriteten av de uppmätta värdena ligger under bestämbarhetsgränsen. Inte heller klorider och sulfater lakas ut i någon större utsträckning. Däremot visar en jämförelse med deponiförordningen att flera bergmaterial ligger över gränsen för att få läggas på deponi för inert avfall med avseende på fluor. Samma resultat får man vid en jämförelse med Livsmedelsverkets dricksvattennormer.

Detta, inte helt överraskande, resultat visar att utlakningen från en konstruktion med svensk traditionell ballast i allmänhet är mycket låg. Detta betyder dock inte att miljöproblem aldrig kan uppkomma, eftersom variationen i berggrunden innebär en liten, men icke försumbar risk för utlakning av höga halter miljöstörande ämnen. I händelse av att dricksvatten skall tas ut nära konstruktionen finns det också anledning att mäta fluorider.

Nyckelord: ballast, naturlig ballast, alternativa material, moräner, lakning, skaktest, perkolationstest.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	RAPPORTENS DISPOSITION	2
1.3	SYFTE, MÅL OCH MÅLGRUPP	2
2	TILLGÄNGLIGA REFERENSRAMAR FÖR ATT UTVÄRDERA LAKNINGSDATA	4
2.1	REGLER ANGÅENDE DEPONERING AV AVFALL	4
2.2	NATURVÅRDSVERKETS RIKTVÄRDEN FÖR FÖRORENAD MARK	6
2.3	MODELLER FÖR ATT BERÄKNA MILJÖPÅVERKAN (PLATSSPECIFIKA ELLER GENERELLA MODELLER)	7
2.4	BIOLOGISKA TESTER	10
2.5	JÄMFÖRELSE AV OLIKA MATERIALALTERNATIV	11
3	TEST- OCH ANALYSMETODER	12
3.1	METODER FÖR BESTÄMNING AV TOTALHALTEN SPÅRELEMENT	12
3.2	METODER FÖR LAKTESTER	14
3.3	TESTER FÖR KARAKTERISERING AV BERG OCH MORÄN I DETTA PROJEKT	17
3.4	SAMMANFATTNING AV UTFÖRDA TESTER	20
3.5	ANALYSMETODER	21
4	PROVURVAL	23
4.1	BERGMATERIAL	23
4.2	MORÄNER	25
5	DATABEHANDLING OCH RESULTATREDOVISNING	27
5.1	REDOVISNING AV RESULTAT	27
5.2	DETEKTIONS- OCH BESTÄMBARHETSGRÄNSER: NÅGRA DEFINITIONER	27
5.3	KONSEKVENSERNA AV VALET AV BESTÄMBARHETSGRÄNS	29
6	BERGMATERIAL	31
6.1	TOTALHALTER AV SPÅRELEMENT – EN 13656	31
6.2	SKAKTEST SS-EN 12457-3	34
6.3	PERKOLATIONSTEST	37
6.4	SEMIKVANTITATIV ANALYS, SKAKTEST OCH PERKOLATIONSTEST	40
6.5	BERGMATERIAL – REDOVISNING PER BERGARTSTYP	41
7	MORÄNER	46
7.1	TOTALHALT	46
7.2	SKAKTEST	47
7.3	PERKOLATIONSTEST	50
7.4	SEMIKVANTITATIV ANALYS, SKAKTEST OCH PERKOLATIONSTEST	52
7.5	DOC	53
8	RESULTATANALYS	55
8.1	TIDIGARE DATA FÖR BERGMATERIAL	55
8.2	JÄMFÖRELSE AV RESULTATEN MOT KRAVEN FÖR INERT AVFALL	56
8.3	DRICKSVATTENNORMER	57
8.4	JÄMFÖRELSE MELLAN SKAK- RESPEKTIVE PERKOLATIONSTEST	58
9	SLUTSATSER	61
9.1	ALLMÄNNA SLUTSATSER	61
9.2	SLUTSATSER I SIFFROR	61
9.3	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	62

9.4 VIDARE ARBETE	63
10 LITTERATURREFERENSER	64

Bilagor 1-10 Analysresultat i sammandrag

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I riksdagens miljömål God bebyggd miljö [1] finns följande två, för detta projekt väsentliga paragrafer:

4. Uttag av naturgrus (2010)

2010 ska uttaget av naturgrus i landet vara högst 12 miljoner ton per år och andelen återanvänt material utgöra minst 15 procent av ballastanvändningen.

5. Minskat avfall (2005)

Mängden deponerat avfall exklusive gruvavfall ska minska med minst 50 procent till år 2005 räknat från 1994 års nivå, samtidigt som den totala mängden genererat avfall inte ökar.

Miljöpropositionen från 2005 har något annorlunda formuleringar, men andemeningen är densamma. Detta innebär att användningen av olika typer av återvunna ballastmaterial kan förväntas öka. För att kunna använda ett alternativt ballastmaterial krävs att två förutsättningar är uppfyllda:

1. Materialet måste fungera för sitt ändamål
2. Miljöeffekterna får inte bli oacceptabla.

För att uppnå den första punkten krävs att det finns provningsmetoder som passar för de alternativa materialen och som gör att de kan jämföras på lika villkor. Arbete med detta pågår bl a på SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, VTI och Vägverket, men flera andra bidrar också med ny kunskap [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

För att bedöma miljöeffekterna finns flera olika angreppssätt, t ex:

1. Jämförelse med befintliga riktlinjer (referensramar av olika typ med gränsvärden och liknande)
2. Modeller för att beräkna miljöpåverkan (plats specifika eller generella modeller)
3. Jämförelse mellan olika alternativs miljöpåverkan
4. Absolut kvantifiering av miljöpåverkan genom biologiska tester

För närvarande (2005) finns ingen referensram med en nationell uppsättning gräns- eller riktvärden för återvunnen ballast med avseende på metallurlakning och dylikt. Även om det finns ett antal förslag till modeller för hur miljöpåverkan från alternativa ballastmaterial skall beräknas, så finns det ingen allmänt accepterad och förankrad modell som klarar kraven i detta sammanhang. Det har också varit svårt att jämföra olika alternativ eftersom en ganska ringa mängd data har funnits tillgänglig speciellt med avseende på utlakningsegenskaper hos de naturliga materialen. Biologiska tester är dyra och komplicerade, varför mängden existerande data är liten.

Oavsett vilket av de ovan nämnda alternativen som skall tillämpas för en bedömning, så är det alltid intressant att veta vilka egenskaper som naturliga material har. Detta för att kunna jämföra med det alternativa material som är av intresse, men också för att

kunna validera uppbyggda modeller för miljöpåverkan, som eventuellt kan ligga till grund för en kommande uppsättning gräns- eller riktvärden.

1.2 Rapportens disposition

Denna rapport presenterar resultatet av två projekt (Q4-255 och Q4-296) vars syfte är att öka kunskapen om utlakningsegenskaperna hos naturliga material, främst för att öka möjligheterna till att kunna göra bättre jämförelser enligt den tredje punkten ovan. Projektet har analyserat lakegenskaperna hos 23 bergmaterial och 15 moräner enligt standardiserade lakmetoder.

I brist på befintliga riktlinjer för återvunnen ballast så används ofta andra uppsättningar siffror för att göra bedömningar, trots att siffrorna inte är avsedda för detta. Kapitel 2 är en genomgång av de oftast förekommande uppsättningar data som brukar användas för jämförelse. De i projektet använda analysmetoderna beskrivs i kapitel 3 som också ger en beskrivning av utvecklingen inom området lakningsmetoder. Kapitel 4 redovisar provurvalet för berg och moräner som analyserats i projekten. Kapitel 5 innehåller en bakgrund till analysresultaten för att efterföljande kapitel skall bli begripligare, inklusive ett par viktiga definitioner. I kapitel 6 redovisas analysresultaten för bergmaterialen. Resultaten för moränerna återfinns i kapitel 7. I kapitel 8 görs en analys av resultaten, kapitel 9 innehåller slutsatser, inklusive rekommendationer, användning och förslag till fortsatt forskning. Sist kommer referenserna i kap 10.

1.3 Syfte, mål och målgrupp

Målet för projektet är att få fram data för hur mycket av olika ämnen (64 metaller, dvs nästan alla stabila metalliska grundämnen, och fem anjoner) som lakas ut från krossat berg och moräner. Det finns idag väldigt lite av tidigare data om urlakning av naturmaterial, och överhuvudtaget inga data på lakning av dessa material med de i detta projekt använda standardiserade metoderna.

Resultaten kommer att medföra att man i större utsträckning kan svara på frågan om vad som kan betraktas som ”naturligt”, dvs hur stor utlakningen från obunden naturlig ballast och från moräner är. Dessa resultat utgör då viktiga indata när man gör miljökonsekvensbeskrivningar av t ex vägar och samt när man bedömer ett alternativt materials miljöpåverkan

Målgrupperna är flera:

- Forskare som håller på med alternativa material
- Myndigheter som behöver ett bättre beslutsunderlag då de skall ta ställning till användningen av alternativa konstruktionsmaterial.
- Väg- och anläggningsbyggare, konsulter och andra som väljer material och konstruktionstyper till väg- och anläggningsbyggen.
- Materialägare som söker nya marknader för sitt material

Dessa grupper har sinsemellan olika intressen och förkunskaper. Rapporten innehåller därför en del information förutom de lakdata som utgör projektets kärna. Det är

projektgruppens förhoppning att rapporten på så sätt skall bli begriplig och användbar för alla som kan ha intresse av dess resultat.

2 Tillgängliga referensramar för att utvärdera lagningsdata

Detta kapitel redovisar de referensramar som ibland förekommer för att värdera de resultat som framkommit i analyser av alternativ ballast. Fyra olika referensramar tas upp och kommenteras. Den första är EUs deponidirektiv [9] och speciellt beslut om kriterier och förfaranden vid mottagning av avfall vid avfallsdeponier [10] som implementerats i svensk lagstiftning genom Naturvårdsverkets föreskrift NFS 2004:10 om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall [12]. Den andra referensramen som ibland används är Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för förorenad mark [16]. Dessutom beskrivs och kommenteras olika modeller för uträkning av riktvärden samt hur biologiska tester kan användas .

2.1 Regler angående deponering av avfall

EUs deponidirektiv, Rådets direktiv 1999/31/EG av den 26 april 1999, om deponering av avfall [9], styr hur deponier skall konstrueras och vilka avfall som får läggas på vilken deponi. Detta direktiv är implementerat i svensk lagstiftning genom Förordningen (2001:512) om deponering av avfall [11]. Från och med år 2008 skall samtliga i drift varande deponier uppfylla kraven i detta regelverk, annars måste de stängas, eller åtminstone ha en plan för stängning inom en nära framtid. Deponierna indelas översiktligt i tre klasser, deponier för inert avfall, för icke-farligt avfall och för farligt avfall. EU har dessutom tagit ett beslut med anledning av direktivet som nämns ovan, Rådets beslut av den 19 december 2002 om kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid avfallsdeponier, i enlighet med artikel 16i och bilaga II, till direktiv 1999/31/EG [10].

Detta beslut har implementerats i svensk lagstiftning genom Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering av avfall och kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall (NFS 2004:10) [12]. Dessa föreskrifter trädde i kraft den 1 januari 2005 avseende 1-20 §§ och 36-45 §§, och i övrigt den 16 juli 2004.

2.1.1 Tre olika deponiklasser

I Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och mottagande av avfall vid anläggningar för deponering av avfall NFS 2004:10 [12] finns kriterierna för vilka mängder som får lakas ut från avfall för att avfallet skall kunna hänföras till de olika deponiklasserna. Det finns kriterier för deponier för inert avfall, farligt avfall samt för samdeponering av icke-farligt avfall och farligt avfall på en deponi för icke-farligt avfall. Här krävs analys av samma metaller som för förorenad mark [16] förutom vanadin, plus barium, molybden, antimon och selen. Dessutom skall klorid, fluorid, sulfat, fenolindex och DOC (dissolved organic carbon, lösta organiska ämnen) mätas i lakvattnet. Förutom lakvärden av nämnda ämnen skall några totalhalter redovisas - den totala halten av mineralolja, BTEX (enkla aromatiska kolväten, samma som i NV rapport 4638 [16]), PAH, PCB och TOC.

Det finns dock vissa material som anses rena per definition och som inte behöver genomgå det omfattande analysprogrammet som definieras i de ovan nämnda publikationerna, exempelvis sten, glas, tegel och några andra material från främst byggsektorn som betraktas som inerta.

2.1.2 Deponikriteriernas betydelse för projektet

Det finns ett antal analyser som måste utföras om man vill lägga ett material på en deponi. Analysmetoderna och analysparametrarna skiljer sig endast lite emellan de olika klasserna. Om man vill analysera något som riskerar att hamna på en deponi för inert material är det då klokt att så långt som möjligt analysera samma parametrar med samma metoder. Detta för att undvika att analyser måste göras om i onödan för det fall att man kommer fram till att materialet måste deponeras. De ingående materialen i föreliggande projekt betraktas alla som inerta (enligt föregående stycke) men de använda analysmetoderna har ändå valts eftersom dessa är standardiserade och spridda inom hela EU.

2.1.3 Förutsättningar för en relevant jämförelse

Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och mottagande av avfall vid anläggningar för deponering av avfall NFS 2004:10 [12], innehåller tabeller med bestämda värden på hur mycket som får lakas ut för material som skall läggas på de olika typerna av deponier. Det är frestande att använda dessa värden även utanför deponimiljön, t ex vid bedömning av vägbyggnadsmaterial, trots att värdena inte är avsedda för detta och att konstruktionerna på en deponi och en väg skiljer sig åt. *Dessa värden kan alltså inte användas för att ge klartecken eller stoppa ett material som skall läggas någon annanstans än på en deponi*, utan kan bara ge indikationer på lämpligheten om användning utanför deponier. Det är därför väsentligt att använda dessa värden med urskiljning och hela tiden redovisa under vilka förhållanden som värdena är fullt giltiga. Dessutom bör redovisas på vilket sätt det aktuella fallet skiljer sig från de förutsättningar som anges i samband med rikt/gränsvärdena och på vilket sätt detta påverkar tolkningen.

Deponidirektivet [9] samt de tillhörande dokumenten [10][11][12] innehåller både förutsättningar och krav på deponiernas utformning samt krav på det avfall som skall ligga på de olika typerna av deponier. En av dessa förutsättningar för deponin är att materialet skall kunna ligga helt oskyddat, eftersom en deponi för inert material inte behöver täckas under driftfasen, utan endast skall sluttäckas vid avslutad drift. En annan förutsättning är att dricksvatten skall kunna tas ut 20 meter nedströms från en inert deponi.

Materialet som används som underbyggnad i en väg är täckt och alltså inte utsatt för väder och vind. I korthet kan alltså fastslås att i de fall att materialen klarar kriterierna för inert avfall så kan man oftast anse att det är relativt riskfritt att lägga samma material som t ex förstärkningslager i en asfalterad väg. Däremot är materialet inte automatiskt olämpligt ifall dessa värden överskrids, eftersom förutsättningarna i t ex en väg gör att högre halter kan tillåtas. I särskilt känsliga miljöer kan man dock tänka sig att göra en annan bedömning.

En jämförelse mellan kriterierna för material som skall läggas på inert deponi och analysresultaten i detta projekt görs i kapitel 8. Observera dock att denna jämförelse inte görs i syfte att ”godkänna” eller ”underkänna” materialen i projektet, utan endast för att jämföra storleksordningen på utlakningen med en uppsättning kriterier vars innehåll och användning är väl kända.

2.2 Naturvårdsverkets riktvärden för förorenad mark

Naturvårdsverket gav 1996 ut två rapporter som behandlar förorenad mark. Den ena, som utgivits på engelska, heter ”Development of generic guideline values – model and data for generic guideline values for contaminated soils in Sweden” [17]. I denna rapport listas riktvärden för förorenad mark för 36 ämnen eller ämnesgrupper. Riktvärdena finns för tre olika nivåer: känslig markanvändning (KM), mindre känslig markanvändning med grundvattenuttag (MKMgv) och mindre känslig markanvändning utan grundvattenuttag (MKM). Dessutom beskrivs den modell som använts för att beräkna dessa värden. En rapport med liknande innehåll finns på svenska, ”Generella riktvärden för förorenad mark – beräkningsprinciper och vägledning för tillämpning” [16].

Naturvårdsverkets rapporter [16], [17] innehåller alltså både en uppsättning värden och en principiell modell för framräknande av dessa värden. I brist på andra rikt- eller gränsvärden används ofta Naturvårdsverkets riktvärden utanför sitt egentliga användningsområde.

Att jämföra med kriterier som är avsedda för ett helt annat ändamål, såsom deponier eller förorenad mark, är, som påpekades i föregående avsnitt, förledande enkelt. Tabeller med riktvärden eller gränsvärden har en tendens att leva sitt eget liv och det finns många exempel där dessa värden ryckts ur sitt sammanhang och använts till ett ändamål som har mycket lite gemensamt med det egentliga syftet med värdena.

Naturvårdsverket har dock förutsett att riktvärden för förorenad mark skulle kunna användas för andra syften. I deras rapport [16] står därför bland annat följande:

- De (riktvärdena) markerar en nivå som bör underskridas för att undvika risk för oönskade effekter. Detta behöver dock inte innebära att en halt över riktvärdet medför dessa oönskade effekter
- De är inte (Naturvårdsverkets understrykning) en nivå upp till vilken det är acceptabelt att förorena
- De gäller för jordprover som analyserats och i övrigt hanterats med metoder angivna för detta ändamål av Naturvårdsverket eller metoder av motsvarande kvalitet
- De beräknas med ett antagande om att all analyserbar förorening är tillgänglig för spridning och upptag.

2.2.1 Begränsningar som referensram för alternativ ballast

Av dessa punkter är framför allt den sista av vikt. Tillgänglighetstester för metaller i tidigare projekt [18], [19], visar att allt ifrån enstaka procent till, i några få fall, nästan allt av den totala halten är tillgänglig för utlakning under mycket lång tid. Dessa tester visar tillgängligheten på mycket långt sikt, en sk geologisk tidsrymd. Perkolations- respektive skaktester ger en bättre bild av vad som kan lakas ut på några års sikt och dessa visar nästan alltid ett betydligt lägre värde på utlakningen än för tillgänglighetstesterna. Antagandet att all analyserbar förorening är tillgänglig för spridning och upptag är därför inte tillämplig på ballast, utom möjligen för lättvittrade bergarter som är mycket finfördelade, vilket normalt inte är fallet i t ex bär- och förstärkningslager. Se dock kap 6.5.1. där innehållet av arsenik i kalk diskuteras.

En annan begränsning i användbarheten är att riktvärdena för förorenad mark förutsätter att materialet ligger ytligt och helt exponerat för spridning via vind med påföljande inandning samt för regnvatten med påföljande utlakning till grund- och ytvatten. I en vägkonstruktion eller på en deponi är materialet täckt av ett skikt som gör att materialet ligger still och inte blåser bort, t ex ner i närmaste vattendrag. Tätskikten bidrar också till att det mesta av nederbörden rinner av och inte passerar genom materialet. Dessutom är naturligtvis odling av grönsaker och liknande inte aktuell inuti t ex en vägkropp.

Sammantaget visar följande punkter olämpligheten att värdera lakdata från alternativ ballast med hjälp av Naturvårdsverkets riktlinjer för förorenad mark:

- Riktvärdena för förorenad mark tar hänsyn till exponering av t ex barn som äter jord och intag av grönsaker odlade i jorden, något som inte är aktuellt för material inuti en vägkropp.
- Riktvärdena för förorenad mark förutsätter att 100 % av totalhalten är tillgänglig för spridning och upptag, något som grovt överskattar tillgängligheten för de flesta ämnen.
- Riktvärdena för förorenad mark förutsätter att materialet ligger ytligt och utan något täckskikt, något som inte är aktuellt för väg- och anläggningsbyggnadsmaterial i detta projekt, som främst behandlar material avsedda för att läggas inuti en vägkropp.

Det kan även konstateras att naturliga halter av metaller och andra ämnen ibland överskrider riktvärden. I Sverige torde arsenik vara vanligast (uppskattas att ca 8 000 km² moränmark överskrider KM-värdet), men även kadmium och nickel förekommer [14].

2.3 Modeller för att beräkna miljöpåverkan (platsspecifika eller generella modeller)

Tre olika modeller som byggts för att värdera miljöpåverkan tas kortfattat upp i detta avsnitt. De tre synade modellerna är Naturvårdsverkets modell, en modell från projekt

AIS-32 och slutligen en modell om askor i anläggningsbyggande inom askprogrammet. Därefter kommer ett avsnitt som tar upp begränsningar vid användning av modeller.

2.3.1 Naturvårdsverkets modell

Riktvärdena i Naturvårdsverkets rapport "Generella riktvärden för förorenad mark" [16] är beräknade utifrån följande principer: Distribution av en förorening emellan fast fas och jord beräknas utifrån lakdata för fördelning mellan fast fas och vattenfas, data för fördelning mellan vattenfas och organisk fas för organiska ämnen samt fördelning mellan fast fas och atmosfären. Transport av ångor till inomhusluft, växtupptag samt kontaminering av yt- respektive grundvatten inkluderas i modellen. Dessa data kombineras med ett antal exponeringsvägar för människa såsom intag av förorenat vatten, inhalation av damm eller hudkontakt. Motsvarande bedömning av de ekotoxikologiska effekterna har tidigare genomförts i Nederländerna. Naturvårdsverket har valt att inte upprepa de beräkningarna utan att begagna sig av de nederländska värdena, men för säkerhets skull har dessa värden halverats. Riktvärdet är sedan det värde som är lägst utav de värden som kommer fram i den humantoxikologiska bedömningen och den ekotoxikologiska bedömningen. Viss justering har gjorts för t ex ämnen som luktar och smakar starkt eller som finns i höga halter naturligt i miljön.

Denna modell kan användas på två sätt. Dels har den, som beskrivs ovan (avsnitt 2.2) resulterat i ett antal riktvärden. Dels kan den användas för att beräkna mer specifika värden, om man bara lyfter in de värden som är aktuella för aktuella material, konstruktioner och recipienter.

2.3.2 Riktvärdesmodell i AIS-32

I projektet AIS-32 "System för ökad användning av alternativa material i mark och anläggningsbyggande" [19] utarbetades en modell för bedömning av material som används i vägkonstruktioner samt på deponier. Modellen gör en bedömning av materialets miljöegenskaper genom att man "matar in" totalhalter och utlakningsegenskaper och får ut en bedömning om materialet är acceptabelt i tre olika typmiljöer, scenarier. Randvillkoren som avgör händelseförloppet mellan materialet och recipienten bygger i stort sett på samma antaganden som Naturvårdsverket gör i sin rapport Generella riktlinjer för förorenad mark [16], men i vissa fall har mer konservativa antaganden gjorts. De objekt som skall skyddas är främst mänsklig hälsa och miljöskydd av ytvatten på kort och lång sikt samt dricksvatten. De krav som skall uppfyllas angående mänsklig hälsa är samma som kraven i Naturvårdsverkets rapport [16]. Specifika krav för miljöskydd av ytvatten saknas i Sverige varför kanadensiska riktlinjer har använts. Som dricksvattenkriterier har Svenska Livsmedelsverkets gränsvärden använts.

De tre scenarierna som nämndes ovan är:

- Scenario 1: nyttjande av materialen i en vägkonstruktion som anläggs inom ett ur miljösynpunkt skyddsvärd område. I området finns en enskild mindre grundvattentäkt med uttag för dricksvatten samt en recipient i vilken skyddsvärda akvatiska organismer återfinns.

- Scenario 2: nyttjande av materialen i en vägkonstruktion som anläggs inom ett ur miljösynpunkt ej skyddsvärt område. I området finns enbart större ytvattendrag på långt avstånd med ett begränsat skyddsvärde.
- Scenario 3: nyttjande av materialen som barriärmaterial på deponi inom ett, ur miljösynpunkt, icke skyddsvärt område. I området förutsätts att det enbart finns ett större ytvattendrag med begränsat skyddsvärde.

Tre exponeringsvägar har inkluderats för beräkning av hälsoskydd på platsen (hud, damm, oralt). Randvillkoren bygger här på Naturvårdsverkets riktlinjer för förorenad mark [16].

2.3.3 Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande

Ett viktigt projekt i sammanhanget är SGIs projekt ”Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande” som finansierats av Värmeforsks askprogram. Det redovisas i rapporterna [20] [21]. I denna beskrivs vilka förutsättningar som råder vad gäller regelverk för användning av restmaterial. Olika tillämpningar (scenarier) för användning har tagits fram som baseras enbart på riskaspekter och inte nyttoaspekter. På basis av dessa scenarier har en riskbedömningsmodell tagits fram.

Målet är att, genom matematisk/geokemisk modellering, utarbeta ett förslag till miljöriktlinjer avseende miljöpåverkan vid nyttiggörande av askor för anläggningsändamål. Utgångspunkten i arbetet är att dessa skall harmonisera med bedömningsgrunderna för förorenad mark, den nya avfallsförordningen och EUs acceptanskriterier för de olika deponiklasserna. Miljöeffekterna av ”andra generationens användning” skall belysas, dvs de miljöeffekter som kan uppkomma när t ex en väg rivs upp och materialet kommer att användas/deponeras på ny plats. Däremot ingår inte arbetsmiljöaspekter. Den färdiga modellen appliceras sedan på ett antal askor där data om utlakning föreligger, t ex askor i databasen AllAska.

Syftet är att höja kvaliteten på beslutsunderlaget vid miljökonsekvensbeskrivningar av planerat anläggningsarbete där askor utnyttjas. Målgrupp för projektet är restproduktanvändare, restproduktproducenter, miljömyndigheter och konsulter.

2.3.4 Begränsningar med modeller

Det finns många likheter mellan de tre ovan nämnda modellerna. Skillnaderna mellan AIS-32 och SGIs projekt är bl a att SGI använt en mer avancerad modell för vattentransport i väggkroppen och att ingen hänsyn tas till exponering via arbetsmiljön i SGIs projekt.

Modeller för beräkning av, oftast lokal, miljöpåverkan kan bli mycket bra om man matar in plats- och materialspecifika data och tar hänsyn till alla möjliga exponeringsvägar. Risken är dock uppenbar för att modellerna blir alltför komplicerade och så specifika att de bara har mycket begränsad giltighet. Man kan också alltid

invända att modellen inte är komplett: det finns alltid en kemisk förening till att mäta eller ytterligare en organism att ta hänsyn till.

2.4 Biologiska tester

Det finns en rad biologiska tester, som testar akut toxicitet, kronisk toxicitet, genotoxicitet, reproduktionsstörningar, beteendepåverkan mm. Det vanligaste är att man testar akut toxicitet med en enkel organism eller ett batteri av organismer. I dessa batterier kan också ingå tester på grobarhet, rotförlängning mm.

Fördelarna med toxicitetstester, särskilt de med ett batteri av organismer, är flera:

- Man fångar upp effekter av substanser som man inte tänkt på att mäta
- Man fångar upp samverkans effekter där olika ämnen förstärker eller försvagar varandras verkan
- Man får en direkt avläsbar effekt och diskussionerna om vilka nivåer som är acceptabla blir enklare
- Man kan, både genom att använda rätt kombination av organismer och genom att separera provet i olika processer, ringa in vilken typ av ämne som ger det väsentligaste bidraget till effekten.

2.4.1 Begränsningar hos biologiska tester

Dessa tester tar inte hänsyn till att vissa ämnen kanske inte alls lakas ut från konstruktionen utan fastläggs på vägen ut. Störningar i reproduktion, beteende mm är dessutom i allmänhet tidskrävande och kostsamma, dvs de enklare testerna ger inte hela bilden. Man kan också få falska utslag av toxicitet. Ett prov som innehåller något som påverkar organismerna negativt kan alltså ge utslag, utan att provet egentligen är toxiskt. Exempel på detta är prov med höga eller låga pH-värden eller konduktiviteter. Prov som innehåller mycket små partiklar kan också ge liknande resultat. Exempelvis kan sedimentlevande organismer påverkas fysiskt av finkorniga material, trots att materialen i sig inte är toxiska. Dock är detta en effekt som kan vara högst påtaglig för livet i ett vägdike, se t ex utsläppet av bentonit på Hallandsås i juli 2003 som ledde till omfattande fiskdöd. Mer komplexa test, t ex med hela ekosystem, anses kunna spegla verkligheten bättre, men samtidigt ökar komplexiteten. Organismerna kan påverkas negativt av en rad ovidkommande faktorer och testet blir svårt att tolka och reproducera.

2.4.2 Toxicitetstester kan vara ett komplement

När det gäller miljöeffekter av olika ballastmaterial finns några tänkbara användningsområden för dessa tester.

- Man kan göra toxicitetstester både på lakvatten från kolonn- resp skaktest för att jämföra hur ett visst resultat i form av utlakade ämnen påverkar olika organismer.
- Man kan också testa lakvatten från en verklig konstruktion för att se hur de ämnen som de facto kommer ut från konstruktionen påverkar toxiciteten.
- Identifiering av kritiska substanser kan göras både i lakvatten från fältförsök och från labförsök.

2.5 Jämförelse av olika materialalternativ

Ett av flera viktiga indata för att bedöma miljöpåverkan från ett alternativt ballastmaterial är att jämföra dess utlakningsegenskaper med dito från ett naturligt material.

Denna möjlighet har hittills varit begränsad eftersom det finns mycket knapp information om naturliga materials utlakningsegenskaper. En förutsättning är också att samma metod har använts då två material har analyserats, om en jämförelse av resultaten skall vara meningsfull. Föreliggande projekt kommer att medföra att kunskaperna om hur mycket naturliga material lakar ut kommer att öka, eftersom projektet tar fram en stor mängd lakningsdata för naturliga ballastmaterial och moräner med standardiserade metoder.

Fördelen med denna metod är enkelheten. Ett material som är renare än det traditionella materialet har goda chanser att betraktas som okontroversiellt. Dessutom är data från naturmaterialen intressanta även för material som uppvisar en högre utlakning av miljöstörande ämnen, bl a för att göra en mer komplett MKB.

3 Test- och analysmetoder

Kapitlet ger en översikt över de test- och analysmetoder som använts i de två projekten.

3.1 Metoder för bestämning av totalhalten spårelement

Totalhaltstester ger information om den totala halten spårelement (metaller) i ett prov. Med hjälp av koncentrerade syror och/eller smältor löser man upp provet mer eller mindre fullständigt för att sedan kunna bestämma den totala halten av olika metaller i provet.

Det finns flera olika metoder för totalhaltstester och de ger något olika resultat då typen av syra eller kombinationen av syror som tillsätts avgör hur mycket av provet som kan lösas upp samt om önskvärda spårelement kan bestämmas. Med andra ord löses inte alltid alla metaller ut ur provet alternativt kan bestämmas, vilket innebär att de extraherbara metallerna bör beskrivas som ”totala”, oavsett vilken metod som används.

Ofta är de metaller som är inneslutna i silikatmineral mycket hårt bundna och kan inte göras tillgängliga utan att hela mineralet inklusive silikaterna löses upp. Man bör då beakta att hela den mängd av metaller som bestäms på detta sätt inte kan anses tillgängliga för lakning, då dessa upslutningsmetoder är för kraftiga för att representera naturliga processer.

För att få fram en ”totalhalt” som är mer relevant för de flesta tillämpningar d v s att den mer liknar den ”totala” mängden spårelement som är utlakningsbara, använder man något mildare metoder. I detta fall löses inte hela mineralet upp och framförallt inte silikaterna. Men detta anses också vara en totalhaltsmetod trots att man inte löser ut alla bundna metaller. En positiv bieffekt är att dessa något mildare lösningar inte innehåller HF vilket gör dem något trevligare att hantera på laboratoriet. Nedan redovisas de viktigaste typerna av totalhaltstester.

Faktum är att det finns analysmetoder för bestämning av totalhalt som inte kräver uppslutning av provet i syra, t ex XRF och NAA (dvs röntgenfluorescens och neutronaktivering). Nackdelen med XRF (fast XRF, bärbar XRF är ännu sämre) är att nedre bestämningsgräns för flera element vanligen är hög i jämförelse med naturligt förekommande haltnivåer, t ex arsenik, volfram, molybden, antimon etc. NAA är en ganska dyr metod och används mer sällan, men XRF är ganska vanligt.

3.1.1 Vanliga metoder för oorganiska prover

När man skall analysera huvudelement i aska (As, Si, Fe, Mn, Ti, Mg, Co, Na, Ba, K, P), inklusive kisel (Si), måste hela provet lösas upp fullständigt, även silikaterna. Först smälter man provet med litiummetaborat i ca 1000°C. Smältan löses sedan i koncentrerad salpetersyra (HNO₃), varefter provet kan analyseras. SP har utarbetat en egen metod för detta (SP 0510), som bygger på en ASTM standard, ASTM D 3682.

Den metod som användes i projektet heter EN 13656, vilket också är den som rekommenderas i EU-rådets beslut om mottagningskriterier, 2003/33/EG [10]. Med

denna metod löses provet upp fullständigt och den ”totala” mängden spårelement kan bestämmas, dock inte kisel. Man gör en så kallad uppslutning av provet vilket innebär att koncentrerad saltsyra (HCl), salpetersyra och fluorvätesyra (HF) tillsätts i bestämda proportioner till provet. Sedan uppsluts denna blandning med hjälp av mikrovågor och under högt tryck, vid en temperatur av 150°C i ca 30 minuter. Den resulterande lösningen får svalna till rumstemperatur och sedan neutraliseras den med borsyra (4% m/m). Efter detta kan t ex följande metaller bestämmas; Al, Sb, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Cr, Co, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Ag, S, Na, Sr, Sn, Te, Ti, Tl, V och Zn.

3.1.2 Vanliga metoder, främst för organiska prover

En vanlig metod för uppslutning av organiska prover, t ex avloppsslam, är SS 02 81 50. Där värms provet i värmeskåp till 120°C tillsammans med HNO₃.

Ytterligare exempel på metoder är SS 028311 som används för jord och SS EN-ISO 15587-2 för vattenlösningar. I båda metoderna använder man HNO₃ för att lösa upp provet.

I metoden SS EN-ISO 15587-1 använder man kungsvatten, *aqua regia*, vilket är en blandning mellan salpetersyra och saltsyra. Den är mest känd för att kunna lösa upp guld. Kungsvatten klarar av att lösa upp ett prov mer fullständigt än bara salpetersyra kan, vilket gör att fler metaller kan bestämmas. Närvaron av klorider i kungsvatten kan dock vara problematisk för vissa analyser. Ytterligare metoder där kungsvatten används är SS-EN 13650 (extraktion av spårelement ur jord) samt SS-EN 13346 (en metod för slam).

I NFS 2004:10 [12] och även EU-rådets beslut om mottagningskriterier, 2003/33/EG [10] nämns också metoden EN 13657, som beskriver nedbrytning av råavfall med kungsvatten. Detta är en delvis nedbrytning av det fasta avfallet och silikatmatrisen förblir intakt. Andelen element som kan bestämmas är de som är lösliga i kungsvatten.

Om samma typ av prov löses upp med HNO₃ respektive kungsvatten ger den senare i vissa fall högre halter. En behandling av provet med mikrovågor ger också ett bättre resultat. På kontinenten används kungsvatten i betydligt större utsträckning än i Sverige och dess grannländer där HNO₃ traditionellt används. Kungsvattenmetoder kommer därför på sikt att bli vanligare hos oss, som ett resultat av den pågående harmoniseringen med resten av Europa.

3.1.3 Sammanfattning och slutsatser om totalhalter

Det finns alltså ett flertal metoder med vilka man kan bestämma den ”totala” mängden spårelement och kallas totalhaltsmetoder oavsett hur mycket eller vad som löses upp. För de flesta mark- och jordprover samt liknande material används salpetersyra eller kungsvatten. Dessa metoder anses laka ut den miljömässigt relevanta halten, dvs det mesta utom silikaterna och de spårelement som är bundna i dessa. Om hela provet skall lösas upp måste starkare lösningar/metoder användas. För spårelement används då ofta den metod vi har valt i detta projekt, EN 13656.

Vid jämförelse mellan olika totalhaltmetoders resultat måste man vara medveten om att valet av uppslutningsmetod i hög grad påverkar resultatet. Ovan nämnda metoder för bestämning av ”totala” metallhalter i fasta prover är alla kraftiga extraktioner. Men att jämföra en totalhalt i ett ballastmaterial, uppslutet så att även silikaterna löses upp, med en totalhalt i t ex ett jordprov uppslutet med en metod som inte löser upp silikaterna är inte att rekommendera. Resultaten kommer inte att vara jämförbara och det material som är uppslutet med den tuffare metoden riskerar att framstå som om den ger ett bättre resultat.

3.2 Metoder för laktester

Det finns ett antal olika metoder och kategorier av laktester och dessa kan delas in i följande kategorier:

- Tillgänglighetstest
- Skaktest
- Perkolationstest
- Diffusionstest/tanktest

Angående namngivningen av testerna är den något inkonsekvent – därför är det av vikt att kontrollera de olika parametrarna som testet är uppbyggt av (dvs kornstorlek, L/S-förhållande, tid, pH mm) då en jämförelse av testerna eller deras resultat skall göras.

3.2.1 Tillgänglighetstest

Tillgänglighetstestet tar reda på hur mycket av olika ämnen som är tillgängliga att lakas ut under en ”geologisk” tidsskala. Siffror på tusen eller ett par tusen år finns i litteraturen. För att analysera tillgängligheten så finmåls provet innan analys. En nackdel med den kraftiga nedmalningen är att provets utlakningsegenskaper kan påverkas, t ex genom oxidation.

3.2.2 Skaktest/batchtest

Skaktest/batchtest är en test där det sker en aktiv omblandning mellan vätskan och och det material som skall undersökas. Skaktesterna är relativt enkla. Principen är att material med ungefär samma kornstorlek som i perkolationstesterna vägs in i plastburkar. Därefter tillsätts vatten till rätt L/S-kvot. Sedan får provet jämviktas med vattnet under omrörning som kan ske med hjälp av magnetomrörning, skakbord (burk med prov roterar horisontellt stående) eller en ”end over end tumbler” d v s burken med prov vänds fram och tillbaka i vertikalled. I testet antas att ett jämviktsläge uppnås mellan vattnet och provmaterialet. Då jämvikt inträtt antar man att inget mer av metaller eller anjoner lakas ut. I de flesta testerna är tiden för omblandning eller lakcykel högst ett dygn. Den totala tiden varierar oftast från ett till ett par dygn beroende på antalet lakcykler.

Det har utvecklats ett stort antal typer av skaktest under de gångna åren. Kända tester är t ex det amerikanska TLCP-testet, det tyska DIN 38414, det holländska NEN 7349, eller NT ENVIR 005. De senaste åren har CEN arbetat med ett standardiseringsförslag av skaktest, som består av fyra olika test som skiljer sig åt endast vad avser L/S-

förhållande och partikelstorlek. Detta arbete har lett fram till de standardiserade testen EN 12457 (1-4). Testens syfte är att påvisa hur mycket och vad som kommer att lakas ur avfallet då det ligger i en deponi eller används som ett konstruktionsmaterial. Tabell 1 nedan visar detaljer om två av testen. Av tabellen framgår att ENVIR 005 påminner mycket om EN 12457-3.

Tabell 1. Översikt av skaktest ENVIR 005 och fyra varianter av CEN-skaktest

Table 1. Overview of shaking test ENVIR 005 and four different varieties of the CEN shaking test

Testmetod	EN12457-1	EN12457-2	EN12457-3	EN12457-4	ENVIR 005
Partikelstorlek	< 4 mm (95%)	< 4 mm (95%)	< 4 mm (95%)	< 10 mm (95%)	< 4 mm (95%)
Lakvätska	Avhärdat / avjoniserat vatten (konduktivitet < 5 μ S/cm)	Avhärdat / avjoniserat vatten (konduktivitet < 5 μ S/cm)	Avhärdat / avjoniserat vatten (konduktivitet < 5 μ S/cm)	Avhärdat / avjoniserat vatten (konduktivitet < 5 μ S/cm)	Avhärdat / avjoniserat vatten (konduktivitet < 5 μ S/cm)
Provmassa	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g
L/S (l/kg) per cykel	2	10	2;8 ¹	10	2;8
L/S (l/kg) max ackumulerad	2	10	10	10	10
Antal cykler	1	1	2	1	2
Kontaktid per cykel	24 h	24 h	6 h +18 h	24 h	6 h +18 h
Cykel-förfarande	-	-	Ny vätska (i steg 2)	-	Ny vätska (i steg 2)
Blandningsmetod	Rotation eller vippning	Rotation eller vippning	Rotation eller vippning	Rotation eller vippning	Rotation eller vippning
Filtrering	0,45 μ m	0,45 μ m	0,45 μ m	0,45 μ m	0,45 μ m

¹ L/S-kvoterna i EN12457-3 är vid analysens genomförande först L/S=2 och därefter L/S=8, men resultatet redovisas alltid kumulativt, dvs man redovisar för L/S=2 och för L/S=10, där den senare är uträknat med hjälp av L/S=2 och L/S=8.

Som framgår av tabellen ovan skiljer sig de fyra olika skaktesten EN12457-(1-4) åt enbart avseende antal cykler och L/S-kvoter. Nr 3 har två cykler på vardera 6 resp 18 timmar. I den andra cykeln tillsätts nytt vatten till samma prov. Naturvårdsverket anger i sin skrift NFS2004:10 [12] att test-variant nr 3 skall användas då materialet skall analyseras. Eftersom standard EN 12457-3 dessutom ger mest information, har just denna valts att använda i detta projekt. Ytterligare en fördel är att de två fraktionerna, L/S 2 och 10, som man får ut är direkt jämförbara med L/S 2 och 10 från perkolationstestet.

3.2.3 Perkolationstest

Perkolationstest används för att undersöka ett materials lakegenskaper under förhållanden som skall efterlikna de förutsättningar som gäller när materialet används i verkligheten. Provet mals alltså inte ner utan kornstorleken ligger vanligtvis mellan 4-10 mm, beroende på typ av test eller diameter på kolonnen. Perkolationstest ger i allmänhet mest tillförlitliga lakningsresultat vid låga L/S-kvoter. Det speciella med perkolationstest är att nytt vatten (avjoniserat eller avhärdat) hela tiden tillsätts provet, vilket gör att lösligheten av utlakningsbara ämnen inte hämmas av den ökande koncentrationen av redan utlakade ämnen i lakvattnet. Det innebär också att följden i vilken ämnena lakas ut kan åskådliggöras i denna typ av test. En nackdel med testet är att det inte tar hänsyn till eventuell luftpåverkan som materialet kan utsättas för då det används som ett konstruktionsmaterial. En annan nackdel är att testet tar ca 6 veckor att utföra.

Antalet perkolationstester som utvecklats under åren är betydligt färre än antalet skakstester, förmodligen beroende på att perkolationstesterna tar längre tid att utföra och är mer arbetskrävande.

De perkolationstester som förekommit de senaste åren framgår av Tabell 2 nedan. Sedan en tid tillbaka har CEN arbetat med att ta fram ett standardiserat perkolationstest vilket nu har lett fram till SIS CEN/TS 14405:2004. Naturvårdsverket anger i sin skrift NFS2004:10 [12] att detta test skall användas då en grundläggande karaktärisering skall utföras på materialet. Ända upp till 7 L/S-kvoter kan tas ut, men antalet kvoter att ta ut kan väljas själv. I detta projekt har vi valt att ta ut två L/S-kvoter, L/S = 2 och L/S = 10. antalet uttagna L/S-kvoter. Benämningen ”TS” innebär att testet är antaget av CEN som en form av ”Technical Specifikation”, vilket innebär att den skall utvärderas och revideras om tre år, innan den slutgiltigt fastställs.

Tabell 2. Översikt över tre förekommande perkolationstest

Table 2. Overview of three common percolation tests

Testmetod	NEN 7343	ENVIR 002	SIS CEN/TS 14405:2004
Partikelstorlek	<4 mm (95%)	<4 mm (90%)	<4mm el. ≤10mm
Lakvätska	avjoniserat vatten (konduktivitet < 1 μS/cm)	avjoniserat vatten (konduktivitet < 1 μS/cm)	avjoniserat vatten (konduktivitet < 1 μS/cm)
Provmassa	500-800 g	Beror på kolonnen	Beror på kolonnen
L/S (l/kg) per cykel	Varierar	0,1 l / kilo, dag	0,1; 0,2; 0,5;1,0;2,0;5,0;10,0
L/S (l/kg) max ackumulerad	10	2 (i vissa fall upp till 10)	10
Antal cykler	7 prov tas	4-5 prover tas	7
Kontaktid per cykel	Varierar (21 dygn för L/S = 0-10)	Ca 20 dygn	Ca 20 dygn
Cykelförfarande	Lakvätskan tillförs kontinuerligt	Lakvätskan tillförs kontinuerligt	Lakvätskan tillförs kontinuerligt
Filtrering	0,45 μm	0,45 μm	0,45 μm



Figur 1. Perkolationsstest

Figure 1. Percolation test

Diffusionstest/tanktest är en testtyp där man kontrollerar diffusionen av ämnen från provkroppar nedsänkta i lakvätska (vanligtvis avjoniserat vatten), utan att röra om under provningstiden. Det handlar ofta om kompakta material med låg permeabilitet. Nackdelar med denna testtyp är att de tar ganska lång tid, ofta någon månad.

3.3 Tester för karakterisering av berg och morän i detta projekt

I de två projekten som redovisas i denna rapport användes tre av de fem ovan beskrivna testerna, nämligen totalhaltstest, perkolationsstest och skaktest. I detta avsnitt beskrivs mer detaljerat hur testerna utfördes för att kunna karakterisera bergs- och moränproverna. Inledningsvis utfördes neddelning och ev torkning vilket beskrivs först.

3.3.1 Neddelning, torkning och provmängder

För att erhålla en hanterbar mängd till analyserna måste de inkomna proven neddelas till mindre prover. Det är viktigt att detta görs korrekt så att man erhåller ett mindre delprov som är representativt.

Bergproverna inkom i hinkar och delades ned i en roterande Gilson-neddelare. Proverna krossades för att erhålla en för analyserna lämplig kornstorlek. Prov skickades till SPs kemiska laboratorium för analys. På laboratoriet utfördes ytterligare neddelning och malning till de olika analyserna.

En del av moränproverna var mycket fuktiga när de anlände till SP varför de torkades i 35 grader i 24 timmar för att överhuvudtaget kunna neddelas. Därefter användes en spaltneddelare för att erhålla ett delprov som var 25 % av den ursprungliga mängden, vilket skickades till SPs kemiska laboratorium. På laboratoriet utfördes ytterligare neddelning till de olika analyserna.

Den mängd prov som åtgår för att göra testerna varierar beroende på vilken typ av test det är. Nedanstående tabell redovisar de använda mängderna prov som använts i respektive test.

Tabell 3. Mängden testat prov i de olika analyserna

Table 3. The amount of the samples in the different analyses.

Typ av analys	Beteckning	Använd mängd
Totalhalt	EN 13656	0,1g ± 0,1mg
Skaktest	SS-EN 12457-3	175g ± 5g (torrvikt)
Perkolationstest	SIS CEN/TS 14405:2004	0,7 - 1kg (torrvikt)

3.3.2 Totalhaltstest

Totalhalten spårelement i bergmaterialet och moränerna bestämdes på följande sätt:

Proverna maldes så att >95 % av provet var <250 µm. Proverna löstes sedan upp genom mikrovågsuppslutning enligt EN13656, d v s blandades med saltsyra, HCl, salpetersyra, HNO₃ och vätefluorid, HF. Metallhalterna bestämdes sedan med ICP-MS (Induktivt kopplad plasma mass-spektrometri, *eng* Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) utom halten kvicksilver som bestämdes enligt SP 3505 (DMA 80).

3.3.3 Skaktest

Skaktestet EN12457-3 utfördes på följande sätt, inklusive efterföljande analyser:

- Ett representativt prov togs ut
- Ca 175 g prov vägdes in i plastburkar och ca 350 (L/S 2) respektive 1400 (L/S 8) ml ultrarent vatten tillsattes.
- Proverna lakades sedan enligt EN 12457-3.
Steg 1: Proverna lakades under 6 timmar vid L/S=2 och filtrerades genom 0,45 µm filter, ultrarent vatten (konduktivitet < 0,1 µS/cm)
Steg 2: Proverna lakades under 18 timmar vid L/S=8 och filtrerades genom 0,45 µm filter, ultrarent vatten (konduktivitet < 0,1 µS/cm)
- Proverna för metallbestämning konserverades genom tillsats av konc. HNO₃ till 1 vikt-%. Alla prover förvarades i kyl fram till analys.
- Konduktivitet, reduktions- och oxidationspotential (Red/ox-potential) samt pH bestämdes i laklösningarna direkt efter filtreringen.
- Metallhalterna bestämdes med ICP-MS enligt modifierad EPA 6020.
- Anjonerna bestämdes med jonkromatograf enligt SS-ISO 10304, del 2:1995.
- Löst organiskt kol (DOC) för moränproverna bestämdes enligt SS-EN 1484.

3.3.4 Perkolationstest

Perkolationstest SIS-CEN/TS14405:2004 utfördes på följande sätt, inklusive efterföljande analyser:

- Kolonnerna rengjordes med 0,5 % HNO₃ och sköljdes med ultrarent vatten. Efter detta togs ett blankprov ut för att kontrollera renheten.
- Ett representativt prov togs ut och kolonnerna packades med 0,7 – 1kg prov portionsvis och med jämna mellanrum packades provmaterial ihop med hjälp av en plaststav.
- Provet mättades sedan med vatten (ultrarent vatten, konduktivitet < 0,1 µS/cm) och fick stå i tre dygn tills jämvikt hade uppnåtts, vilket kontrollerades genom att mäta pH. Flöde kontrollerades regelbundet hela testen och skall var 12 ± 6 ml/h.
- Proverna lakades sedan enligt SIS-CEN/TS14405:2004. Flödet kontrollerades ett par gånger i veckan under tiden som försöket pågick.
- Uttag av prov gjordes för tre fraktioner, L/S 0,1, 2 och 10. Proverna för metallbestämning konserverades genom tillsats av konc HNO₃ till 1 vikt-%. Alla prover förvarades i kyl fram till analys.
- Konduktivitet, reduktions- och oxidationspotential (Red/ox-potential) samt pH bestämdes i laklösningarna direkt efter filtreringen.
- Metallhalterna bestämdes med ICP-MS enligt modifierad EPA 6020.
- Anjonerna bestämdes med jonkromatograf enligt SS-ISO 10304, del 2:1995.
- Löst organiskt kol (DOC) för moränproverna bestämdes enligt SS-EN 1484.

3.3.5 Standardiseringsarbetet på Europeanivå

Två olika grupperingar arbetar med standardisering av lakteter på europeisk nivå. Arbetet bedrivs i tekniska kommittéer, sk TC (Technical Committee). Den ena tekniska kommittéen är TC154 vars inriktning är ballast, och den andra är TC292 vars inriktning är karaktärisering av avfall. TC154 som arbetar med ballast har arbetat fram en lagningsmetod som heter EN1744-3 (som är en form av skaktest) som också har antagits som standard av CEN. TC292s arbete har lett fram till de i detta projekt använda lakmetoderna. Lakteten som TC154 framtagit är en ganska enkel metod som ger mindre information än den perkolationsmetod som användes i dessa projekt.

3.3.6 Motivering till val av lagningsmetoder i projekten.

I dessa två projekt användes samma metoder för skak- och perkolationstest som skall användas då ett material skall karaktäriseras för att avgöra vilken typ av deponi som materialet kan ligga på, enligt EUs och Naturvårdsverkets bestämmelser om deponering. Anledningen till detta är inte att materialen (berg och morän) skall läggas på deponi utan för att lagningsmetoderna är allmänt kända på grund av standardiseringen. Eftersom metoderna inte heller skiljer sig speciellt mycket från tidigare använda metoder, dvs de är ganska allmänna, kommer dessa förmodligen att användas som en slags standardmetoder framöver oavsett vad man har för avsikter med materialet.

Valet mellan att använda laktestet för ballast EN1744-3 jämfört med de i projekten använda metoderna (som egentligen är avsedda för avfall), bygger på att EN1744-3 bedöms som allt för enkelt för att kunna ge användbar information. Detta test har också kritiserats från många håll för att vara alltför enkelt och sakna kemisk och fysikalisk förankring.

3.4 Sammanfattning av utförda tester

Ett stort antal tester har utförts i de två projekten. Tabell 4 sammanfattar de rapporter som genererats inom projektet samt metoder som använts och parametrar som bestämts.

Tabell 4. Översikt över utförda analyser i projekten

Table 4. Overview of the analyses in the projects

Rapport	Analyserat material	Typ av analys	Analyserade parametrar
Bergprover			
SP – P4 00838-01:C	23 berg-prover	Totalhalt	16 metaller
SP – P4 00838-01:D	23 bergprover	Skaktest SS-EN12457-3	17 metaller 5 anjoner Fukt pH Konduktivitet Redox-potential
SP – P4 00838-01:F SP – P4 00838-01:I	23 bergprover	Skaktest SS-EN12457-3	Semikvantitativ analys av 47 metaller
SP – P4 00838-01:G	10 bergprover	Perkolationstest SIS- CEN/TS 14405:2004	17 metaller 5 anjoner Fukt pH Konduktivitet Redox-potential
SP – P4 00838-01:H	10 bergprover	Perkolationstest SIS- CEN/TS 14405:2004	Semikvantitativ analys av 47 metaller
Moränprover			
SP – P4 03453-01:A	15 moränprover	Totalhalt	16 metaller
SP – P4 03453-01:B	15 moränprover	Skaktest SS-EN12457-3	17 metaller 5 anjoner Fukt pH Konduktivitet Redox-potential DOC
SP – P4 03453-01:C	15 moränprover	Skaktest SS-EN12457-3	Semikvantitativ analys av 47 metaller
SP – P4 03453-01:D	7 moränprover	Perkolationstest SIS- CEN/TS 14405:2004	17 metaller 5 anjoner Fukt pH Konduktivitet Redox-potential DOC
SP – P4 03453-01:E	7 moränprover	Perkolationstest SIS- CEN/TS 14405:2004	Semikvantitativ analys av 47 metaller

3.5 Analyismetoder

När testerna (totalhalts-, skak- och perkolationstest) är klara har man ett antal burkar innehållande extraktions- och laktlösningar. Nu behövs en analys av dessa lösningar för att kunna bestämma metall-, anjon- och DOC-halterna.

3.5.1 Induktivt kopplad plasma masspektrometri, ICP-MS

Alla metallhalter från totalhaltstesten samt lakttesterna har bestämts med ICP-MS-teknik i föreliggande projekt.

ICP-MS är en starkt växande teknik för bestämning av spårämnen i både lösningar och fasta prover. ICP-MS kan kvantifiera nästan alla grundämnen undantaget ädelgaserna, H, F, N, O och Cl. Fördelarna hos ICP-MS är bl a:

- Enkelt att utvärdera spektra
- Förmåga att simultant mäta samtliga grundämnen vid mycket låga halter
- Kan användas till de flesta typer av prover
- Hög precision och låga detektionsgränser för bestämning av de flesta grundämnen i vattenlösningar

Om provet är fast (som i föreliggande projekt) så löses provet oftast upp med hjälp av upplutning med syra i en mikrovågsugn. Eftersom detektionsgränserna är väldigt låga slipper man oftast en komplicerad provupparbetning med förkoncentreringsteg.

Lösningarna från totalhaltstesten som består av höga koncentrationer av koncentrerade syror späddes fem gånger innan analys i ICP-MS. Detta gör man för att mängden salter i lösningen skapar beläggningar i instrumentet som påverkar upplösningen och sänker bestämningen av metallhalten.

För bestämning av kvicksilver med ICP-MS i laktlösningarna togs separata prov ut för detta och de tillsattes guld till en koncentration av ca 10ppm samt koncentrerad HNO₃ till 1 vikt-%. Gullet binder kvicksilvret och syran hindrar provet från att ändra sin kemiska sammansättning.

3.5.1.1 Kvantitativ och semikvantitativ scan

När man analyserar med ICP kan man mäta ett ämne i taget eller flera ämnen samtidigt. Ju fler ämnen som läses av i samma prov, desto sämre upplösning och sänkt resultatet försämras något. Vid analys av fem eller tio ämnen spelar detta ingen avgörande roll, men i dessa projekt fanns tre omständigheter som måste tas hänsyn till:

- Ett mycket stort antal ämnen skulle mätas, 64 metaller, vilket är tillräckligt stort för att försämringen i upplösning, och därmed detektions- och kvantifieringsgräns, skulle vara klart märkbar.
- Halterna förväntades vara så låga att denna försämring skulle vara av betydelse

- Ett stort antal av dessa ämnen förväntades inte finnas i mätbara mängder. Att då försämra möjligheten att mäta de ämnen som upplevs som mest intressanta verkade inte vara ett klokt beslut.

På grundval av detta beslöts att göra bestämningar av metallerna i olika omgångar. De 17 mest intressanta metallerna, utvalda på basis av de ämnen som nämns i NFS2004:10 [12] och Riktlinjerna för förorenad mark [16] analyserades med en högre noggrannhet, kvantitativ scan. De resterande 47 metallerna bestämdes, med en sämre noggrannhet, semi-kvantitativ scan. Benämningen ”scan”, för att man tittar på (scannar) större delen av periodiska systemet d v s icke-gasformiga och stabila ämnen. Benämningen ”semi” betyder att man kan kvantifiera mängderna, men dock inte med samma noggrannhet som om man hade scannat en handfull ämnen åt gången.

Resultaten visar att denna uppdelning var motiverad.

3.5.2 Övriga analyser

Halten **anjoner**, d v s fluorid, klorid, nitrat, sulfat och fosfat bestämdes med en jonkromatograf enligt SS-ISO 10304 del 2:1995. Detta är en metod där man separerar joner utifrån massa och laddning i en kolonn.

Den **totala halten kvicksilver** i fast prov bestämdes med ett instrument som kallas DMA 80, enligt metoden SP 3505. Provet upphettas och förångas, varvid allt kvicksilver övergår i gasfas. Kvicksilvret fångas upp av en guldfälla. Den uppsamlade mängden kvicksilver drivs av från guldfällan genom kraftig upphettning och detekteras sedan spektrofotometriskt. Bestämningen utförs som dubbelprov.

Löst organiskt kol (DOC) i de filterade laklösningarna (0,45 µm filter) bestämdes genom att laklösningen tillsattes ett lämpligt oxidationsmedel för att sedan förbrännas. Då omvandlas det organiska kolet till koldioxid. Halten koldioxid kan sedan bestämmas direkt eller efter omvandling till metan bl a spektrofotometriskt eller med titrering.

pH samt **reduktions- och oxidationspotential** bestämdes genom att mäta med därför avsedda elektroder för respektive parameter i ett prov taget från lakvätskan direkt efter filtrering. **Konduktiviteten** bestämdes med en konduktivitetmätare på separat prov taget från lakvätskan efter filtrering. Den anger ett värde på konduktiviteten vid 25°C.

4 Provvurval

4.1 Bergmaterial

4.1.1 Inledande information om svenskt berg

Det finns tre huvudgrupper av bergarter i Sverige:

1. Sedimentära
2. Magmatiska
3. Metamorfa

Ovanstående indelning har sin utgångspunkt ifrån bergets bildningssätt. Även andra typer av indelningar skulle kunna göras baserat på andra grunder, men det ovan redovisade är det vanligaste indelningssättet. Det bör dock observeras att bergets sammansättning med avseende på ämnen och föreningar inte nödvändigtvis har någon koppling till denna indelning. Det betyder att det inom varje grupp finns stora skillnader i de olika bergarternas kemi men att det också kan finnas bergarter från olika grupper som kan likna varandra kemiskt. Utlakningsdata från proverna i detta projekt skulle kunna likna varandra så väl som skilja sig väsentligt mellan de olika grupperna.

4.1.1.1 Sedimentära bergarter

Sedimentära bergarter är, som namnet antyder, sediment som omvandlats till en bergart. Avsättningen för sedimenten sker i huvudsak i vatten, men det kan även finnas bergarter där avsättningen av sedimentet skett på land och då oftast i ökenmiljö. När själva berget bildas genomgår sedimenten en hopläkningsprocess, som kallas diagenes. Den består av tre efter varandra följande processer, kompaktion, rekristallisation och cementation. I Sverige är den dominerande sedimentära bergarten kalksten, men en mindre mängd sandsten och lerskiffer återfinns också, främst i Skåne. Övriga sedimentära bergarter i Sverige är så gamla (i huvudsak över 1 miljard år gamla) att de idag är metamorfa bergarter (se nedanstående kapitel).

4.1.1.2 Magmatiska bergarter

Magmatiska bergarter är bildade ur en steltnad magma i eller på jordskorpan. De vanligaste magmatiska bergarterna är granit, gabbro, porfyr, basalt och diabas.

4.1.1.3 Metamorfa bergarter

Metamorfa bergarter är sedimentära eller magmatiska bergarter som utsatts för någon form av omvandling (metamorfos), oftast under högt tryck och hög temperatur, som orsakats av platt-tektonik (rörelser i jordskorpan). Den vanligaste metamorfa bergarten i Sverige är gnejs som kan ha både sedimentärt och magmatiskt ursprung. Andra exempel på metamorfa bergarter är amfibolit (omvandlad gabbro, basalt eller diabas), kvartsit (omvandlad sandsten), marmor (omvandlad kalksten) samt glimmer-skiffer (omvandlad lerskiffer).

4.1.2 Provvurval

Urvalet av bergmaterial har skett främst utifrån geologiska grunder. Utifrån ovan nämnda tre huvudgrupper av svenska bergarter har vi valt ut bergarter ur respektive huvudgrupp samt försökt sprida dem geografiskt över Sverige. Proverna är tagna från producerande ballasttäckter. Utöver dessa prover har så kallat ”material i väglinjen” provtagits för att undersöka bergets variation längs en vägsträckning. Ofta produceras material till vägarnas bärlager det angränsande berget längs väglinjen. Dessa prover togs ut längs en större riksväg i Västergötland. Sedimentära bergarter representeras endast av kalksten då det i princip är den enda sedimentära bergartstyp som inte har blivit utsatt för metamorfos i Sverige. Tabell 5 visar bergart och geografiskt läge på de undersökta materialen.

Följande prover har ingått i projektet, (se Tabell 5). Dessa prover täcker det mesta av det bergmaterial som finns i Sverige, både det som bryts för byggnadsändamål och det som ligger vid vägsträckor och därmed används på plats. Detta innebär att det lokalt kan finnas andra bergarter som har högre halter av spårämnen. Exempelvis finns det på många ställen i Sverige malmfyndigheter, där halten av ett eller flera ämnen är betydligt högre än genomsnittligt. Är de koncentrerade ämnena av ekonomiskt intresse, t ex järn, koppar, silver, guld mm, startas ofta gruvbrytning av dessa ämnen.

Dock finns det motsvarande koncentrationer av andra ämnen som inte är kommersiellt intressanta i dagsläget, t ex kadmium eller arsenik. Skulle man stöta på en sådan bergart när man bygger en väg ökar naturligtvis risken att miljöstörande ämnen kommer ut i naturen. Detta har inträffat, bl a vid Grytinge utanför Torps köpcentrum utanför Uddevalla vid ett motorvägsbygge utförd av Vägverket [13]. I detta fall orsakade urlakning av sulfider, från de bortsprängda bergmassorna, en påtaglig lokal miljöpåverkan med bl a kraftig försurning av lokala vattendrag. Detta är dock mycket ovanligt och ingen sådan bergart finns med i nedanstående prover. Dock skall man vara uppmärksam på att denna typ av risk finns.

Tabell 5. Översikt över bergarterna i projektet

Table 5. Overview of types of rocks in the project

Bergart	Märkning	Geografiskt läge
Sedimentära		
Kalksten	1.1	Västergötland
Metamorfa		
Kalksten, kristallin	1.2	Värmland
Dolomit	2.1	Värmland
Skiffer	2.2	Jämtland
Sedimentådergnejs	2.3	Stockholm
Kvartsit	2.4	Skåne
Gråvacka	2.5	Västernorrland
Amfibolit	2.6	Småland
Migmatit gnejs	2.7	Halland
Granitisk gnejs	2.9	Södermanland
Kvartsit	2.11	Jämtland
Magmatiska		

Granodiorit	2.8	Västernorrland
Granit, finkornig	3.1	Blekinge
Granit, medelkornig	3.3	Bohuslän
Granit, grovkornig	3.4	Bohuslän
Porfyr	3.5	Dalarna
Granit, finkornig	3.7	Småland
Granit, finkornig	3.9	Västmanland
Granit, grovkornig	3.10	Skåne
Berg i väglinjen		
Granitisk gnejs	4.1	Västergötland
Granitisk gnejs	4.2	Västergötland
Granitisk gnejs	4.3	Västergötland
Granitisk gnejs	4.4	Västergötland

4.2 Moräner

I projektet analyserades även moräner enligt samma principer som bergarterna. SGU har insamlat totalt 15 moränprover från ett område som sträcker sig från Västerås i norr till Växjö i söder. Själva provtagningen gjordes för hand med spade, och provmaterialet togs från C-horisonten¹ ur en grop per provplats. Stor vikt lades vid att provmaterialet skulle vara visuellt opåverkat av jordmånbildande processer. Provtagningsdjupet varierade kring en meter och ingen av moränproverna verkade bestå av svallat² material. I de fall där provet togs under högsta kustlinjen togs provet under svallkappan.

Provpunkterna valdes med hänsyn till befintlig information om moränernas geokemiska sammansättning och bergarternas fördelning. Dessutom förlades provpunkter till såväl ovan som under högsta kustlinjen. Tabell 6 nedan visar en sammanställning av proverna.

Tabell 6. Översikt över moränproverna i projektet

Table 6. Overview of types of tills samples in the project

Prov-punkt	Provdjup, cm	Jordmån	Blockighet	Underliggande bergart	Övrigt
1, Västerås	60-80	Brunjord	Blockfattigt	Metagråvacka	Tunt moräntäcke
2, Hallstavik	95-105	Podsol	Normalblockig	Gnejsgranit	Normal sandmoig morän
3, Fellingsbro	80-90	Podsol	Normalblockig	Metaryolit	-
4, Hallsberg	80-90	Podsol	Blockfattig	Sandsten	-
5, Finspång	130-150	Podsol	Normalblockig	Granitoid	Något grusig morän
6 Vadstena	80-90	Brunjord	-	Kalksten	Prov taget i schaktmassor från nyanlagd damm

¹ C-horisont = den undre delen av markprofilen som inte påverkats av jordmånbildande processer

² Svallat material, svallkappan = material som påverkats av vatten, framförallt vågor. Genom vattenpåverkan sköljs finkornigt material ut, det svallade (grovkorniga) materialet bildar en s k svallkappa som ibland kan ha en betydande mäktighet. Mycket vanligt förekommande under högsta kustlinjen.

7, Tranås	110-120	Podsol	Normalblockig	Granitisk bergart	-
8, Nässjö	110-120	Podsol	Blockfattig	Granitisk bergart	Mycket hårdpackad morän
9, Lenhovda	140-150	Podsol	-	Ryolit	Grusig-sandig morän
10, Skillingaryd	100-110	Podsol	Blockfattig	Metagranit	-
11, Borås	100-110	Podsol	Blockfattig	Gnejsgranodiorit	Hårdpackad sandig-moig morän
12, Falköping	140-150	Brunjord	Normalblockig	Lerskiffer	-
13, Götene	80-90	Podsol	Normalblockig	Granit	Hårdpackad sandig-moig morän
14, Karlsborg	80-90	Podsol	Normalblockig	Granit/kvartsmonzodiorit	-
15, Vingåker	70-80	Podsol	Blockfattig	Glimmerskiffer	Moig morän

5 Databehandling och resultatredovisning

5.1 Redovisning av resultat

En stor mängd analysdata har genererats i de två projekten. Laboratoriet har sammanställt tio olika rapporter. Av utrymmesskäl har dessa rapporter kondenserats till exceltabeller, se bilaga 1-10 i denna rapport. Nästan all information från analysrapporterna skall dock finnas i exceltabellerna. Analysdata har bearbetats och presenteras i den här rapporten, se kapitel 6 och 7. Bergmaterialen har redovisats genom att presentera resultat för respektive metall och anjon. Dessutom redovisas resultaten för varje metall och anjon uppdelat i bergarternas respektive kategorier. För moränerna, kapitel 7, redovisas resultatet enbart för respektive metall och anjon.

5.2 Detektions- och bestämbarhetsgränser: några definitioner

När det handlar om att bestämma väldigt låga koncentrationer metaller, som varit aktuellt i detta projekt blir gränsen för hur låg halt som med säkerhet kan bestämmas och rapporteras av mycket stor vikt. Vid bestämning och rapportering av analysdata finns det en rad begrepp som inte är lika välkända utanför kretsen av analytiska kemister. Därför beskrivs nedan vad som påverkar själva analysen av ett prov samt att ett par viktiga begrepp definieras.

5.2.1 Kontaminering och störningskällor

Vid alla former av tester och analyser eller bestämning av ämnen/substanser finns det faktorer som kan påverka resultatet. Dels finns det en risk för kontaminering under själva testet och dels en risk för störningar vid själva bestämningen med instrumentet. Detta är speciellt viktigt att beakta vid de lakteter och metall- och anjonbestämningar som gjorts i detta projekt, då halten utlakad metall/anjon visat sig vara väldigt låg.

Kontamineringsrisken innebär att det under själva testet av misstag tillförs oönskade mängder av metaller och anjoner, som man vill mäta, och orsakar antingen ett felaktigt resultat på provet eller en hög blank och därmed en hög bestämbarhetsgräns, se avsnitt 5.2.2, så att provets halt inte kan anges.

Störningskällor är faktorer som påverkar vid själva haltbestämningen i instrumentet. Det kan t ex vara provets matris d v s bakgrunden, i detta fall t ex tillsatt vatten eller syra, partiklar mm. Detta kan ge en signal vid själva analysen, som stör bestämningen av metallhalten d v s ligger nära den våglängd där man vill mäta. Antingen blir metallhalten helt felaktig eller så kan den inte bestämmas alls. Dessutom skall man veta om, att ett analysinstrument alltid har ett visst brus i signalerna även då enbart rent vatten analyseras. Om metallhalten är väldigt låg kan den ligga nära detta brus och kan då inte bestämmas tillförlitligt.

För att kontrollera kontamineringsrisken under testet använder man blankprov. Det är ett likadant kärl som används i testet men det innehåller inget provmaterial. Blankprovet behandlas precis likadant som ett prov och man låter oftast flera blankprover följa med i

testet. Det innebär att om det sker en kontaminering under själva testproceduren, kommer det förhoppningsvis att synas i blankprovet, som också följer med vid haltbestämningen. Om exempelvis syra tillsätts för att justera provets pH kommer även blanken att surgöras och eventuella föroreningar från syran kan sedan detekteras av analysinstrumentet. Vissa metaller som bestämts i laklösningarna i detta projekt är mycket vanliga och finns runtomkring oss, dagligen, som t ex zink, som förekommer i galvaniserade ventilationstrummor, målarfärg, hudlotion, dammpartiklar mm, och därför är risken stor för kontamination bara vid hanteringen av provet under testet. Därför kan det vara svårt att mäta väldigt små koncentrationer av vanligt förekommande metaller och anjoner.

Blankprovet för perkolationstest avviker från ovanstående beskrivning på så sätt att man tagit ut ett prov bestående av ultrarent vatten som passerat kolonnen efter att den sköljts ordentligt. Detta är för att kontrollera renheten och helt enligt standard. Men det innebär också att man inte har kontroll på eventuell kontaminering under själva perkolationstestet när kolonnen är packad med prov. Man vet bara hur ren kolonnen var innan testet startade.

När det gäller störningskällor vid haltbestämningen i analysinstrumentet kan ett icke önskvärt ämne ha en signal som ligger väldigt nära det ämne man vill bestämma. Dessutom kan ämnen reagera med varandra och bilda föreningar som påverkar haltbestämningen. Ett exempel på detta är totalhalten av spårelement som i detta projekt bestämdes med EN 13656. I denna metod tillsätts borsyra. I analysinstrumentet (ICP-MS) transporteras provet med gasen argon. Bor från borsyran reagerar med argongasen till en förening som kan störa haltbestämningen av vanadin. I båda fallen, om störning sker, innebär det att man inte kan lita på den bestämda halten av det önskvärda ämnet. Det är alltså av stor vikt att kontrollera möjliga interferenser efter en haltbestämning.

5.2.2 Bestämbarhetsgräns

Resultatet av haltbestämningen i blankproverna som beskrivits ovan används sedan för att beräkna bestämbarhetsgränsen eller rapportgränsen/kvantifieringsgräns som den även kan kallas. Det innebär att man räknar ut ett värde över vilket man med säkerhet kan säga inte bara att det efterfrågade ämnet finns i provet, utan också hur stor koncentrationen av detta ämne är. Om ett provresultat ligger under bestämbarhetsgränsen eller väldigt nära kan det inte särskiljas från en kontaminering. Bestämbarhetsgränsen baseras på standardavvikelsen, s , för mätresultatet från flera blankprov. Bestämbarhetsgränsen är **6 till 10 gånger standardavvikelsen**, $6 * s$ till $10 * s$.

Metodens bestämbarhetsgräns avser det lägsta resultat som kan rapporteras med den aktuella metoden. Den uppskattas från blankprover som följt med under hela metoden dvs som utsatts för samma behandling som proverna, t ex filtrering, tillsatser av vatten, syror eller reagens samt att man mätt på ett flertal blankprov under en längre tid.

Instrumentets bestämbarhetsgräns kan uppskattas genom att analysera ett prov som skall vara "rent", har en enkel matris och genomgått minsta möjliga provberedning, t ex analys av Zn med ICP i rent vatten. För spektroskopiska tekniker t ex ICP, gäller att

man med ca 10 mätningar på rent vatten vid flera olika tillfällen och med normal reagenstillsatts kan uppskatta s.

I denna rapport är det metodens rapportgräns som använts.

Det som normalt anges i analysrapporter är bestämbarhetsgränsen d v s om bestämbarhetsgränsen exempelvis är 0,5 µg/kg för en metall redovisas alla resultat som ligger under detta värde som <0,5 µg/kg.

*I denna rapport har en bestämbarhetsgräns på 10 * s använts.*

Att observera; alla rådata till standardavvikelse kommer ut som en mängd per liter, ofta µg/l eller mmol/l. Om man analyserar ett fast prov vill man ofta uttrycka s i en enhet per massenhet, t ex µg/g. Denna siffra får man genom att dividera antalet µg/l med provmängden i g/l. Det innebär att s uttryckt i en mängd per massenhet också beror på hur stor provmängd som lösts upp per vätskevolym. Ju mer prov som kan lösas upp per liter, desto lägre halter uttryckt i mängd per massenhet kan man mäta. Men om provet i sig innehåller sådant som kan orsaka störningar är det ändå inte säkert att den sanna utlakade metallhalten kan detekteras.

5.2.3 Detektionsgräns

För att undvika den vanligt förekommande misstolkningen att bestämbarhetsgräns är likvärdigt med detektionsgräns förklaras här även det senare begreppet. Skillnaden mellan bestämbarhetsgräns och detektionsgräns är att den senare definieras som **tre gånger standardavvikelsen** för ett antal blankprover, d v s 3 * s. Man kan även uppskatta och ange ett instruments eller en methods detektionsgräns, på samma sätt som beskrivits ovan, men s multipliceras istället med tre.

Detta är med andra ord en betydligt snävare gräns än bestämbarhetsgränsen och man bör beakta att mätosäkerheten ökar. Detta gör att tillförlitligheten för provresultaten minskar betydligt d v s att det värde som rapporteras kan vara ett ”sant” värde likaväl som det är en kontaminering. Denna gräns bör användas med försiktighet.

5.3 Konsekvenserna av valet av bestämbarhetsgräns

Majoriteten av mätvärdena i detta projekt är så låga att de ligger under bestämbarhetsgränsen på 10 * s. För att kunna redovisa fler konkreta resultat skulle man kunna välja en bestämbarhetsgräns på 6 * s, eller t o m välja att redovisa de värden som ligger över detektionsgränsen, 3 * s. En kontroll av de sjutton mest intressanta metallerna (kvantitativt bestämda) utfördes på resultaten från skak- och perkolationstest, som utförts på moränproverna. Standardavvikelsen multiplicerades med tre och resultaten gick igenom för att se om ytterligare värden skulle kunna rapporteras d v s om de låg över metodens detektionsgräns.

För skaktestet och fraktion L/S 2, dvs 2 liter lakvätska per kg prov, skulle betydligt fler resultat kunna anges för metallerna Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb och W. För L/S 10, d v s 10 liter lakvätska per kg prov, kan ytterligare några provers värden anges för metallerna

Ni, V, W och Zn. Men för resterande metaller gjorde denna förändring från metodens bestämbarhetsgräns ($10 * s$) till metodens detektionsgräns ($3 * s$) ingen skillnad på resultaten som skulle kunna rapporteras, varken för L/S 2 eller 10. För perkolationstestet gjorde denna förändring att fler resultat för L/S 10 fraktionen skulle kunna anges för majoriteten av metallerna.

Men som redan påpekats ovan bör ett instruments eller en metods detektionsgräns användas med försiktighet. När man väljer vilken bestämbarhetsgräns man skall använda så bör man ha i åtanke t ex hur blankproven utförts och vad för typ av prov man testat. I detta aktuella fall bör inte metodens bestämbarhetsgräns ($10 * s$) ändras till metodens detektionsgräns ($3 * s$) och speciellt inte för perkolationstestet, se 5.2.1 beskrivning av perkolationstestets blank. För att vara säkra på att den halt som rapporteras verkligen är en från provet lakad halt, bör en bestämbarhetsgräns som motsvarar $10 * s$ tillämpas.

6 Bergmaterial

Detta avsnitt innehåller resultaten för bergmaterialen. Redovisningen är uppdelad på varje metall och anjon. I avsnitt 6.5 är samma data presenterat per bergartstyp istället. Fuktinnehållet i proverna framgår av

Tabell 7 nedan.

Tabell 7. Innehåll av fukt i de olika bergarterna

Table 7. Content of moisture in the different types of rock

Bergart	Fukt, %	Bergart	Fukt, %
Kalksten	3	Granit, finkornig	0,2
Kalksten, kristallin	0,3	Iddefjord	<0,1
Dolomit	<0,1	Uddevalla	1
Skiffer	<0,1	Älvdalsporfyr	<0,1
Sedimentådergnejs	0,1	Smålandsporfyr	3
Kvartsit	3	Granit finkornig	0,1
Amfibolit	0,3	Granit grovkornig	0,1
Gråvacka	0,4	RV 40	7
Migmatit gnejs	<0,1	RV 40	0,1
Granodiorit	<0,1	RV 40	5
Gnejs	0,2	RV 40	7
Kvartsit	0,1		

6.1 Totalhalter av spårelement – EN 13656

Av Tabell 8 nedan framgår medelvärden mm för metallerna i bergproverna. Kolumnen med kvoten mellan högsta och lägsta värdet skall ge en bild av spridningen mellan proven för en och samma metall. Mer detaljerad information om totalhalterna finns i Bilaga 1.

Tabell 8. Totalhalter av metaller i bergproverna. Totalt analyserades 23 st prov.

Table 8. Total content of metals in the rock samples. Overall, 23 samples were analyzed.

	Medel- värde ¹ µg/kg	Lägsta värde, µg/kg	Högsta värde, µg/kg	Bestäm- barhet- gräns ²	Standard- avvikelse	Median	Kvot (högsta/ lägsta)
As	9 870	250	120 000	300	24 800	2 900	480
Ba	415 000	8 800	900 000	500	309 000	450 000	102
Cd	359	200	800	50 ⁽⁸⁾	143	300	4
Co	44 300	3 200	110 000	100	23 700	40 000	34
Cr	43 000	6 600	170 000	1700	45 400	20 000	26
Cu	26 700	3 800	96 300	1500	19 500	20 200	25
Hg	4,4	2	10	2 ⁽¹⁴⁾	2,6	4	5
Mn	1 030 000	200 000	2 350 000	4500	653 000	800 000	12

Mo	2 050	1 000	7 100	400 ⁽⁷⁾	1 420	1 800	7
Ni	19 800	4 000	60 300	1500	16 000	13 000	15
Pb	21 300	1 500	71 000	700	17 600	18 000	47
Sb	660	200	1 600	200 ⁽¹³⁾	510	480	8
Se	<5 00	5 00	5 00	500 ⁽²³⁾	0	5000	1
Sn	4 270	350	18 200	500	3 900	3 300	52
W	204 000	4 000	430 000	500	146 000	160 000	108
Zn	70 000	17 900	198 000	150	45 400	60 000	11

¹ Medelvärde beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen.

² En upphöjd siffra inom parentes efter angivelse av bestämbarhetsgränsen visar hur många värden som var under denna gräns.

6.1.1 Metaller med medeltotalhalter över 40 000 µg/kg

Sex metaller har medeltotalhalter över 40 000 µg/kg i bergmaterialen, nämligen Mangan, Barium, Wolfram, Zink, Kobolt och Krom.

Mangan har ett medelvärde på 1 030 000 µg/kg och ligger högst bland de uppmätta metallerna. Kvoten mellan högsta och lägsta var i klassen mellan med ett värde på 12, (200 000 – 2 350 000) µg/kg. Spridningen av värden i detta spann är mycket jämn.

Barium har ett medelvärde på 415 000 µg/kg och ligger näst högst bland de uppmätta metallerna. Spridningen på värden kategoriseras i klassen hög, med ett värde på 102, (8 800 – 900 000) µg/kg. De sedimentära bergarterna innehåller mindre Barium

Wolfram har ett medelvärde på 204 000 µg/kg. Spridningen i klassen hög, med värdet 108, (4 000 – 430 000) µg/kg.

Zink har ett medelvärde på 70 000 µg/kg. Spridningen ligger i klassen mellan med ett värde på 11, (17 900 – 198 000) µg/kg.

Kobolt har ett medelvärde på 44 300 µg/kg. Spridningen ligger i klassen mellan med ett värde på 34, (3 200 – 110 000) µg/kg. Alla fyra kategorier av bergarter har ungefär samma innehåll av Kobolt.

Krom har ett medelvärde på 43 000 µg/kg. Kvoten mellan högsta och lägsta värdet ligger på 26. Krom ligger som regel under 40 000 µg/kg, med några undantag. Inom gruppen metamorfa bergarter finns fyra halter som är högre. Dessa är två gnejser på 120 000 respektive 93 000 µg/kg, en gråvacka på 131 000 µg/kg samt amfiboliten på 170 000 µg/kg. Dessutom är ett enstaka värde på RV 40 högt, 90 000 µg/kg. Kvoten mellan högsta och lägsta ligger i klassen mellan med ett värde på 26, (6 600 – 170 000) µg/kg. De metamorfa bergarterna har (signifikant?) högre innehåll av krom än de magmatiska.

6.1.2 Metaller med medeltotalhalter mellan 5 000 och 40 000 µg/kg

Fyra metaller har medeltotalhalter mellan 5000 µg/kg och 40 000 µg/kg, nämligen koppar, bly, nickel och arsenik.

Koppar har ett medelvärde på 26 700 µg/kg. Kvoten mellan högsta och lägsta var i klassen mellan med ett värde på 25. Kopparhalten varierar ganska lite mellan de fyra kategorierna av bergarter, och ligger mellan 10 000 till 50 000 µg/kg för samtliga. Dock finns ett undantag - gnejs i kategorin metamorfa bergarter har en kopparhalt på 96 300 µg/kg.

Bly har ett medelvärde på 21 300 µg/kg. Kvoten mellan högsta och lägsta var i klassen mellan med ett värde på 47. Bly ligger jämnt fördelat upp till 30 000 µg/kg, med två undantag som har de dubbla halterna: Kvartsit i gruppen metamorfa bergarter ligger på 70 mg/kg och Uddevallaprovet i gruppen magmatiska bergarter på 71 mg/kg.

Nickel har ett medelvärde på 19 800 µg/kg. Kvoten mellan högsta och lägsta var i klassen mellan med ett värde på 15. Gruppen metamorfa bergarter har ett (signifikant?) högre medelvärde än gruppen magmatiska bergarter.

Arsenik har ett medelvärde på 9 870 µg/kg. Alla proverna ligger under 10 000 µg/kg utom tre stycken. Om två av dessa tre (de sedimentära) räknas bort sjunker medelvärdet till 3700 µg/kg. Kvoten mellan högsta och lägsta var i klassen hög med värdet 480 vilket är det högsta kvoten i hela analysen. Om man räknar bort de sedimentära bergarterna så sjunker denna kvot till 95. De två kalksten som ingick i analysen hade totalhalter av Arsenik på 23 700 µg/kg respektive 120 000 µg/kg.

6.1.3 Metaller med medeltotalhalter under 5 000 µg/kg

Sex metaller har medeltotalhalter under 5 000 µg/kg, nämligen selen, tenn, molybden, antimon, kadmium och kvicksilver. För fem av dessa metaller (Tenn undantaget) så är halterna för en del av proverna också under bestämbarhetsgränsen för den använda utrustningen, varför medelvärden etc inte kan betraktas på samma sätt som för andra metaller.

Selen har en bestämbarhetsgräns på 500 µg/kg. Inget av proverna uppvisade halter över detta.

Tenn ligger jämnt fördelat mellan proverna upp till en halt av 8000 µg/kg. Över detta värde återfinns endast två av proven, finkornig och grovkorning granit, som har 11 100 µg/kg och 18200 µg/kg Tenn. De fyra olika bergartstyperna har ganska lika innehåll av Tenn, graniten borträknad.

Molybden ligger under bestämbarhetsgränsen (1000 µg/kg) för 7 av 23 prover. Resten ligger jämnt spridda upp till 2700 µg/kg, förutom ett enstaka värde för sedimentådergnejs som ligger på 7100 µg/kg.

Antimon ligger under bestämbarhetsgränsen (200 µg/kg) för 14 av 23 prover. Medelvärdet (som överskattas pga att värden under bestämbarhetsgränsen räknas ligga på bestämbarhetsgränsen) är 401 µg/kg vilket kraftigt dras upp av två värden – ett från gruppen sedimentära bergarter (kalksten) och ett från gruppen metamorfa bergarter (dolomit). Dessa två har värden på 1400 µg/kg och 1600 µg/kg respektive.

Kadmium ligger under bestämbarhetsgränsen (200 µg/kg) för 8 av 23 prover. Medelvärdet är 304 µg/kg (som överskattas pga att värden under bestämbarhetsgränsen räknas ligga på bestämbarhetsgränsen). 14 värden ligger mellan 200 och 500 µg/kg. Ett värde ligger betydligt över de övriga med 800 µg/kg, en gnejs ur gruppen metamorfa bergarter.

Kvicksilver ligger oftast (14 värden av 23) under bestämbarhetsgränsen på 2 µg/kg. De sju värden som ligger över bestämbarhetsgränsen är spridda upp till det högsta värdet 10 µg/kg. Om de värden som ligger under bestämbarhetsgränsen antas ligga på denna gräns så blir medelvärdet 3 µg/kg, vilket alltså är en överskattning.

6.1.4 Sammanfattning av resultat för totalhalter av spårelement

Det övergripande resultatet är att medeltotalhalterna uppmättes som högst till 1 030 000 µg/kg (Mangan) till under detektionsgränsen 2 µg/kg (kvicksilver). Det högsta enskilda värdet uppmättes till 2 350 000 µg/kg (Mn). Det är en stor spridning mellan uppmätta värden, både mellan metallerna och för samma metall i de olika bergarterna. Kvoten mellan högsta och lägsta värdet för en viss metall i bergarterna varierar mellan 4 och 480.

6.2 Skaktest SS-EN 12457-3

6.2.1 Skaktest - metallerhalter

De 23 olika bergmaterialen lakades med skaktest SS-EN 12457-3. Resultatet framgår av Tabell 9, där metallerna redovisas. Kolumnen med totalhalter visar samma värden som i Tabell 8 ovan. Mer detaljerad information om skaktesternas resultat finns i Bilaga 2.

Som framgår av tabellen är den absoluta urlakningen (i µg/kg) i skaktestet varierande. Medelvärdet gäller för de mätvärden som är *över* bestämbarhetsgränsen, och för att få en total uppfattning av mängden som en viss metall lakar ut så måste man också notera antalet prover där metallen ligger under bestämbarhetsgränsen. Antalet mätvärden som är under bestämbarhetsgränsen för en viss metall redovisas med en liten upphöjd siffra inom parentes i tabellen, för den metallen. Någon nedre absolut gräns för de urlakade metallerna är svår att redovisa eftersom för 15 av 17 metaller så redovisas någon eller några värden på metallen med ett <-tecken.

Om man tittar på medelvärdet av urlakningen så låg de två högsta värdena på 141 µg/kg för Mn (bara ett mätvärde under bestämbarhetsgränsen), och 85 µg/kg för Mo (dock bara tre värden över bestämbarhetsgränsen)..

Tabell 9. Totalhalter av metaller, urlakning med skaktest SS-EN 12457-3, samt kvoten mellan urlakat värde och totalvärde.

Table 9. Total content of metals, leaching with batch test SS-EN12457-3, and the ratio between leached amount and total amount.

Metall	Totalhalt, medelvärde ¹ (min-max) µg/kg	Urlakning, medelvärde ² L/S=10 (min- max), µg/kg	Kvot ⁴ mellan urlakning och totalinnehåll, medelvärden, %
As	9 870 (250 - 120 000)	12 (0,5 - 55)	0,12
Ba	415 000 (8 800 - 900 000)	40 (7 - 180)	0,01
Cd	359 (<200 ⁽⁸⁾ - 800)	4,5 (<3 ⁽²¹⁾ - 6)	(< 1,5)
Co	44 300 (3 200 - 110 000)	1,7 (<1,0 ⁽¹⁴⁾ - 4)	< 0,004
Cr	43 000 (6 600 - 170 000)	80 (<30 ⁽²²⁾ - 80)	< 0,19
Cu	26 700 (3 800 - 96 300)	<50 ⁽²³⁾	< 0,19
Hg	4,4 (<2 ⁽¹⁴⁾ - 10)	<15 ⁽²³⁾	-
Mn	1 030 000 (200 000 - 2 350 000)	141 (<10 ⁽¹⁾ - 1450)	< 0,014
Mo	2 050 (<1 000 ⁽⁷⁾ - 7 100)	85 (<50 ⁽²⁰⁾ - 105)	(< 4,9)
Ni	19 800 (4 000 - 60 300)	52 (<10 ⁽²⁰⁾ - 65)	< 0,26
Pb	21 300 (1 500 - 71 000)	12,5 (<10 ⁽²¹⁾ - 15)	< 0,06
Sb	660 (<200 ⁽¹³⁾ - 1600)	4,3 (<1 ⁽¹⁴⁾ - 10)	(< 1,1)
Se	<5 000 ⁽²³⁾	50 (<10 ⁽²²⁾)	-
Sn	4 270 (350 - 18200)	5,7 (<10 ⁽²⁰⁾ - 7)	< 0,13
V	- ³	28 (<1 ⁽²⁾ - 120)	-
W	204 000 (4 000 - 430 000)	7,4 (<5 ⁽¹⁸⁾ - 10)	< 0,004
Zn	70 000 (17 900 - 180 000)	58 (<50 ⁽²¹⁾ - 60)	< 0,08

¹ Medelvärdet beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen. Små upphöjda siffror inom parantes i kolumnen innebär att så många värden som siffran anger var under bestämbarhetsgränsen. För Cd så står det t ex siffran 8 efter värdet "<200", vilket innebär att 8 värden var under bestämbarhetsgränsen 200 µg/kg.

² För urlakningen i skaktestet anges medelvärdet för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall (en majoritet av fallen) hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen.

³ Vanadin, V, saknas i totalhaltsanalysen eftersom en förening mellan B och Ar som används vid ICP-MS-analysen, interfererar med V och därför gör bestämningen av denna missvisande.

⁴ Kvoterna är redovisade på följande sätt:

Om täljaren har ett <-tecken så redovisas även kvoten med detta tecken.

Om både täljare och nämnare har <-tecken, men det är bara ett fåtal i nämnaren, så redovisas kvoten med en parantes vilket betyder att den bara är en uppskattning.

Om både täljare och nämnare har stor andel <-tecken beräknas ingen kvot beroende på bristande dataunderlag.

6.2.2 Skaktest - anjoner

Förutom metaller bestämdes även halten anjoner i lakvätskan. Dessa var kloridjoner, fluoridjoner, sulfatjoner, nitratjoner och fosfatjoner. Resultatet redovisas på samma sätt som för metallerna och framgår av Tabell 10 nedan.

Tabell 10. Mängd anjoner i lakvätskan från L/S=10, skaktest..

Table 10. The amount of anions in the leachate from L/S=10, batch test.

Anjon	Urlakning, medelvärde ¹ L/S=10 (min-max), µg/kg
Kloridjoner	<50 000 ⁽²³⁾
Fluoridjoner	13 000 (<5 000 ⁽¹²⁾ – 30 000)
Sulfatjoner	98 000 (<50 000 ⁽¹⁸⁾ - 130 000)
Nitratjoner	<250 000 ⁽²³⁾
Fosfatjoner	<250 000 ⁽²³⁾

¹ Medelvärdena för urlakningen av anjoner är beräknat för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen (de små upphöjda siffrorna inom parantes).

6.2.3 Skaktest - metaller med medelhalter över 100 µg/kg

Sammanlagt var det 7 mätvärden (ej medelvärden) av 391 mätvärden som översteg 100 µg/kg och dessa redovisas i Tabell 11 nedan. Det högsta värdet var även över 1000 µg/kg, nämligen Mangan från grovkornig granit. Övriga 384 värden var under 100 µg/kg.

Tabell 11. De högsta sju mätvärdena från urlakning med skaktest.

Table 11. The seven highest values from the batch test.

Metall	Prov	Urlakning, µg/kg
Mn	Grovkornig granit, nr 03:10	1450
Mn	Uddevalla, nr 03:04	700
Ba	Kalksten, nr 01:01	180
Ba	Kvartsit, 02:04	150
V	Amfibolit, nr 02:05	120
Mn	Gråvacka, nr 02:06	110
Mo	Kvartsit, nr 02:04	105

6.2.4 Skaktest - metaller – relativ urlakning

Den relativa utlakningen (alltså kvoten mellan urlakad mängd och totalhalt) varierade mellan <0,004 % (Wolfram) till <4,9 % (Molybden), se kolumnen längst till höger i Tabell 9 ovan. Ofta anges den nedre gränsen av urlakning, och ibland även för totalhalt,

med ett <-tecken vilket medför att den relativa utlakningen får ett <- eller >-tecken. Se fotnoten till tabellen för vidare förklaring. En generell slutsats är att bergmaterialen lakade ut i storleksordningen (mindre än) någon eller några tiondels procent för de flesta metallerna.

6.3 Perkolationstest

6.3.1 Perkolationstest - metallerhalter

Bergmaterialen lakades också med perkolationstest SIS-CEN/TS 14405:2004. Dock gjordes ett urval av bergmaterial på 10 st av de 23 som hade genomgått skaktest. Urvalet gjordes så representativt som möjligt. Följande bergmaterial valdes ut för perkolationstest:

- Kalksten, nr 01:01
- Dolomit, nr 02:01
- Skiffer, nr 02:02
- Sedimentådergnejs, nr 02:03
- Kvartsit, nr 02:04
- Amfibolit, nr 02:05
- Gråvacka, nr 02:06
- Älvdalsporfyr, nr 03:05
- Granit finkornig, nr 03:09
- Riksväg 40, nr 04:01

Resultatet av perkolationstest framgår av Tabell 12 nedan, där metallerna redovisas. Kolumnen med totalhalter visar samma värden som i Tabell 8 ovan. Mer detaljerad information om perkolationstesternas resultat finns i Bilaga 4.

Medelvärdet gäller för de mätvärden som är *över* bestämbarhetsgränsen, och för att få en total uppfattning av mängden som en viss metall lakar ut så måste man också notera antalet prover där metallen ligger under bestämbarhetsgränsen. Antalet mätvärden som är under bestämbarhetsgränsen för en viss metall redovisas med en liten upphöjd siffra inom parantes i tabellen.

Liksom för skaktestet så varierar medelvärdet av den absoluta urlakningen (i $\mu\text{g}/\text{kg}$) för perkolationstestet. De tre högsta medelvärdena var 173 $\mu\text{g}/\text{kg}$ för Ba (med fyra värden under bestämbarhetsgränsen), 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$ för Mn (med fem värden under bestämbarhetsgränsen) och 78 $\mu\text{g}/\text{kg}$ för Mo (med fem värden under bestämbarhetsgränsen).

Tabell 12. Totalhalter av metaller, urlakning med perkolationstest SIS-CEN/TS 14405:2004, samt kvoten mellan urlakat värde och totalvärde.

Table 12. Total content of metals, leaching with perkolation test SIS-CEN/TS 14405:2004, and the ratio between leached amount and total amount

Metal l	Totalhalt, medelvärde¹ (min-max), µg/kg	Urlakning, medelvärde², L/S=10, (min-max), µg/kg²	Kvot⁴ mellan urlakning och totalinnehåll, medelvärden. %
As	9 870 (250 – 120 000)	46 (<10 ⁽³⁾ -100)	<0,46
Ba	415 000 (8 800 – 900 000)	173 (<30 ⁽⁴⁾ -500)	<0,042
Cd	304 (<200 ⁽⁸⁾ - 800)	<10⁽¹⁰⁾	(< 3,3)
Co	44 300 (3 200 – 110 000)	2,5 (<1 ⁽⁸⁾ -3)	<0,006
Cr	43 000 (6 600 – 170 000)	<50⁽¹⁰⁾	<0,12
Cu	26 700 (3 800 – 96 300)	<100⁽¹⁰⁾	<0,38
Hg	3 (<2 ⁽¹⁴⁾ - 10)	<20⁽¹⁰⁾	-
Mn	1 030 000 (200 000 – 2 350 000)	150 (<30 ⁽⁵⁾ -270)	<0,02
Mo	1 730 (<1 000 ⁽⁷⁾ – 7 100)	78 (<50 ⁽⁵⁾ -100)	(< 4,5)
Ni	19 800 (4 000 – 60 300)	<150⁽¹⁰⁾	<0,76
Pb	21 300 (1 500 – 71 000)	<10⁽¹⁰⁾	<0,05
Sb	400 (<200 ⁽¹³⁾ - 1600)	13 (<5 ⁽⁶⁾ -20)	(<3,1)
Se	<5 000⁽²³⁾	<30⁽¹⁰⁾	-
Sn	4 270 (350 - 18200)	<50⁽¹⁰⁾	<1,2
V	-³	31 (<3 ⁽¹⁾ -100)	-³
W	204 000 (4 000 - 430 000)	15 (<5 ⁽⁸⁾ -20)	<0,007
Zn	70 000 (1 790 - 180 000)	<500⁽¹⁰⁾	<0,71

¹ Medelvärdet beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen. Små upphöjda siffror inom parantes i kolumnen innebär att så många värden som siffran anger var under bestämbarhetsgränsen. För Cd så står det t ex siffran 8 efter värdet ”<200”, vilket innebär att 8 värden var under bestämbarhetsgränsen 200 µg/kg.

² För urlakningen i perkolationstestet anges medelvärdet för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall (en majoritet av fallen) hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen.

³ Vanadin, V, saknas i totalhaltsanalysen eftersom en förening mellan B och Ar som används vid ICP-MS-analysen, interfererar med V och därför gör bestämningen av denna missvisande.

⁴ Kvoterna är redovisade på följande sätt:

Om täljaren har ett <-tecken så redovisas även kvoten med detta tecken.

Om både täljare och nämnare har <-tecken, men det är bara ett fåtal i nämnaren, så redovisas kvoten med en parantes vilket betyder att den bara är en uppskattning.

Om både täljare och nämnare har stor andel <-tecken beräknas ingen kvot beroende på bristande dataunderlag.

6.3.2 Perkolationstest - anjoner

Förutom metaller bestämdes även halten anjoner i lakvätskan. Dessa var kloridjoner, fluoridjoner, sulfatjoner, nitratjoner och fosfatjoner. Resultatet redovisas på samma sätt som för metallerna och framgår av Tabell 13 nedan.

Tabell 13. Mängd anjoner i lakvätskan från L/S=10, perkolationstest.

Table 13. The amount of anions in the leachate, L/S=10, percolation test

Anjon	Urlakning, medelvärde ¹ L/S=10 (min-max), µg/kg
Kloridjoner	<50 000 ⁽¹⁰⁾
Fluoridjoner	19 000 (<10 000 ⁽⁶⁾ – 20 000)
Sulfatjoner	<250 000 ⁽¹⁰⁾
Nitratjoner	<50 000 ⁽¹⁰⁾
Fosfatjoner	<10 000 ⁽¹⁰⁾

¹ Medelvärden för urlakningen av anjoner är beräknat för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen (de små upphöjda siffrorna inom parantes).

6.3.3 Perkolationstest – metallerhalter över 100 µg/kg

Sammanlagt var det 9 mätvärden (ej medelvärden) av 170 (10 material, 17 metaller) mätvärden som låg på 100 µg/kg eller högre och dessa redovisas i Tabell 14 nedan.

Övriga 161 värden var under 100 µg/kg.

Tabell 14. De högsta nio mätvärdena från urlakning med perkolationstest.

Table 14. The nine highest values from leaching with percolation test.

Metall	Prov	Urlakning, µg/kg
Ba	Kvartsit, nr 02:04	500
Ba	Kalksten, nr 01:01	380
Mn	Gråvacka, nr 02:06	270
Mn	Älvdalsporfyr, nr 03:05	130
Mn	Finkornig granit	100
Mn	Sedimentådergnejs	100
As	Kvartsit	100
As	Gråvacka	100
Mo	Kvartsit	100

6.3.4 Perkolationstest – metaller – relativ urlakning

Den relativa urlakningen (alltså kvoten mellan urlakad mängd och totalhalt) varierade mellan <0,007 ‰ (Wolfram) till <4,5 ‰ (Molybden), vilket framgår av kolumnen längst till höger i Tabell 12 ovan. Ofta anges den nedre gränsen av utlakning, och ibland även för totalhalt, med ett <-tecken vilket medför att den relativa utlakningen får ett <- eller >-tecken. Se fotnoten till tabellen för vidare förklaring. En generell slutsats är att bergmaterialen lakade ut i storleksordningen (mindre än) någon eller några tiondels procent för de flesta metallerna.

6.4 Semikvantitativ analys, skaktest och perkolationstest

På lakvätskan från skak- och perkolationstest utfördes även en semikvantitativ analys av 47 olika metaller. Denna utfördes separat från analysen av de redan redovisade 17 metallerna och 5 anjonerna. Resultatet av den semikvantitativa analysen för bergmaterialen redovisas i detalj i Bilaga 3 (skaktest) och Bilaga 5 (perkolationstest). Ett sammandrag av resultatet från skaktestet visas dessutom i Tabell 15 nedan.

Tabell 15. Resultat i sammandrag från den semikvantitativa scannen av lakvätskan efter skaktest av bergproverna, L/S=10, µg/kg

Table 15 Summary of result from the semiquantitative analysis of the leaching fluid after the shaking test of the natural aggregate, L/S=10, µg/kg

Metall	Medel-värde	Bestäm-barhets-gräns	Antal värden över bestäm-barhets-gränsen	Antal värden under bestäm-barhets-gränsen	Metall	Medel-värde	Bestäm-barhets-gräns	Antal värden över bestäm-barhets-gränsen	Antal värden under bestäm-barhets-gränsen
Ag	3	2	1	22	Na	6976	-	23	0
Al	3560	30	21	2	Nb	0,71	0,2	14	9

Au	0,89	0,5	11	11	Nd	3,68	0,5	16	7
B	60	10	13	10	Pd	0,60	0,5	2	21
Be	<0,1	0,1	0	23	Pr	1,32	0,2	14	9
Bi	0,65	0,05	3	20	Pt	<2	2	1	22
Ca	21600	-	23	0	Rb	33	-	23	0
Ce	12	2	14	9	Re	0,10	0,05	1	22
Cs	1,2	0,3			Rh	<0,05	0,05	0	23
Ge	<2	2	0	23	Ru	<0,05	0,05	0	23
Dy	1,44	0,1	13	10	Sc	16	10	15	8
Er	0,30	0,05	14	9	Sm	0,76	0,2	13	10
Eu	0,23	0,1	4	19	Sr	89	-	23	0
Fe	775	50	22	1	Tb	0,15	0,1	8	15
Ga	5,70	0,5	20	3	Te	<0,1	0,1	0	23
Gd	0,71	0,1	16	7	Th	3,7	0,5	13	10
Hf	0,13	0,05	16	7	Ti	169	-	23	0
Ho	0,12	0,05	9	14	Tl	0,18	0,1	4	19
Ir	<0,1	0,1	0	23	Tm	0,07	0,05	5	18
K	12300	-	23	0	U	9,24	0,5	20	3
La	6,9	2	12	11	Y	1,90	0,1	21	2
Li	26	1	22	1	Yb	0,26	0,05	15	8
Lu	0,06	0,01	9	14	Zr	2,40	0,5	22	1
Mg	6360	-	23	0					

Som synes av ovanstående tabell så kan resultatet delas in i två grupper där ämnena Al, Ca, Fe, K, Mg och Na utgör den ena gruppen och förekommer i halter från ca 1000 µg/kg till ca 20 000 µg/kg. Den andra gruppen är resterande ämnen och dessa förekommer från nivån icke bestämbar upp till ca 200 µg/kg. För 6 av 47 undersökta metaller blev resultatet sådant att halten låg under bestämbarhetsgränsen för de metallerna.

6.5 Bergmaterial – redovisning per bergartstyp

Detta avsnitt innehåller samma data som de tidigare avsnitten om bergmaterial men siffrorna i detta avsnitt redovisas utgående från kategori av bergart. Fyra olika kategorier av har analyserats sedimentära, metamorfa, magmatiska och berg i väglinjen. På samma sätt som tidigare redovisas resultat från totalhaltsanalys, skaktest och perkolationstest.

6.5.1 Totalhalter

Totalhalterna av metaller framgår av Tabell 16 ovanstående för respektive kategori av berg. I de fall som den analyserade halten understeg bestämbarhetsgränsen så framgår det av tabellen.

Tabell 16 Totalhalter av metaller uppdelat på de fyra olika kategorierna av berg som ingick i projektet. Totalt analyserades 23 st prov.

Table 16. Total content of metals presented for the four different types of rock included in the project. Overall, 23 samples were analyzed.

Metall	Sedimentära (2st)		Metamorfa (10st)		Magmatiska (7st)		Berg väglinje (4st)	
	Medelvärde ¹ µg/kg ²	Bestämbarhetsgrän ^s ²	Medelvärde ¹ µg/kg ²	Bestämbarhetsgrän ^s ²	Medelvärde ¹ µg/kg ²	Bestämbarhetsgrän ^s ²	Medelvärde ¹ µg/kg ²	Bestämbarhetsgrän ^s ²
As	71 800		6 230		2 370		1 120	
Ba	89 400		345 000		491 000		617 000	
Cd	360		448	200 ⁽⁵⁾	290	200 ⁽¹⁾	300	200 ⁽²⁾
Co	34 800		39 200		56 800		40 000	
Cr	23 400		64 400		15 400		47 500	
Cu	12 000		34 600		24 200		18 700	
Hg	8		2,9	2 ⁽⁴⁾	2,4	2 ⁽⁶⁾	<2	2 ⁽⁴⁾
Mn	2 190 000		993 000		561 000		1 340 000	
Mo	1 500	1000 ⁽¹⁾	2 340	1000 ⁽⁵⁾	2 014		1 833	1000 ⁽¹⁾
Ni	27 200		23 700		9 470		24 500	
Pb	4 700		19 200		31 800		16 700	
Sb	875		870	200 ⁽⁶⁾	350	200 ⁽³⁾	200	200 ⁽⁴⁾
Se	5 000	5000 ⁽²⁾	5 000	5000 ⁽¹⁰⁾	5 000	5000 ⁽⁷⁾	5 000	5000 ⁽⁴⁾
Sn	1 740		3 240		6 890		3 500	
W	7 350		145 000		286 000		305 000	
Zn	20 050		85 900		51 400		87 500	

¹ Medelvärdet beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen.

² Små upphöjda siffror inom parantes i denna kolumn innebär att så många värden som siffran anger var under bestämbarhetsgränsen. För Cd så står det t ex siffran 5 efter värdet "<200" i kategorin Metamorfa bergarter, vilket innebär att 5 värden var under bestämbarhetsgränsen 200 µg/kg.

I ovanstående tabell finns ett värde som är av särskilt stort intresse, och det är halten arsenik i de sedimentära bergarterna. En närmare analys av rådata ger att de bergarter som kan räknas som kalksten eller liknande, dvs 1.1 kalksten, 1.2 kalksten kristallin samt 2.1 dolomit har anmärkningsvärt höga halter av arsenik (23700, 120000 resp 7100 µg/kg). I just dessa prover är totalhalterna av särskilt intresse. Dessa bergarter används nämligen för kalkningsändamål, både för sjöar och vattendrag och för t ex jordbruksmark. För att utöva sin kalkverkan krävs att kalkningsmedlet löses upp fullständigt, vilket innebär att hela innehållet av exempelvis arsenik kommer ut i

omgivande vattendrag eller markvatten inom loppet av några år, i sammanhanget en kort tidsrymd.

Det är naturligtvis intressant om det skulle vara så att sjö- och jordbrukskalk skulle innehålla avsevärt lägre halter arsenik än annat svenskt berg. Arsenik är dessutom ett ämne som inte behöver mätas enligt NFS2001:18 [24]. SP sökte därför, och fick, ett projekt för att göra en semi-kvantitativ scan av 6 svenska kalkningsmedel. Det högsta värdet, 120 µg/kg, kunde dock inte upprepas.

6.5.2 Skaktest – metaller och anjoner

Resultatet av skaktest SS-EN 12457-3 framgår av Tabell 17 nedan, för respektive kategori av berg. I de fall som den analyserade halten understeg bestämbarhetsgränsen så framgår det av tabellen.

Tabell 17. Urlakning av metaller och anjoner med skaktest SS-EN 12457-3, L/S=10, uppdelat på de fyra olika kategorierna av berg som ingick i projektet.

Table 17. Leaching of metals and anions with batch test SS-EN 12457-3, L/S=10, presented for the four different types of rock included in the project.

Metall	Sedimentära (2st)		Metamorfa (10st)		Magmatiska (7st)		Berg väglinje (4st)	
	L/S=10 Medel- värde ¹ µg/kg ²	Bestä- mbarh etgrän s ²	Medel- värde ¹ µg/kg ²	Bestäm- barhet gräns ²	Medel- värde ¹ µg/kg ²	Bestä- mbarh etgrän s ²	Medel- värde ¹ µg/kg ²	Bestäm- barhets- gräns ²
As	13	-	20	-	4,8	-	1,5	-
Ba	100	-	48	-	20	-	22	-
Cd	<3	3 ⁽²⁾	<3	3 ⁽¹⁰⁾	6	3 ⁽⁶⁾	<3	3 ⁽⁴⁾
Co	2	1 ⁽¹⁾	1,6	1 ⁽⁶⁾	2	1 ⁽⁶⁾	1	1 ⁽¹⁾
Cr	<30	30 ⁽²⁾	80	30 ⁽⁹⁾	<30	30 ⁽⁷⁾	<30	30 ⁽⁴⁾
Cu	<50	50 ⁽²⁾	<50	50 ⁽¹⁰⁾	<50	50 ⁽⁷⁾	<50	50 ⁽⁴⁾
Hg	<15	15 ⁽²⁾	<15	15 ⁽¹⁰⁾	<15	15 ⁽⁷⁾	<15	15 ⁽⁴⁾
Mn	55	10 ⁽¹⁾	41	-	341	-	65	-
Mo	90	50 ⁽¹⁾	83	50 ⁽⁸⁾	<50	5 ⁽⁷⁾	<50	5 ⁽⁴⁾
Ni	<10	10 ⁽²⁾	52	10 ⁽⁷⁾	<10	10 ⁽⁷⁾	<10	10 ⁽⁴⁾
Pb	<10	10 ⁽²⁾	5,0	1 ⁽⁸⁾	<10	10 ⁽⁷⁾	<10	10 ⁽⁴⁾
Sb	6,0	-	3,7	1 ⁽⁴⁾	5	1 ⁽⁶⁾	<1	1 ⁽⁴⁾
Se	<10	10 ⁽²⁾	<10	10 ⁽¹⁰⁾	50	10 ⁽⁶⁾	<10	10 ⁽⁴⁾
Sn	<5	5 ⁽²⁾	<5	5 ⁽¹⁰⁾	7	0,5 ⁽¹⁾	<5	5 ⁽⁴⁾
V	6	-	34	-	17	-	35	-
W	6	5 ⁽¹⁾	7	5 ⁽⁷⁾	10	5 ⁽⁶⁾	<5	5 ⁽⁴⁾

Zn	<50	50 ⁽²⁾	<50	50 ⁽¹⁰⁾	55	50 ⁽⁶⁾	60	50 ⁽³⁾
	mg/kg							
Cl⁻	<50	50 ⁽²⁾	<50	50 ⁽¹⁰⁾	<50	50 ⁽⁷⁾	<50	50 ⁽⁴⁾
F⁻	<5	5 ⁽²⁾	8,5	5 ⁽⁸⁾	12	5 ⁽²⁾	22	5 ⁽²⁾
SO₄²⁻	130	50 ⁽¹⁾	95	50 ⁽⁸⁾	70	50 ⁽⁶⁾	<50	50 ⁽⁴⁾
NO₃⁻	<250	250 ⁽²⁾	<250	250 ⁽¹⁰⁾	<250	250 ⁽⁷⁾	<250	250 ⁽⁴⁾
PO₄⁻	<250	250 ⁽²⁾	<250	250 ⁽¹⁰⁾	<250	250 ⁽⁷⁾	<250	250 ⁽⁴⁾

¹ Medelvärde beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen.

² Små upphöjda siffror inom parentes i denna kolumn innebär att så många värden som siffran anger var under bestämbarhetsgränsen. För Cd så står det t ex siffran 10 efter värdet ”3” i kategorin Metamorfa bergarter, vilket innebär att 10 värden var under bestämbarhetsgränsen 3 µg/kg.

6.5.3 Perkolationstest – metaller och anjoner

Perkolationstestet gjordes för totalt 10 olika bergprover (1 sedimentär, 6 metamorfa, 2 magmatiska och 1 för Rv40). Det är inte meningsfullt att göra en tabell med medelvärden för respektive bergart eftersom i hälften av grupperna (sedimentära och Rv 40) så har bara 1 perkolationstest utförts. Resultatet av perkolationstestet framgår av Bilaga 5.

6.5.4 Berg i väglinjen

Proverna som benämns Rv 40 är tagna nära varandra utmed en utvald sträcka av riksväg 40. Detta innebär att de är av samma typ av berg. Genom att studera dessa fyra prover fås en uppfattning av spridningen av resultaten inom en samma bergtyp. Nedanstående två tabeller visar totalhalten och resultatet för skaktestet för dessa fyra prover.

Perkolationstest utfördes enbart på ett av dessa fyra prover varför motsvarande jämförelse för perkolationstest inte kan utföras. Resultatet för perkolationstestet på prov Rv40:1 återfinns i Bilaga 4.

Tabell 18. Översikt över totalhalt för prover från riksväg 40, µg/kg

Table 18. Overview of the total content in samples from highway 40, µg/kg

Provrnr /ämne	Rv40:1	Rv40:2	Rv40:3	Rv40:4
Arsenik	1 000	1 500	1 000	1 000
Barium	800 000	800 000	670 000	200 000
Kadmium	< 200	300	< 200	300
Kobolt	30 000	50 000	40 000	40 000
Krom	40 000	20 000	90 000	40 000
Koppar	20 000	10 000	25 000	20 000
Kvicksilver	< 2	< 2	< 2	< 2
Mangan	1 000 000	1 400 000	940 000	2 000 000
Molybden	< 1 000	1 500	2 000	2 000
Nickel	20 000	8 000	40 000	30 000
Bly	14 000	20 000	16 000	17 000
Antimon	< 200	< 200	<200	<200
Selen	< 5 000	< 5 000	<5 000	<5 000
Tenn	4 200	2 800	2 400	4 600
Wolfram	270 000	370 000	270 000	310 000

Zink	60 000	80 000	50 000	160 000
-------------	--------	--------	--------	---------

Tabell 19. Översikt över resultatet från skaktest för prover från riksväg 40, µg/kg

Table 19. Overview of the result from the batch test from the samples from highway 40, µg/kg

Provnr /ämne	Rv40:1	Rv40:2	Rv40:3	Rv40:4	Best gräns
As	2	2	1	1	1
Ba	30	20	20	20	5
Cd	3	<3	<3	<3	3
Co	1	1	1	<1	1
Cr	<30	<30	<30	<30	30
Cu	<50	<50	<50	<50	50
Hg	<15	<15	<15	<15	15
Mn	40	80	50	90	10
Mo	<50	<50	<50	<50	50
Ni	<10	<10	<10	<10	10
Pb	<10	<10	<10	<10	10
Sb	<1	<1	<1	<1	1
Se	<10	<10	<10	<10	10
Sn	<5	<5	<5	<5	5
V	50	30	30	30	1
W	<5	<5	<5	<5	5
Zn	<50	<50	60	<50	50
	mg/kg				
Cl-	<50	<50	<50	<50	50
F-	<5	<5	14	30	5
SO4	<50	<50	<50	<50	50
NO3	<250	<250	<250	<250	250
PO4	<250	<250	<250	<250	250

7 Moräner

Detta avsnitt innehåller resultaten för moränerna. Redovisningen är uppdelad på varje metall och anjon.

Fukttinnehållet i proverna framgår av Tabell 20 nedan, som visar att fukten varierade från icke mätbart till som högst 3,2 % för moränen från Vingåker. Detta högsta värde var mer än dubbelt så högt som den morän med näst högst fukthalt, vilket var moränen från Borås med 1,4 %.

Tabell 20. Innehåll av fukt i de olika moränerna

Table 20. Content of moisture in the different types of tills

Morän	Fukt, %	Morän	Fukt, %
Västerås	0,9	Lenhovda	0,7
Hallstahammar	<0,1	Skillingaryd	0,5
Fellingsbro	0,9	Borås	1,4
Hallsberg	0,9	Falköping	1,3
Finnspång	0,6	Götene	1,1
Vadstena	1,2	Karlsborg	0,4
Tranås	0,7	Vingåker	3.2
Nässjö	1,3		

7.1 Totalhalt

Av Tabell 21 nedan framgår medelvärden mm för metallerna i moränproverna. Kolumnen längst till höger med kvoten mellan högsta och lägsta värdet skall ge en bild av spridningen mellan proven för en och samma metall. Mer detaljerad information om totalhalterna finns i Bilaga 6.

Tabell 21. Totalhalter av metaller i moränproverna. Totalt analyserades 15 prov

Table 21. Total content of metals in the tills samples. Overall, 15 samples were analyzed.

	Medel- värde ¹ µg/kg	Lägsta värde, µg/kg	Högsta värde, µg/kg	Bestäm- barhet- gräns ²	Standard- avvikelse	Median	Kvot (högsta/ lägsta)
As	4 400	2 500	12 000	300	6 300	1500	5
Ba	450 000	260000	1 110 000	500	198 000	390 000	4
Cd	190	110	340	50	68	180	3
Co	6 200	2700	12 000	100	2 600	5 400	4
Cr	116 000	34000	330 000	1700	88 800	91 000	10
Cu	11 600	4700	24 000	1500	6 100	9 000	5
Hg	11	3	65	2	15	6	22
Mn	502 000	220000	1 270 000	4500	298 000	430 000	6
Mo	5 400	290	31 000	400	7 600	3 100	107

Ni	13 400	3400	29 000	1500	7 100	12 500	9
Pb	14 600	6800	25 000	700	4 800	14 000	4
Sb	510	200	930	200 ⁽⁶⁾	250	330	5
Se	< 2 500	-	-	500 ⁽¹⁵⁾	0	2 500	1
Sn	1 600	700	3 800	500 ⁽³⁾	800	1 350	5
W	3 900	1100	12 000	500	3 000	3 000	11
V	51 000	21000	140 000	150	29 800	42 000	7
Zn	58 000	29000	81 000	16 000	16 000	56 000	3

¹ Medelvärde beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen.

² En upphöjd siffra inom parentes efter angivelse av bestämbarhetsgränsen visar hur många värden som var under denna gräns.

7.1.1 Metaller med medeltotalhalter över 40 000 µg/kg

Sex metaller har medeltotalhalter över 40 000 µg/kg i bergmaterialen, nämligen Barium, Krom, Mangan, Vanadin och Zink.

7.1.2 Metaller med medeltotalhalter mellan 5 000 och 40 000 µg/kg

Fem metaller har medeltotalhalter mellan 5000 µg/kg och 40 000 µg/kg, nämligen Kobolt, Koppar, Molybden, Nickel och Bly.

7.1.3 Metaller med medeltotalhalter under 5 000 µg/kg

Sju metaller har medeltotalhalter under 5000 µg/kg, nämligen Arsenik, Kadmium, Kvicksilver, Antimon, Selen, Tenn och Wolfram.

7.1.4 Resultat totalinnehåll metaller

Det övergripande resultatet är att medeltotalhalterna uppmättes som högst till 502 000 µg/kg (Mangan) till under detektionsgränsen 2 µg/kg (kvicksilver). Det högsta enskilda värdet uppmättes till 1 270 000 µg/kg (Mn). Det är en stor spridning mellan uppmätta värden, både mellan metallerna och för samma metall i de olika bergarterna. Kvoten mellan högsta och lägsta värdet för en viss metall i moränproverna varierar mellan 3 och 107.

7.2 Skaktest

7.2.1 Skaktest - metallhalter

De 15 olika moränproverna lakades med skaktest SS-EN 12457-3. Resultatet framgår av Tabell 22 nedan där metallerna redovisas. Kolumnen med totalhalter visar samma värden som i Tabell 21 ovan. Mer detaljerad information om skaktesternas resultat finns i Bilaga 7.

Som framgår av tabellen är den absoluta urlakningen (i µg/kg) i skaktestet varierande. Medelvärdet gäller för de mätvärden som är *över* bestämbarhetsgränsen, och för att få

en total uppfattning av mängden som en viss metall lskar ut så måste man också notera antalet prover där metallen ligger under bestämbarhetsgränsen. Antalet mätvärden som är under bestämbarhetsgränsen för en viss metall redovisas med en liten upphöjd siffra inom parentes i tabellen, för den metallen. Någon nedre absolut gräns för de urlakade metallerna är svår att redovisa eftersom för 15 av 17 metaller så redovisas någon eller några värden på metallen med ett <-tecken.

Tabell 22. Totalhalter av metaller, urlakning med skaktest SS-EN 12457-3, samt kvoten mellan urlakat värde och totalvärde.

Table 22. Total content of metals, leaching with batch test SS-EN12457-3, and the ratio between leached amount and total amount.

Metal l	Totalhalt, medelvärde¹ (min-max) µg/kg	Urlakning, medelvärde² L/S=10 (min-max), µg/kg	Kvot mellan urlakning och totalinnehåll, medelvärden, %
As	4 400 (2 500 - 12 000)	18 (<0,5 ⁽¹²⁾ - 30)	<0,41
Ba	450 000 (260000 - 1 110 000)	131 (30 - 475)	0,03
Cd	190 (110 - 340)	13 (<3 ⁽¹³⁾ - 22)	<6,6
Co	6 200 (2700 - 12 000)	10 (<1 ⁽¹⁾ - 40)	<0,15
Cr	116 000 (34000 - 330 000)	<30 ⁽¹⁵⁾	<0,03
Cu	11 600 (4700 - 24 000)	70 (<50 ⁽¹⁴⁾ - 70)	<0,60
Hg	11 (3 - 65)	<15 ⁽¹⁵⁾	-
Mn	502 000 (220000 - 1 270 000)	600 (40 - 4110)	0,12
Mo	5 400 (290 - 31 000)	190 (<50 ⁽¹⁴⁾ - 190)	<3,5
Ni	13 400 (3400 - 29 000)	38 (<10 ⁽¹⁰⁾ - 65)	<0,28
Pb	14 600 (6800 - 25 000)	<10 ⁽¹⁵⁾	<0,07
Sb	510 (<200 ⁽⁶⁾ - 930)	2 (<1 ⁽¹²⁾ - 4)	(<0,39)
Se	< 2 500 ⁽¹⁵⁾	<10 ⁽¹⁵⁾	-
Sn	1 600 (<700 ⁽³⁾ - 3 800)	<5 ⁽¹⁵⁾	<0,32
V	3 900 (1100 - 12 000)	7 (<1 ⁽⁴⁾ - 30)	<0,01
W	51 000 (21000 - 140 000)	<5 ⁽¹⁵⁾	<0,13
Zn	58 000 (29000 - 81 000)	238 (<50 ⁽⁷⁾ - 645)	<0,41

¹ Medelvärdet beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen. Små upphöjda siffror inom parentes i kolumnen innebär att så många värden som siffran anger var under bestämbarhetsgränsen. För Sn så står det t ex siffran 3 efter värdet "<700", vilket innebär att 3 värden var under bestämbarhetsgränsen 700 µg/kg.

² För urlakningen i skaktestet anges medelvärdet för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall (en majoritet av fallen) hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen.

⁴ Kvoterna är redovisade på följande sätt:

Om täljaren har ett <-tecken så redovisas även kvoten med detta tecken.

Om både täljare och nämnare har <-tecken, men det är bara ett fåtal i nämnaren, så redovisas kvoten med en parantes vilket betyder att den bara är en uppskattning.

Om både täljare och nämnare har stor andel <-tecken beräknas ingen kvot beroende på bristande dataunderlag.

7.2.2 Skaktest – anjonhalter

Förutom metaller så gjordes också analys av mängden anjoner i lakvätskan. Dessa var kloridjoner, fluoridjoner, sulfatjoner, nitratjoner och fosfatjoner. Resultatet redovisas på samma sätt som för metallerna och framgår av Tabell 23 nedan.

Tabell 23. Mängd anjoner i lakvätskan från L/S=10, skaktest.

Table 23. The amount of anions in the leachate from L/S=10, batch test

Anjon	Urlakning, medelvärde ¹ L/S=10 (min-max), µg/kg
Kloridjoner	<50 000 ⁽¹⁵⁾
Fluoridjoner	<5 000 ⁽¹⁵⁾
Sulfatjoner	96 000 (<50 000 ⁽¹¹⁾ -150 000)
Nitratjoner	<250 000 ⁽¹⁵⁾
Fosfatjoner	<250 000 ⁽¹⁵⁾

¹ Medelvärden för urlakningen av anjoner är beräknat för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen (de små upphöjda siffrorna inom parantes).

7.2.3 Skaktest – metaller – högsta värden

Sammanlagt var det 26 mätvärden (ej medelvärden) av 255 (15 prov och 17 metaller) som översteg 100 µg/kg och dessa redovisas i Tabell 24 nedan. Två värden var även över 2000 µg/kg, nämligen Mangan från prov Lenhovda och från prov Borås. Övriga 229 värden var under 100 µg/kg.

Tabell 24. De 26 högsta mätvärdena från urlakning med skaktest.

Table 24. The 26 highest values from the batch test.

Metall	Prov	Urlakning, µg/kg
Mn	13 av 15 prov (1-5; 7-9; 11-15)	4110; 1670; 645; 590; 270; 250; 250; 240; 240; 220; 170; 120
Zn	7 av 15 prov (2-4; 7; 9; 11; 14)	645; 330; 275; 200; 150; 130; 110
Ba	5 av 15 prov (3-4; 9; 11; 14)	475; 375; 260; 250; 105
Mo	1 av 15 prov (6)	190

7.2.4 Skaktest – metaller – relativ urlakning

Den relativa utlakningen (alltså kvoten mellan urlakad mängd och totalhalt) varierade mellan <0,01 % (Vanadin) till <6,6 % (Kadmium), se kolumnen längst till höger i Tabell 22 ovan. Ofta anges den nedre gränsen av utlakning, och ibland även för totalhalt, med ett <-tecken vilket medför att den relativa utlakningen får ett <- eller >-tecken. Se fotnoten till tabellen för vidare förklaring. En generell slutsats är att moränerna lakade ut i storleksordningen (mindre än) någon eller några tiondels procent för de flesta metallerna.

7.3 Perkolationstest

7.3.1 Perkolationstest - metallhalter

Moränproverna lakades också med perkolationstest SIS-CEN/TS 14405:2004. Dock gjordes ett urval av bergmaterial på 7 st av de 15 som hade genomgått skaktest. Urvalet gjordes av SGU och så representativt som möjligt. Följande moräner valdes ut för perkolationstest:

- Hallstahammar, nr 2
- Hallsberg, nr 4
- Finnsång, nr 5
- Vadstena, nr 6
- Nässjö, nr 8
- Lenhovda, nr 9
- Falköping, nr 12

Resultatet av perkolationstest framgår av Tabell 25 nedan, där metallerna redovisas. Kolumnen med totalhalter visar samma värden som i Tabell 21 ovan. Mer detaljerad information om perkolationstesternas resultat finns i Bilaga 9.

Medelvärdet gäller för de mätvärden som är *över* bestämbarhetsgränsen, och för att få en total uppfattning av mängden som en viss metall lakar ut så måste man också notera antalet prover där metallen ligger under bestämbarhetsgränsen. Antalet mätvärden som är under bestämbarhetsgränsen för en viss metall redovisas med en liten upphöjd siffra inom parantes i tabellen.

Liksom för skaktestet så varierar medelvärdet av den absoluta urlakningen (i µg/kg) för perkolationstestet. De två högsta medelvärdena var 1583 µg/kg för Mn, 135 µg/kg för Ba (med 2 värden under bestämbarhetsgränsen).

Tabell 25. Totalhalter av metaller, urlakning med perkolationstest SIS-CEN/TS 14405:2004, samt kvoten mellan urlakat värde och totalvärde.

Table 25. Total content of metals, leaching with perkolaton test SIS-CEN/TS 14405:2004, and the ratio between leached amount and total amount

Metal I	Totalhalt, medelvärde ¹ (min-max) µg/kg	Urlakning, medelvärde ² L/S=10	Kvot ⁴ mellan urlakning och
------------	---	--	---

		(min-max), µg/kg	totalinnehåll, medelvärden, %
As	4 400 (2 500 - 12 000)	20 (<10 ⁽⁶⁾ - 20)	<0,45
Ba	450 000 (260000 - 1 110 000)	135 (<30 ⁽²⁾ - 265)	<0,03
Cd	190 (110 - 340)	<10 ⁽⁷⁾	<5,3
Co	6 200 (2700 - 12 000)	8 (<1 ⁽⁵⁾ - 20)	<0,13
Cr	116 000 (34000 - 330 000)	<50 ⁽⁷⁾	<0,043
Cu	11 600 (4700 - 24 000)	<100 ⁽⁷⁾	<0,86
Hg	11 (3 - 65)	<20 ⁽⁷⁾	-
Mn	502 000 (220000 - 1 270 000)	1583 (50 - 4300)	0,32
Mo	5 400 (290 - 31 000)	720 (<50 ⁽⁶⁾ - 720)	<13
Ni	13 400 (3400 - 29 000)	<150 ⁽⁷⁾	<1,12
Pb	14 600 (6800 - 25 000)	<10 ⁽⁷⁾	<0,07
Sb	510 (<200 ⁽⁶⁾ - 930)	<5 ⁽⁷⁾	(<0,97)
Se	<2 500 ⁽¹⁵⁾	<30 ⁽⁷⁾	-
Sn	1 600 (<700 ⁽³⁾ - 3 800)	<50 ⁽⁷⁾	<3,2
V	3 900 (1100 - 12 000)	8 (<3 ⁽⁶⁾ - 8)	<0,016
W	51 000 (21000 - 140 000)	<5 ⁽⁷⁾	<0,13
Zn	58 000 (29000 - 81 000)	<500 ⁽⁷⁾	<0,87

¹ Medelvärdet beräknat på de värden som är över bestämbarhetsgränsen. Små upphöjda siffror inom parantes i kolumnen innebär att så många värden som siffran anger var under bestämbarhetsgränsen. För Sn så står det t ex siffran 3 efter värdet "<700", vilket innebär att 3 värden var under bestämbarhetsgränsen 700 µg/kg.

² För urlakningen i perkolationstestet anges medelvärdet för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall (en majoritet av fallen) hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen.

⁴ Kvoterna är redovisade på följande sätt:

Om täljaren har ett <-tecken så redovisas även kvoten med detta tecken.

Om både täljare och nämnare har <-tecken, men det är bara ett fåtal i nämnaren, så redovisas kvoten med en parantes vilket betyder att den bara är en uppskattning.

Om både täljare och nämnare har stor andel <-tecken beräknas ingen kvot beroende på bristande dataunderlag.

7.3.2 Perkolationstest – anjonhalter

Förutom metaller så gjordes också analys av mängden anjoner i lakvätskan. Dessa var kloridjoner, fluoridjoner, sulfatjoner, nitratjoner och fosfatjoner. Resultatet redovisas på samma sätt som för metallerna och framgår av Tabell 26 nedan.

Tabell 26. Mängd anjoner i lakvätskan från L/S=10, perkolationstest.

Table 26. The amount of anions in the leachate from L/S=10, percolation test

Anjon	Urlakning, medelvärde ¹ L/S=10 (min-max), µg/kg
Kloridjoner	<5 000 ⁽⁷⁾
Fluoridjoner	<5 000 ⁽⁷⁾
Sulfatjoner	<100 000 ⁽⁷⁾
Nitratjoner	45 000 (<30 000 ⁽⁵⁾ - 50 000)
Fosfatjoner	<5 000 ⁽⁷⁾

¹ Medelvärden för urlakningen av anjoner är beräknat för de mätvärden som var över bestämbarhetsgränsen. Siffrorna därefter visar spridningen av mätresultaten och i förekommande fall hur många mätvärden som ligger under bestämbarhetsgränsen (de små upphöjda siffrorna inom parantes).

7.3.3 Perkolationstest – metaller – högsta värden

Sammanlagt var det 10 mätvärden (ej medelvärden) av 119 (7 prov och 17 metaller) som översteg 100 µg/kg och dessa redovisas i Tabell 27 nedan. Tre värden var även över 1000 µg/kg, nämligen Mangan från prov Lenhovda, prov Hallstahammar och från prov Hallsberg. Övriga 109 mätvärden var under 100 µg/kg.

Tabell 27. De 10 högsta mätvärdena från urlakning med perkolationstest.

Table 27. The 10 highest values from the percolation test.

Metall	Prov	Urlakning, µg/kg
Mn	6 av 7 prov (2;4;5;6;8;9; 12)	4300; 4100;1600; 320; 270; 44
Ba	3 av 7 prov (4;6; 8)	265; 120; 120
Mo	1 av 7 prov	720

7.3.4 Perkolationstest – metaller – relativ urlakning

Den relativa utlakningen (alltså kvoten mellan urlakad mängd och totalhalt) varierade mellan <0,016 % (Vanadin) till <13 % (Molybden), se kolumnen långt till höger i Tabell 23 ovan. Ofta anges den nedre gränsen av utlakning, och ibland även för totalhalt, med ett <-tecken vilket medför att den relativa utlakningen får ett <- eller >-tecken. Se fotnoten till tabellen för vidare förklaring. En generell slutsats är att moränerna lakade ut i storleksordningen (mindre än) någon eller några tiondels procent för de flesta metallerna.

7.4 Semikvantitativ analys, skaktest och perkolationstest

På lakvätskan från skak- och perkolationstest utfördes även en semikvantitativ analys av 47 olika metaller. Denna utfördes separat från analysen av de redan redovisade 17 metallerna och 5 anjonerna. Resultatet av den semikvantitativa analysen för moränerna

redovisas i detalj i Bilaga 8 (skaktest) och Bilaga 10 (perkolationstest). Ett sammandrag av resultatet från skaktestet visas dessutom i Tabell 15 ovan.

Tabell 28. Resultat i sammandrag från den semikvantitativa scannen av lakvätskan efter skaktest av moränproverna, L/S=10.

Table 28. Summary of result from the semiquantitative analysis of the leaching fluid after the shaking test of the tills, L/S=10.

Metall	Medel-värde	Bestäm-barhets-gräns	Antal värden över bestäm-barhets-gränsen	Antal värden under bestäm-barhets-gränsen	Metall	Medel-värde	Bestäm-barhets-gräns	Antal värden över bestäm-barhets-gränsen	Antal värden under bestäm-barhets-gränsen
Ag	<5	5	0	15	Na	861	50	6	9
Al	4481	50	14	1	Nb	0,70	0,2	7	8
Au	<10	10	0	15	Nd	10,5	0,2	14	1
B	81	20	11	4	Pd	1,00	0,2	13	2
Be	2,8	1	4	11	Pr	3,49	0,1	14	1
Bi	<0,1	0,1	0	15	Pt	<50	0,5	0	15
Ca	1810	100	0	15	Rb	8,27	-	15	0
Ce	20,9	0,5	14	1	Re	<0,1	0,1	0	15
Cs	1,00	0,5	0	15	Rh	<0,1	0,1	0	15
Ge	2,00	0,05	14	1	Ru	<0,1	0,1	0	15
Dy	1,19	0,1	14	1	Sc	14,5	-	15	0
Er	0,79	0,1	14	1	Sm	1,68	0,1	14	1
Eu	0,39	50	14	1	Sr	44,6	-	15	0
Fe	992	0,1	8	7	Tb	0,32	0,1	13	2
Ga	0,33	0,1	14	1	Te	0,10	0,1	0	15
Gd	2,00	2	0	15	Th	0,74	0,1	11	4
Hf	0,27	0,1	0	15	Ti	82,7	5	14	1
Ho	0,26	0,02	14	1	Tl	0,20	0,1	0	15
Ir	<0,1	0,1	0	15	Tm	0,14	0,05	0	15
K	1580	100	6	9	U	2,72	0,1	13	2
La	25,5	0,5	14	1	Y	7,02	0,5	14	1
Li	3,15	1	14	1	Yb	0,74	0,05	14	1
Lu	0,14	0,1	0	15	Zr	2,66	0,5	13	2
Mg	377	25	6	9					

Som synes av ovanstående tabell så kan resultatet delas in i två grupper där ämnena Al, Ca, Fe, K, Mg och Na utgör den ena gruppen och förekommer i halter från ca 1000 µg/kg till ca 4 500 µg/kg. Den andra gruppen är resterande ämnen och dessa förekommer från nivån icke bestämbar upp till ca 100 µg/kg. För 16 av 47 undersökta ämnen var samtliga prov under bestämbarhetsgränsen.

7.5 DOC

DOC, dissolved organic carbon, analyserades för moränerna i samband med skaktest och perkolationstest. Resultatet framgår av Tabell 29 nedan.

Tabell 29. Löst organiskt kol i moränerna.

Table 29. Dissolved organic carbon in the tills

Morän	DOC, skaktest, L/S=10, mg/kg	DOC, perkolationstest, L/S=10, mg/kg
Västerås	50	-
Hallstahammar	20	20
Fellingsbro	25	-
Hallsberg	45	60
Finnsång	30	30
Vadstena	90	70
Tranås	15	-
Nässjö	15	30
Lenhovda	25	30
Skillingsryd	7	-
Borås	7	-
Falköping	12	10
Götene	20	-
Karlsborg	20	-
Vingåker	16	-

8 Resultatanalys

För att bedöma resultaten i denna rapport så är det lämpligt att titta på tidigare resultat från andra projekt. Den data som finns att tillgå är begränsad. Totalhaltsanalyser finns för en del bergmaterial. Även lakningsdata finns för bergmaterial och slagger, men då är dessa ofta utförda med metoder som skiljer sig från de nya standardiserade som använts i detta projekt, varför jämförbarheten är begränsad.

8.1 Tidigare data för bergmaterial

8.1.1 Totalhalter

En undersökning av totalhalter av spårelement i bergarter har bl a genomförts av Tossavainen 0. Nio olika bergprover undersöktes och resultatet återfinns i tabell Tabell 30 nedan. I samma tabell finns också de totalhalter som framkommit i detta projekt (samma data som från Tabell 8). Som framgår av tabellen så är det möjligt att göra jämförelser i 11 av 16 fall, beroende på att inte exakt samma metaller har analyserats i dessa båda projekt. I 7 av dessa 11 fall så ligger medelvärdet i föreliggande projekt inom intervallet i Tossavainens analyser. I övriga 4 fall så ligger medelvärdet för föreliggande projekt utanför Tossavainens intervall, men det är överlapp mellan intervallen i de båda projekten.

Alltså kan sägas att de båda projekten i stort sett kommit fram till samma resultat angående totalhalterna av metaller i svenskt berg vilket gör att trovärdigheten i siffrorna kan bedömas som god.

Tabell 30. Jämförelse av totalhaltsanalysen mellan två olika studier.

Table 30. A comparison of the total content analysis for two different studies.

	Medel- värde µg/kg	Tossavainen [22]	Ligger medelvärdet i detta projekt inom intervallet för Tossavainens projekt ?
As	9 870	300 – 104 000	Ja
Ba	415 000	368 000 – 857 000	Ja
Cd	304	60 – 280	Nej (11 av 23 värden var dock < 280)
Co	44 300	3 700 – 22 500	Nej (3 av 23 värden var dock < 22 500)
Cr	43 000	44 000 – 331 000	Nej (4 av 23 värden var dock > 44 000)
Cu	26 700	1400 – 62 000	Ja
Hg	3,0	< 150	Ja
Mn	1 030 000	240 000 – 1 450 000	Ja
Mo	1 730	ej analyserat	-
Ni	19 800	2800 – 38 800	Ja

Pb	21 300	3300 – 10700	Nej (6 av 23 värden var dock < 10 700)
Sb	400	ej analyserat	-
Se	<5 000	ej analyserat	-
Sn	4 270	ej analyserat	-
W	204 000	ej analyserat	-
Zn	70 000	38 500 – 114 000	Ja

8.2 Jämförelse av resultaten mot kraven för inert avfall

Naturvårdsverkets föreskrifter NFS 2004:10 (om deponering av avfall och kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall) innehåller krav på avfall för att det skall få läggas på deponi för inert avfall. Det är intressant att jämföra kraven på denna avfallskategori med resultatet i denna studie. Som framgår av tabell Tabell 31 så är utlakningen i perkolationstesten av bergmaterialen bara en bråkdel av gränsvärdet för inert avfall.

Som framgår av Tabell 31 nedan så ligger medelvärdet av perkolationstestet för alla metaller långt från gränsvärdet för avfall som skall deponeras för deponi för inert avfall. Ett undantag finns dock för anjoner - fluor överskrider gränsvärdet för fyra olika prov. Gränsvärdet är 10 mg/kg och i fyra analyser uppmättes 20; 20; 15 och 20 mg/kg.

Tabell 31. Jämförelse mellan perkolationstest L/S=10 och NFS 2004:10.

Table 31. Comparison between perkolation test L/S=10 and NFS 2004:10.

Metall eller anjon	Perkolationstest L/S = 10, Medelvärde, (högsta värde)	Krav i NFS 2004:10 för avfall som skall läggas på deponi för inert avfall	Andel av gränsvärde, %, medelvärde, (högsta värde)
As	46 (100)	500	9 (20)
Ba	173 (500)	20000	0,9 (2,5)
Cd¹	<10	40	<25
Co	2,5 (3)	-	-
Cr	<50	500	<10
Cu	<100	2000	<5
Hg¹	<20	10	?
Mn	150 (270)	-	-
Mo¹	78 (100)	500	16 (20)
Ni	<150	400	<37

Pb	<10	500	<2
Sb¹	13 (20)	60	22 (33)
Se	<30	100	<30
Sn	<50	-	-
V	31 (100)	-	-
Zn	<500	4000	<12
Cl⁻	<50	800	<6
F⁻	19 (20)	10	200
SO₄²⁻	<250	1000	
NO₃⁻	<50	-	
PO₄³⁻	<10	-	

8.3 Dricksvattennormer

8.3.1 Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten

Det finns andra värden att jämföra med förutom deponikriterierna. En sådan norm är Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten, SLVFS 2001:30 [23]. Den innehåller (i bilaga 2) en lista över gränsvärden för vissa ämnen i dricksvatten. De parametrar som är aktuella för detta projekt redovisas i tabellen nedan. Vattenprover som överskrider dessa gränsvärden klassificeras som otjänligt. I förordningen finns även en del kommentarer till vissa värden, som utelämnats här. Dessutom finns värden av teknisk karaktär för bl a järn, magnesium och aluminium.

Tabell 32. Livsmedelsverkets kriterier för dricksvatten

Table 32. Criteria for drinking water according to National Food Administration

Parameter	Gränsvärde för otjänligt (µg/l)	Omräknat till L/S 10 (µg/kg)
Antimon, Sb	5,0	50
Arsenik, As	10	100
Bly, Pb	10	100
Bor, B	1,0	10
Fluorid, F	1500	15 000
Kadmium, Cd	5,0	50
Koppar, Cu	2000	20 000
Krom, Cr	50	500
Kvicksilver, Hg	1,0	10
Nickel, Ni	20	200
Nitrat, NO₃⁻	50 000	500 000
Selen, Se	10	100

8.3.2 Jämförelse mellan lakvätskorna och dricksvattennormerna

Inom projektet har en översiktlig jämförelse gjord mellan dessa normer och lakvätskornas halter. Jämförelsen görs på L/S 10, dvs 1 kg prov motsvarar 10 liter vatten. För enkelhetens skull har vi valt att räkna om gränsvärdena till µg/kg, istället för att behöva hantera den mycket större mängden värden som finns för lakvätskorna i µg/l. Resultatet av jämförelsen blir likadant oberoende av hur man räknar.

Tabell 33. Jämförelse mellan dricksvattenkriterier och lakvatten från skaktest L/S=10.

Table 33. Comparison between drinking water criteria and leachate from shaking test, L/S=10.

Parameter	Gränsvärde dricksvatten omräknat till L/S 10, µg/kg	Medelvärde o spridning L/S 10, skaktest (min-max), µg/kg (upphöjd siffra markerar antal prover under bestämbarhetsgränsen)
Antimon, Sb	50	4,3 (<1 ⁽¹⁴⁾ - 10)
Arsenik, As	100	12 (0,5 - 55)
Bly, Pb	100	12,5 (<10 ⁽²¹⁾ - 15)
Fluorid, F	15 000	13 000 (<5000 ⁽¹²⁾ - 30 000)
Kadmium, Cd	50	4,5 (<3 ⁽²¹⁾ - 6)
Koppar, Cu	20 000	<50 ⁽²³⁾
Krom, Cr	500	80 (<30 ⁽²²⁾ - 80)
Kvicksilver, Hg	10	<15 ⁽²³⁾
Nickel, Ni	200	52 (<10 ⁽²⁰⁾ - 65)
Nitrat, NO ₃ ⁻	500 000	<250 000 ⁽²³⁾
Selen, Se	100	50 (<10 ⁽²²⁾)

Resultaten visar att lakvattnet, med mycket få undantag, är att klassa som tjänligt för användning som dricksvatten. Undantagen är att fluoridhalten övergår gränsvärdena i några prover. Dessutom är bestämbarhetsgränsen för Hg för hög för att man skall kunna avgöra huruvida normen uppfylls. Inga värden är dock över denna gräns, och den är bara något högre (15 jämfört med 10 µg/kg), så chansen är god att även Hg håller sig under gränserna.

Detta resultat är inte oväntat. Man använder ju vatten från grusåsar och bergborrhade brunnar direkt i privata brunnar, och med ibland minimal rening i kommunala vattenreningsverk. Man kan naturligtvis jämföra resultaten även från L/S 10 från perkolationstesterna samt båda lakmetodernas resultat för L/S 2, men det finns ingen anledning att tro att slutsatserna skulle påverkas nämnvärt.

8.4 Jämförelse mellan skak- respektive perkolationstest

Eftersom erfarenheten av de i projektet använda lakningsmetoderna (skak- och perkolationstest ännu är begränsad är det intressant att göra en jämförande studie mellan resultatet av skaktestet respektive perkolationstestet. I idealfallet skall resultatet för samma L/S-kvot i de båda testen visa på ungefär samma resultat, eller om inte detta går

att visa, så skall skillnaden (kvoten) mellan testresultaten vara konstant vid upprepade försök för de båda testen.

Tyvärr så är halterna av metallerna i de analyserade berg- och morän proverna på den nivån att i många fall så inverkar bestämbarhetsgränsen på resultatet på så sätt att provningsresultatet inte kom upp över bestämbarhetsgränsen. Detta medför att det är svårt att jämföra resultaten i form av en kvot mellan skak- och perkolationstest för en viss bestämd L/S-kvot eftersom bestämbarhetsgränsen påverkar för mycket. Detta, samt det faktum att bestämbarhetsgränserna låg högre för perkolationstestet, gör att det inte i detta projekt går att analysera kvoterna mellan skaktest och perkolationstest. Tabell 34 nedan visar bestämbarhetsgränserna för samt hur stor andel av värdena som ligger under bestämbarhetsgränserna.

Tabell 34. Jämförelse mellan skak- och perkolationstest

Table 34. Comparison between shake test and percolation test

Metall eller anjon	Skaktest Bestämbarhetsgräns, mg/kg (Andel värden under denna)	Perkolationstest Bestämbarhetsgräns, mg/kg (Andel värden under denna)	Kvot mellan skaktest och perkolationstest
As	0,5 (0 %)	10 (70 %)	-
Ba	5 (0 %)	30 (60 %)	-
Cd¹	3 (91 %)	10 (100 %)	-
Co	1 (61 %)	1 (80 %)	-
Cr	30 (95 %)	50 (100 %)	-
Cu	50 (100 %)	100 (100 %)	-
Hg¹	15 (100 %)	20 (100 %)	-
Mn	10 (4 %)	30 (40 %)	-
Mo¹	50 (87 %)	50 (50 %)	-
Ni	10 (87 %)	150 (100 %)	-
Pb	10 (91 %)	10 (100 %)	-
Sb¹	1 (65 %)	5 (40 %)	-
Se	10 (95 %)	30 (100 %)	-
Sn	5 (87 %)	50 (100 %)	-
W	5 (9 %)	5 (80 %)	-
Zn	50 (91 %)	500 (100 %)	-
Cl⁻	50 (100 %)	50 (100 %)	-

F⁻	5 (74 %)	10 (70%)	-
SO₄²⁻	50 (78 %)	250 (100%)	-
NO₃⁻	250 (100 %)	50 (100%)	-
PO₄³⁻	250 (100 %)	10 (100%)	-

9 Slutsatser

9.1 Allmänna slutsatser

Den övergripande slutsaten är att svensk naturballast i regel orsakar mycket låg utlakning av metaller och anjoner till omgivande miljö.

För totalhaltsanalysen var 14 % av värdena under bestämbarhetsgränsen, dvs så låga att de inte kan kvantifieras. För lakttesterna var motsvarande siffra 72 %. Majoriteten av dessa var även under detektionsgränsen, dvs så låga att man över huvud taget inte kan säga huruvida provet verkligen innehåller något av aktuellt ämne. Undantaget är kvicksilver, där bestämbarhetsgränsen ligger strax ovanför kriterierna för material till inert deponi. Samtliga värden för kvicksilver var dock under bestämbarhetsgränsen.

En jämförelse med Livsmedelsverkets normer för dricksvatten ger vid handen att lakvattnet är av en sådan kvalitet att de i nästan samtliga fall är fullt godkänt att drickas direkt efter filtreringen. Materialen har också tillräckligt låg utlakning för att läggas på deponier för inert avfall i de flesta fall.

Undantagen är två, kvicksilver och fluorid. Ett litet antal material (4 bergprover i skaktestet och 4 bergprover i perkolationstestet, varav 2 var samma prover som i skaktestet), har en utlakning av fluorid som överskrider kriterierna för material till inert deponi. Även dricksvattennormen överskrids för några av dessa prover. För fluorid är det uttaget av dricksvatten nedströms deponin som är begränsande för deponiförordningens riktvärden för inert deponi. Det är alltså fluoridens risk att orsaka tandskador som i båda fallen är den fara man vill skydda sig emot. För kvicksilver kan man inte avgöra om materialet kan läggas på deponi för inert material pga att bestämbarhetsgränsen är lite för hög, 15 µg/kg mot förordningens 10µg/kg. Situationen för Hg är samma jämfört med dricksvattenkriterierna.

9.2 Slutsatser i siffror

9.2.1 Bergmaterial

Totalhaltsanalysen visade medelvärden av metaller från under bestämbarhetsgränsen upp till ca 1 000 000 µg/kg. De flesta medelvärden ligger dock under 100 000 µg/kg. Totalhaltsanalysen stämde bra med tidigare studier.

Medelutlakningen av metaller i skaktestet varierade från under bestämbarhetsgräns upp till 141 µg/kg. Enbart ett fåtal värden var över 100 µg/kg. Det högsta värdet på den procentuella urlakningen var 4,9 %, men övriga värden (utom ett) låg långt under 1 %. Perkolationstestet och skaktestet gav ungefär samma värden, men jämförelsen försvårades av att många halter låg under bestämbarhetsgränsen samt att bestämbarhetsgränsen var olika mellan skak- och perkolationstest.

Klorid-, nitrat- och sulfat-joner låg under bestämbarhetsgränsen i skaktestet, medan fluorid- och sulfatjoner hade några värden över bestämbarhetsgränsen. I

perkolationstestet var det bara fluoridjoner som låg över bestämbarhetsgränsen för några värden.

9.2.2 Moräner

Totalhaltsanalysen visade medelvärden av metaller från under bestämbarhetsgränsen upp till ca 500 000 µg/kg. De flesta medelvärden ligger dock under 100 000 µg/kg.

Medelutlakningen av metaller varierade från under bestämbarhetsgränsen upp till ca 600 µg/kg. De flesta värden låg under 100 µg/kg. Den procentuella urlakningen visade att alla värden utom ett låg långt under 1 %. Perkolationstestet och skaktestet gav ungefär samma värden, men jämförelsen försvårades av att många halter låg under bestämbarhetsgränsen samt att bestämbarhetsgränsen var olika mellan skak- och perkolationstest.

I skaktestet var det enbart sulfatjoner av anjonerna som var över bestämbarhetsgränsen och i perkolationstestet var det samma förhållande för nitratjonerna.

9.3 Rekommendationer och användning

Det föreligger alltså, som väntat, inte något hinder för att rekommendera naturliga material i vägar och liknande konstruktioner, något som stämmer väl med beprövad erfarenhet. Detta innebär inte att alla naturliga bergarter kan användas utan risk. Det finns vissa ovanliga bergarter som inte kommit med i undersökningen som i oturliga fall kan orsaka miljöskador. Minst ett sådant fall har förekommit nyligen. Det rekommenderas därför att man testar utlakningen av metaller och anjoner i de fall som en ovanlig bergart påträffas. Särskilt gäller detta om innehållet av sulfider är högt.

Alternativa material som uppvisar utlakningsdata i storleksordning med de naturliga materialen skulle också kunna användas på samma villkor som traditionell ballast, även om utlakningen inte är noll.

Vid en jämförelse mellan alternativa material och naturballast kommer många alternativa material att visa på högre utlakning. I dessa fall behöver en mer omfattande bedömning göras. Att ett material lakar på lab behöver inte betyda att det gör det i verkligheten. Fastläggning av metaller kan ske i vissa material, vilket innebär att utlakade ämnen fastnar igen inuti konstruktionen. En lämpligt utformad konstruktion som minimerar genomströmningen kan också möjliggöra användandet av material som har högre utlakning i labtester. Det är inte heller säkert att gränsen för vad miljön tål ligger precis på de värden som framkommit i denna rapport. Denna gräns måste utredas separat. Lakdata som överstiger naturliga materials utlakning behöver alltså inte innebära att materialet inte kan användas.

Det förekommer ett antal olika typer av lakningsanalyser. Framöver kommer förmodligen de analyser som rekommenderas i EGs beslut om kriterier för material som skall deponeras och nämns i NFS2004:10, att bli mer allmänt förekommande oavsett vad avsikten är med materialet. Hursomhelst så är det viktigt att använda samma metod

om resultat skall jämföras, samt att de som utför analysen är väl förtrodda med metoderna, se nästa stycke.

Vid lakteter av den typ som genomförts i projekten så bör uppmärksamhet fästas på det faktum att vissa ämnen som används vid detektionen kan interagera med det material som skall analyseras. Till exempel kunde inte Vanadin redovisas i totalhaltsanalysen för bergmaterial eftersom bor och argon (som ingår i analysapparaturen) reagerade i ICP-MS och bildade en förening som interfererar med Vanadin. Det är alltså av stor vikt att kontrollera möjliga interferenser efter en haltbestämning

9.4 Vidare arbete

Om man vill förverkliga ambitionen att öka användandet av alternativa material så räcker en enkel jämförelse av materialens lakdata på laboratoriet inte till i många fall. Detta ökar behovet av bedömningar som utgår från vad miljön tål med hjälp av modellering och biologiska tester.

Det var många värden i analyserna som var under bestämbarhetsgränsen. Bestämbarhetsgränserna kommer i takt med den tekniska utvecklingen att sänkas framöver. Detta är dock inte relevant i denna frågeställning eftersom noggrannheten redan är tillräcklig. Om något av de alternativa materialen har en eller ett par ämnen som är betydligt högre än de uppmätta värdena i denna studie så kommer det att vara lätt att detektera dem. Om det inte går att detektera ämnet från det alternativa materialet så ligger det förmodligen på samma eller lägre nivå som för de naturliga materialen.

10 Litteraturreferenser

- [1] Proposition 2000/01:130 Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier, God bebyggd miljö (miljömål nr 15), www.miljomal.nu
- [2] von Bahr, B, Ekvall, A, Schouenborg, B, Kvalitetskriterier för bottenaskor till väg- och anläggningsbyggnad. Etapp I – Inventering av provningsmetoder och funktionskrav, Värmeforsks askprogram Q4-143, Värmeforskrapport 867, 2004.
- [3] Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad, Vägverket, Publikation 2001:34, ISSN 1401-9612
- [4] Bjurström, H, Berg,, M, Arm, M, Suér, P och Håkanson, K, En förenklad testmetodik för kvalitetssäkring - Etapp 1, Q4-148, Värmeforskrapport 856, 2003
- [5] Schouenborg B., Aurstad J., Hagnestål L., Petursson P., och Winblad J. Test methods adapted for alternative and recycled, porous aggregate materials, Part 3 – Water absorption, NORDTEST Project No. 1531-01, SP Swedish National Testing and Research Institute, Building Technology, SP REPORT 2003:24
- [6] Stenberg F, Schouenborg B, Provningsmetoder anpassade för återvinningsmaterial, Kornstorleksfördelning,; NORDTEST Projekt nr 1292-96, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Byggnadsteknik, SP-rapport 1997:08
- [7] Ewertson C, Schouenborg B, Aurstad J, Provningsmetoder anpassade för återvinningsmaterial, Sprödhet, NORDTEST Projekt nr 1393-97, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Byggnadsteknik, SP-rapport 2000:14
- [8] Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad, Vägverket, Publikation 2001:34, ISSN 1401-9612
- [9] Rådets direktiv 1999/31/EG av den 26 april 1999 om deponering av avfall (EGT L 182, 16.7.1999, s. 0001-0019, CELEX 31999L0031)
- [10] Rådets beslut 2003/33/EG av den 19 december 2002 om kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid avfallsdeponier i enlighet med artikel 16 i, och bilaga II till, direktiv 1999/31/EG (EGT L 11, 16.1.2003, s. 0027-0049, CELEX 32003D0033)
- [11] SFS 2001:512, Förordning om deponering av avfall, Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, utfärdad 2001-06-07
- [12] NFS 2004:10, Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall, tryckt 20 juli 2004, ISSN 1403-8234
- [13] Artikel i Bohuslänningen ”Bergmassor försurar miljön”, skriven av Ulf Blomgren

-
- [14] Lax, K., 2002 Bakgrundshalter av metaller i mark, In: G. Wiklander (ed.) Forskningsnytt om mark. Reports in Forest Ecology and Forest Soils 84, Departement of Forest Soils, SLU, Uppsala, Sweden.)
- [15] SFS 2001:1063, Avfallsförordning, Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, utfärdad 2001-12-06
- [16] Generella riktvärden för förorenad mark, Naturvårdsverket rapport 4638, ISBN/ISSN 91-620-4638-1, år 1997.
- [17] Development of generic guideline values: model and data used for generic guidelines for contaminated soils in Sweden, Naturvårdsverket rapport 4639, Mark Elert, Cecilia Jones, Fredrika Norman
- [18] Gustafsson, M, Ekvall, A, von Bahr, B, Johansson, P, Wallman, S och Reuterhage, Å, Inledande laboratorieförsök projekt AIS 32, delrapport 1, VINNOVA 2003
- [19] Ekvall, A och von Bahr, B, Sammanställning av genomförda kemiska analyser och tester för gjuterisand, bottenaska och stenmjöl, samt jämförelse med olika bedömningsgrunder, SP-rapport 2004:12, 2004
- [20] Håkansson, K, Wik, O, Bendz, D, Helgesson, H och Lind, B, Miljöriktlinjer för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande – del 1, Värmeforsks askprogram Q4-104, Värmeforskrapport 879, 2004
- [21] Håkansson, K, Wik, O, Bendz, D, Miljöriktlinjer för askanvändning i anläggningsbyggande – etapp 2, Q4-238, Värmeforsks askprogram Q4-104
- [22] Tossavainen, M., Leaching Results in the Assessment of Slag and Rock Materials as Construction Material, Doktorsavhandling, Luleå Tekniska Universitet, Avdelningen för kemiteknik och geovetenskap, 2005:44, ISSN:1402-1544, ISRN: LTU-DT—05/44—SE
- [23] Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten, SLVFS 2001:30, www.slv.se
- [24] NFS2001:18, Naturvårdsverkets råd och allmänna föreskrifter om kalkning av sjöar och vattendrag, www.naturvardsverket.se

Bilagor

Bilaga nr	Innehåll	Typ av analys
BERGMATERIAL		
1	Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:C Analys av fukt och totalhalt av 16 metaller i 23 bergprover	Totalhalt
2	Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:D Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet och redox-potential i 23 bergprover med skaktest enligt SS-EN12457-3	Skaktest
3	Sammanställning av analysrapporterna: SP – P4 00838-01:F SP – P4 00838-01:I Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 23 bergprover med skaktest enligt SS-EN12457-3	Skaktest
4	Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:G Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet och redox-potential i 10 bergprover med perkolationstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004	Perkolationstest
5	Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:H Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 10 bergprover med perkolationstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004	Perkolationstest
MORÄNER		
6	Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:A Analys av fukt och totalhalt av 17 metaller i 15 moränprover	Totalhalt
7	Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:B Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet, DOC och redox-potential i 15 moränprover med skaktest enligt SS-EN12457-3	Skaktest
8	Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:C Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 15 moränprover med skaktest enligt SS-EN12457-3	Skaktest
9	Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:D Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet, DOC och redox-potential i 7 moränprover med perkolationstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004	Perkolationstest
10	Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:E Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 7 moränprover med perkolationstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004	Perkolationstest

Bilaga 1

Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:C

Analys av fukt och totalhalt av 16 metaller i 23 bergprover

Fet stil innebär att ett <-tecken skall stå framför värdet.

				Metaller µg/kg Totalhalt Inlämningstillstånd					
Typ	Namn	provnr	fukt, %	Arsenik	Barium	Kadmium	Kobolt	Krom	Koppar
1	Sedimentär Kalksten	01:01	3	23 700	170 000	420	59300	33500	20200
2	Kalksten, kristallin	01:02	0,3	120000	8800	300	10300	13400	3800
3	Metamorf Dolomit	02:01	<0,1	7100	12000	200	3200	11100	10300
4	Skiffer	02:02	<0,1	3000	500000	200	25000	40000	30000
5	Sedimentärgnejs	02:03	0,1	2400	640000	360	64600	92900	12400
6	Kvartsit	02:04	3	2900	143000	280	13400	6600	8500
7	Amfibolit	02:05	0,3	250	40000	200	40000	170000	40000
8	Gråvacka	02:06	0,4	9800	30000	200	39300	131000	44300
9	Migmat gnejs	02:07	<0,1	800	900000	200	60000	13000	30000
10	Granodiorit	02:08	<0,1	6000	450000	500	25000	40000	50000
11	Gnejs	02:09	0,2	6000	510000	800	56300	120000	96300
12	Kvartsit	02:11	0,1	24000	230000	300	65100	19100	24400
13	Magmatisk Granit, finkornig	03:01	0,2	3000	800000	250	60000	17500	35000
14	Iddefjord	03:03	<0,1	3000	660000	200	30000	10000	40000
15	Uddevalla	03:04	1	1300	210000	240	71000	13000	12600
16	Älvdalsporfyr	03:05	<0,1	3500	700000	400	60000	20000	30000
17	Smålandsporfyr	03:07	3	2800	770000	240	26500	22100	14500
18	Granit finkornig	03:09	0,1	2000	230000	300	40000	10000	20000
19	Granit grovkornig	03:10	<0,1	1000	70000	400	110000	15000	17500
20	RV 40	04:01	7	1000	800000	200	30000	40000	20000
21	RV 40	04:02	0,1	1500	800000	300	50000	20000	10000
22	RV 40	04:03	5	1000	670000	200	40000	90000	25000
23	RV 40	04:04	7	1000	200000	300	40000	40000	20000
				Arsenik	Barium	Kadmium	Kobolt	Krom	Koppar
Medelv				9872	414948	359	44304	42965	26730
Stdavv				24853	309420	143	23727	45389	19514
Median				2900	450000	300	40000	20000	20200
Mv RV40				1125	617500	250	40000	47500	18750
stdavv RV40				250	285000	58	8165	29861	6292
Medelv exkl 1:1 och 1:2				3969	445952	299	45210	44824	28133
Stdavv exkl 1:1 och 1:2				5184	305053	142	23438	47057	19708
Median exkl 1:1 och 1:2				2800					
1-2	Sedimentär			71 850	89 400	360	34 800	23 450	12 000
Medelv									
Stdavv									
Median									
3-12	Metamorf			6225	345500	448	39190	64370	34620
Medelv									
Stdavv									
Median									
13-19	Magmatisk			2371	491429	290	56786	15371	24229
Medelv									
Stdavv									
Median									
20-23	RV 40			1125	617500	300	40000	47500	18750
Medelv									
Stdavv									
Median									
Sorterade medelvärden				Mangan	Barium	Volfram	Zink	Kobolt	Krom
				1025217	414948	203987	69965	44304	42965

Fet stil innebär att ett <-tecken skall stå framför värdet.

Metaller µg/kg Totalhalt Inlämningstillstånd

Kvicksilver	Mangan	Molybden	Nickel	Bly	Antimon	Selen	Tenn	Wolfram	Zink
10	2030000	1500	45300	5300	1400	500	2700	6700	22200
6	2350000	1000	9200	4100	350	500	780	8000	17900
2	1800000	1000	4900	1500	1600	500	500	4000	35500
2	900 000	1000	25000	14000	800	500	3300	117000	45000
3	540000	7100	44000	22500	200	500	2300	240000	81000
4	200000	1000	4000	70000	200	500	350	59000	50500
2	1900000	1000	30000	5000	350	500	2600	66000	120000
2	800000	1000	60300	10400	200	500	6300	66000	128000
2	1 600 000	1000	10000	10000	200	500	3200	320000	75000
2	450000	1000	22500	25000	200	500	7800	110000	90000
7	1500000	1400	32300	19700	200	500	5000	92000	198000
3	240000	1200	4500	13800	730	500	1100	380000	36400
2	730000	1500	20000	18000	200	500	3200	400000	50000
2	640000	2300	10000	30000	200	500	3900	150000	80000
2	390000	1600	5800	71000	300	500	3500	430000	34000
2	590000	2000	13000	30000	600	500	5000	430000	65000
5	790000	2700	7200	18500	300	500	3300	160000	75700
2	420000	2000	5500	30000	200	500	11100	330000	25000
2	370000	2000	4800	25000	200	500	18200	103000	30000
2	1000000	1000	20000	14000	200	500	4200	270000	60000
2	1 400 000	1500	8000	20000	200	500	2800	370000	80000
2	940000	2000	40000	16000	200	500	2400	270000	50000
2	2000000	2000	30000	17000	200	500	4600	310000	160000

Kvicksilver	Mangan	Molybden	Nickel	Bly	Antimon	Selen	Tenn	Wolfram	Zink
4,36	1025217	2050	19839	21339	663	500	4267	203987	69965
2,65	653458	1425	16044	17563	513	0	3873	146184	45375
4,00	800000	1800	13000	18000	475	500	3300	160000	60000
2	1335000	1625	24500	16750	200	500	3500	305000	87500
0	488092	479	13699	2500	0	0	1065	47258	49917
3	914286	1776	19133	22924	356	500	4507	222714	74719
1	564407	1327	15638	17577	338	0	3963	138823	44626
8,00	2 190 000	1 500	27 250	4 700	875	500	1 740	7 350	20 050
2,90	993000	2340	23750	19190	870	500	3245	145400	85940
2,43	561429	2014	9471	31786	350	500	6886	286143	51386
2,00	1335000	1833	24500	16750	200	500	3500	305000	87500

Koppar	Bly	Nickel	Arsenik	Selen	Tenn	Molybden	Antimon	Kadmium	Kvicksilver
26730	21339	19839	9872	5000	4267	1730	401	304	3

Bilaga 2

Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:D

Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet och redox-potential i 23 bergprover med skaktest enligt SS-EN12457-3

Skaktest 01-D, metaller+anjoner

Metaller µg/kg L/S 10

Fet stil innebär att mätvärdet är under bestämbarhetsgränsen och därför redovisas denna istället

Typ	Namn	Provnr	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni
1	Sedimentär Kalksten	01:01	25	180	3	2	30	50	15	55	90	10
2	Kalksten, kris	01:02	1	20	3	1	30	50	15	10	50	10
3	Metamorfa Dolomit	02:01	4	30	3	1	30	50	15	27	50	10
4	Skiffer	02:02	30	50	3	1	80	50	15	50	50	10
5	Sedimentåde	02:03	30	30	3	1	30	50	15	35	50	40
6	Kvartsit	02:04	50	150	3	1	30	50	15	35	105	65
7	Amfibolit	02:05	5	10	3	2	30	50	15	25	50	10
8	Grävacka	02:06	55	20	3	4	30	50	15	110	50	50
9	Migmat gnejs	02:07	1	80	3	1	30	50	15	45	50	10
10	Granodiorit	02:08	1	10	3	1	30	50	15	35	60	10
11	Gnejs	02:09	9	25	3	1	30	50	15	25	50	10
12	Kvartsit	02:11	15	75	3	1	30	50	15	20	50	10
13	Magmatisk Granit, finkor	03:01	2	30	3	1	30	50	15	50	50	10
14	Iddefjord	03:03	2	20	3	1	30	50	15	55	50	10
15	Uddevalla	03:04	1	20	3	2	30	50	15	700	50	10
16	Älvdalsporfy	03:05	15	35	3	1	30	50	15	65	50	10
17	Smålandspoi	03:07	3	20	3	1	30	50	15	35	50	10
18	Granit finkor	03:09	10	10	6	1	30	50	15	35	50	10
19	Granit grovki	03:10	0,5	7	3	1	30	50	15	1450	50	10
20	RV 40	04:01	2	30	3	1	30	50	15	40	50	10
21	RV 40	04:02	2	20	3	1	30	50	15	80	50	10
22	RV 40	04:03	1	20	3	1	30	50	15	50	50	10
23	RV 40	04:04	1	20	3	1	30	50	15	90	50	10
	Best.gräns		0,5	5	3	1	30	50	15	10	50	10
	NFS 2004:10		500	20000	40	-	500	2000	10	-	500	400
	Antal över best.gräns		23	23	2	9	1	0	0	22	3	3
			As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni
	Medelvärde alla *1		12	40	4,50	1,67	80	<50	<15	141	85	52
	Medelvärde totalinnehåll		9870	415000	304	44300	43000	26700	3	1030000	1730	19800
	Urlakning procent		0,117	0,010	1,480	0,004	0,186	<0,19	-	0,014	4,913	0,261
	Urlakning andel av gränsvärde, %		2,31	0,20	11,25	-	16,00	<2,5	-	-	17,00	12,92
	*1 Medelvärdet är beräknat på de värden som ligger över bestämbarhetsgränsen											
	Medelvärde per bergartstyp											
	Sedimentära		13	100	3	2	30	50	15	55	90	10
	Metamorfa		20	48	3	1,6	80	50	15	41	83	52
	Magmatiska		4,8	20,3	6	2	30	50	15	341	50	10
	RV 40		1,5	22,5	3	1	30	50	15	65	50	10

										mg/kg	Anjoner	OBS	Enhet!	
Typ	Namn	Provnr	Pb	Sb	Se	Sn	V	W	Zn	Cl-	F-	SO4	NO3	PO4
Sedimentär	Kalksten	01:01	10	9	10	5	6	5	50	50	5	130	250	250
	Kalksten, l	01:02	10	3	10	5	1	6	50	50	5	50	250	250
Metamorfa	Dolomit	02:01	10	10	10	5	1	10	50	50	5	50	250	250
	Skiffer	02:02	10	2	10	5	65	5	50	50	5	50	250	250
	Sedimentär	02:03	10	1	10	5	30	5	50	50	5	50	250	250
	Kvartsit	02:04	10	1	10	5	3	5	50	50	7	120	250	250
	Amfibolit	02:05	10	3	10	5	120	5	50	50	5	50	250	250
	Gråvacka	02:06	10	1	10	5	30	6	50	50	10	70	250	250
	Migmat gn	02:07	10	1	10	5	20	5	50	50	5	50	250	250
	Granodiori	02:08	15	1	10	5	20	5	50	50	5	50	250	250
	Gnejs	02:09	10	1	10	5	45	5	50	50	5	50	250	250
	Kvartsit	02:11	10	5	10	5	5	5	50	50	5	50	250	250
	Magmatisk	Granit, finl	03:01	10	1	10	5	20	5	50	50	8	50	250
Iddefjord		03:03	10	1	10	5	30	5	55	50	6	50	250	250
Uddevalla		03:04	10	1	10	5	2	5	50	50	5	70	250	250
Älvdalspor		03:05	10	5	10	7	10	5	50	50	5	50	250	250
Smålandsf		03:07	10	1	50	5	20	5	50	50	5	50	250	250
Granit fink		03:09	10	1	10	5	20	5	50	50	10	50	250	250
Granit gro		03:10	10	1	10	5	1	10	50	50	30	50	250	250
RV 40		04:01	10	1	10	5	50	5	50	50	5	50	250	250
RV 40		04:02	10	1	10	5	30	5	50	50	5	50	250	250
RV 40		04:03	10	1	10	5	30	5	60	50	14	50	250	250
RV 40	04:04	10	1	10	5	30	5	50	50	30	50	250	250	
Best.gräns			10	1	10	5	1	5	50	50	5	50	250	250
NFS 2004:10			500	60	100	-	-	-	4000	800	10	1000	-	-
Antal över best.gräns			2	9	1	3	21	5	2	2	6	5	0	0
			Pb	Sb	Se	Sn	V	W	Zn	Cl-	F-	SO4	NO3	PO4
Medelvärde alla *1			12,50	4,33	50,00	5,67	28	7,40	58	<50	13	98	<250	<250
Medelvärde totalinnehåll			21300	400	<5000	4270	-	204000	70000					
Urläkning procent			0,059	1,083	-	0,133	-	0,004	0,082					
Urläkning andel av gränsvärde, %			2,50	7,22	50,00	-	-	-	1,44		133,33	9,75		

Medelurläkning metaller

39

*1 Medelvärdet är beräknat på de värden som ligger över bestämbarhetsgränsen

Medelvärde per bergartstyp

Sedimentära	10	6	10	5	6	6	50	50	5	130	250	250
Metamorfa	12,5	3,7	10	5	34	7	50	50	8,5	95	250	250
Magmatiska	10	5	50	7	17	10	55	50	12	70	250	250
RV 40	10	1	10	5	35	5	60	50	22	50	250	250

Sammanställning av analysrapporterna:

SP – P4 00838-01:F

SP – P4 00838-01:I

Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 23 bergprover med skaktest enligt SS-EN12457-3

Berg, lakning, skaktest, rapport P4 00838-01-F, P400838-01-I
Semikvantitativ scan, metaller, µg/kg

L/S-kvot

10

sid 1 av 4

Fet stil betyder att skillnaden mellan de två proven är större än 15 %

Namn		Kalksten	Dolomit	Skiffer	Sediment- ådergnejs	Kvartsit	Amfibolit
provnr		01:01	02:01	02:02	02:03	02:04	02:05
Fukt, %		3	<0,1	<0,1	0,1	3,4	0,30
pH, (L/S=8)		9	9,8	9,5	8,6	9,5	9,1
Konduktivitet, (L/S=8) mS/cm		0,06	0,05	0,03	0,02	0,04	0,01
Redoxpoten- tial, (L/S=8), mV		360	400	340	350	360	265
Ag	Silver	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Al	Aluminium	980	60	8600	2400	1200	4900
Au	Guld	2	0,9	<0,5	0,6	0,5	<0,5
B	Bor	110	<10	10	50	20	14
Be	Beryllium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bi	Vismut	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ca	Kalcium	62700	33000	25100	14800	53300	18000
Ce	Cerium	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Cs	Cesium	0,6	0,3	0,7	0,5	3	0,7
Ge	Germanium	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Dy	Dysprosium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Er	Erbium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Eu	Europium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fe	Järn	450	50	530	290	140	2000
Ga	Gallium	1	<0,5	7	4	1	10
Gd	Gadolinium	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Hf	Hafnium	0,06	<0,05	0,1	<0,05	0,08	<0,05
Ho	Holmium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ir	Iridium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
K	Kalium	7300	2000	37500	15300	4100	4000
La	Lantan	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Li	Litium	14	7	20	20	5	3
Lu	Lutetium	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mg	Magnesium	2500	30900	2300	3100	3400	7400
Na	Natrium	12200	4300	5800	7700	2600	10000
Nb	Niob	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	0,2
Nd	Neodym	<0,5	<0,5	0,5	0,5	<0,5	<0,5
Pd	Palladium	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pr	Praseodym	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Pt	Platina	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Rb	Rubidium	7	5	50	30	10	10
Re	Rhenium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Rh	Rodium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ru	Rutenium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sc	Skandium	10	<10	30	<10	<10	20
Sm	Samarium	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sr	Strontium	220	30	70	80	120	90
Tb	Terbium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Te	Tellur	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Th	Torium	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ti	Titan	400	200	170	100	330	160
Tl	Tallium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tm	Tulium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
U	Uran	7	<0,5	5	1	3	<0,5
Y	Yttrium	0,3	<0,1	0,3	0,5	0,5	0,4
Yb	Ytterbium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05
Zr	Zirkonium	2	0,1	1	0,8	2	1

Berg, lakning, skaktest, rapport P4 00838-01-F, P400838-01-I
Semikvantitativ scan, metaller, µg/kg

L/S-kvot 10

sid 2 av 4

Fet stil betyder att skillnaden mellan de två proven är större än 15 %

	Gråvacka	Migmat gnejs	Grano- diorit	Gnejs	Granit, finkornig	Iddefjord	Uddevalla	Ålvdals- porfyr
provnr	02:06	02:07	02:08	02:09	03:01	03:03	03:04	03:05
Fukt, %	0,4	<0,1	<0,1	0,16	0,16	<0,1	0,8	<0,1
pH (L/S=8)	8,1	9,4	8	9,5	9,5	9,7	6,8	9,4
Konduktivitet, mS/cm	0,02	0,01	0,01	0,1	0,02	0,02	0,01	0,02
Redox- potential, mV	400	330	260	300	360	280	480	340
Ag	3	<2	2	<2	<2	2	<2	<2
Al	6400	5100	6900	2900	5800	4800	640	5900
Au	0,5	<0,5	<0,5	0,5	1	0,9	<0,5	<0,5
B	30	<10	<10	230	20	<10	90	<10
Be	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bi	0,5	<0,05	0,8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ca	8000	26100	5600	32100	22000	21600	1900	26800
Ce	10	6	4	<2	10	10	2	<2
Cs	6	<0,3	1	2	0,5	0,7	0,3	0,7
Ge	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Dy	0,7	0,1	0,2	<0,1	0,3	0,2	8	<0,1
Er	0,4	0,1	0,1	<0,05	0,2	0,1	0,5	0,06
Eu	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fe	3000	530	720	400	570	700	610	410
Ga	10	5	10	4	6	7	<0,5	7
Gd	0,9	0,3	0,3	0,1	0,6	0,6	0,4	0,1
Hf	0,3	<0,05	0,1	<0,05	0,1	0,1	0,2	0,07
Ho	0,1	<0,05	<0,05	0,01	<0,05	<0,05	0,2	<0,05
Ir	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
K	31100	8600	11300	24400	14600	9400	10500	13300
La	5	3	2	<2	7	4	<2	<2
Li	80	20	20	30	20	30	30	20
Lu	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,06	<0,01
Mg	6800	4300	3000	6600	4200	2300	2500	1500
Na	9800	5400	7100	7600	8200	5000	11500	6800
Nb	0,9	0,3	<0,2	<0,2	0,4	0,5	0,9	0,3
Nd	5	2	1	0,6	4	3	1	0,6
Pd	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Pr	1	0,7	0,4	<0,2	1	1	0,3	<0,2
Pt	<2	<2	1	<2	<2	<2	<2	<2
Rb	60	10	30	60	40	50	20	40
Re	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Rh	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ru	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sc	20	15	10	<10	20	10	<10	20
Sm	0,8	0,3	0,3	<0,2	0,5	0,6	0,4	<0,2
Sr	60	100	30	160	210	70	20	110
Tb	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
Te	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Th	3	<0,5	2	<0,5	2	7	7	0,6
Ti	290	200	40	220	180	150	30	180
Tl	0,2	<0,1	0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tm	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	<0,05
U	7	0,7	4	2	4	20	10	10
Y	4	0,7	1	0,3	1	1	5	0,6
Yb	0,4	0,06	0,06	<0,05	0,1	0,1	0,5	0,05
Zr	6	0,7	4	1	1	3	5	2

Berg, lakning, skaktest, rapport P4 00838-01-F, P400838-01-I
Semikvantitativ scan, metaller, µg/kg

L/S-kvot

10

sid 3 av 4

Fet stil betyder att skillnaden mellan de två proven är större än 15 %

provnr	Smålands- porfyr	Granit, finkornig	Granit grovkornig	RV 40	RV 40	RV 40	RV 40
	03:07	03:09	03:10	04:01	04:02	04:03	04:04
Fukt, %	2,5	0,12	<0,1	6,9	0,11	5,1	6,8
pH (L/S=8)	7,6	9,4	5,8	8,4	7,8	7,6	8
Konduktivitet, mS/cm	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
Redoxpotential, mV	400	330	400	250	270	350	400
Ag	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Al	1400	5500	700	4100	3600	3150	2300
Au	0,7	<0,5	*0,8	<0,5	0,7	0,7	<0,5
B	<10	20	<10	<10	10	10	<10
Be	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bi	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Ca	7100	30500	11400	14800	1000	7200	13000
Ce	7	2	5	20	30	30	20
Cs	<0,3	1	2	0,4	0,3	0,7	0,4
Ge	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Dy	0,1	0,4	1	0,5	0,8	6	0,4
Er	0,1	0,3	0,8	0,3	0,5	0,4	0,3
Eu	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,3	0,3	0,1
Fe	360	500	650	1000	1600	1400	1000
Ga	2	10	4	7	7	6	5
Gd	0,4	0,3	0,6	1	2	2	1
Hf	0,1	0,1	0,4	<0,05	0,07	0,1	0,1
Ho	<0,05	0,1	0,2	0,08	0,2	0,1	0,08
Ir	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
K	10600	13500	7900	14200	12400	12300	10000
La	4	1	2	10	15	15	10
Li	10	30	130	20	20	20	20
Lu	<0,01	0,06	0,2	0,02	0,05	0,04	0,03
Mg	3100	2400	1000	5500	1300	3200	3100
Na	11200	9600	5800	5300	10300	5800	5200
Nb	<0,2	1	3	0,4	0,5	0,8	0,4
Nd	2	1	3	7	10	9	6
Pd	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	0,6	<0,5
Pr	0,7	0,3	0,7	2	4	3	2
Pt	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Rb	10	70	130	30	15	40	30
Re	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Rh	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ru	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sc	<10	20	<10	15	10	10	15
Sm	0,3	0,3	0,6	1	2	2	0,8
Sr	50	170	150	50	10	30	40
Tb	<0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
Te	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Th	1	2	5	2	5	8	3
Ti	60	200	80	140	130	140	100
Tl	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tm	<0,05	0,07	0,1	<0,05	0,06	<0,05	<0,05
U	8	40	15	30	1	7	4
Y	1	3	7	2	4	4	3
Yb	0,06	0,3	1	0,1	0,4	0,3	0,2
Zr	2	2	9	0,2	2	3	3

Berg, lakning, skaktest, rapport P4 00838-01-F, P400838-01-I
Semikvantitativ scan, metaller, µg/kg

L/S-kvot 10

sid 4 av 4

Fet stil betyder att skillnaden mellan de två proven är större än 15 %

provnr	Kalksten, kristallin	Kvartsit				
	01:02	02:11				
Fukt, %	0,3	0,11				
pH (L/S=8)	9,8	9,5				
Konduktivitet, mS/cm	0,06	0,04				
Redoxpotential, mV	400	340	Medelvärde	Bestämbarhetsgräns	Antal värden över bestämbarhetsgränsen	Antal värden under bestämbarhetsgränsen
Ag	<2	<2	3	2	1	22
Al	30	1000	3560,454545	30	21	2
Au	0,9		0,89	0,5	11	11
B	80	100	60,30769231	10	13	10
Be	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0	23
Bi	<0,05	<0,05	0,65	0,05	3	20
Ca	27600	34000	21635	?	23	0
Ce	<2	<2	12	2	14	9
Cs	<0,3	<0,3	1,2	0,3		
Ge	<2	<2	<2	2	0	23
Dy	<0,1	<0,1	1,44	0,1	13	10
Er	<0,05	<0,05	0,30	0,05	14	9
Eu	<0,1	<0,1	0,23	0,1	4	19
Fe	<50	140	775	50	22	1
Ga	<0,5	1	5,70	0,5	20	3
Gd	<0,1	<0,1	0,71	0,1	16	7
Hf	<0,05	0,1	0,13	0,05	16	7
Ho	<0,05	<0,05	0,12	0,05	9	14
Ir	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0	23
K	1100	7900	12317	?	23	0
La	<2	<2	6,9	2	12	11
Li	<1	7	26	1	22	1
Lu	<0,01	<0,01	0,06	0,01	9	14
Mg	36000	9800	6356,52	?	23	0
Na	1500	1750	6976,09	?	23	0
Nb	<0,2	<0,2	0,71	0,2	14	9
Nd	<0,5	<0,5	3,68	0,5	16	7
Pd	<0,5	<0,5	0,60	0,5	2	21
Pr	<0,2	<0,2	1,32	0,2	14	9
Pt	<2	<2	<2	2	1	22
Rb	7	7	33	?	23	0
Re	<0,05	<0,05	0,10	0,05	1	22
Rh	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0	23
Ru	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0	23
Sc	<10	*20	16	10	15	8
Sm	<0,2	<0,2	0,76	0,2	13	10
Sr	30	150	89	?	23	0
Tb	<0,1	<0,1	0,15	0,1	8	15
Te	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0	23
Th	<0,5	<0,5	3,7	0,5	13	10
Ti	175	220	169	?	23	0
Tl	<0,1	<0,1	0,18	0,1	4	19
Tm	<0,05	<0,05	0,07	0,05	5	18
U	<0,5	6	9,24	0,5	20	3
Y	<0,1	0,2	1,90	0,1	21	2
Yb	<0,05	<0,05	0,26	0,05	15	8
Zr	<0,5	2	2,40	0,5	22	1

Bilaga 4

Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:G

Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet och redox-potential i 23 bergprover med perkolationsstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004

**Perkolationstest 01-G,
metaller+anjoner**

µg/kg L/S 10

Fet stil innebär att mätvärdet är under bestämbarhetsgränsen
och därför redovisas denna istället

Typ	Namn	Provnr	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn
1	Sedimentär Kalksten	01:01	40	380	10	2	50	100	20	30
3	Metamorf Dolomit	02:01	10	30	10	1	50	100	20	30
4	Skiffer	02:02	20	50	10	1	50	100	20	30
5	Sedimentåde	02:03	30	30	10	1	50	100	20	100
6	Kvartsit	02:04	100	500	10	1	50	100	20	30
7	Amfibolit	02:05	10	30	10	1	50	100	20	30
8	Grävacka	02:06	100	30	10	3	50	100	20	270
16	Magmatisk Älvdalsporfy	03:05	20	50	10	1	50	100	20	130
18	Granit finkor	03:09	10	30	10	1	50	100	20	100
20	RV 40	04:01	10	30	10	1	50	100	20	30
	Best.gräns		10	30	30	1	50	100	20	30
	NFS 2004:10		500	20000	40	-	500	2000	10	-
	Antal över best.gr		7	6	0	2	0	0	0	4
			As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn
	Medelvärde alla *1		46	173	10	2,5	50	100	20	150
	Medelvärde totalinnehåll		9870	415000	304	44300	43000	26700		1030000
	Urlakning procent		0,463	0,042	3,289	0,006	0,116	0,375		0,015

*1 Medelvärdet är beräknat på de värden som ligger över bestämbarhetsgränsen

										Anjoner	mg/kg	OBS	Enhet!	
Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Se	Zn	V	W		Cl-	F-	SO42-	NO3-	PO43-
	90	150	10	20	50	30	500	7	5	50	10	250	50	10
	50	150	10	20	50	30	500	3	10	50	10	250	50	10
	50	150	10	5	50	30	500	30	5	50	10	250	50	10
	50	150	10	5	50	30	500	20	5	50	10	250	50	10
	100	150	10	5	50	30	500	4	5	50	20	250	50	10
	50	150	10	5	50	30	500	100	5	50	10	250	50	10
	50	150	10	5	50	30	500	20	20	50	20	250	50	10
	90	150	10	5	50	30	500	6	5	50	15	250	50	10
	60	150	10	5	50	30	500	10	5	50	20	250	50	10
	50	150	10	5	50	30	500	80	5	50	10	250	50	10
	50	150	10	5	50	30	500	3	5	50	10	250	50	10
	500	400	500	60	-	100	4000	-	-	800	10	1000	-	-
	5	0	0	4	0	0	0	9	2	0	4	0	0	0
Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Se	Zn	V	W		Cl-	F-	SO42-	NO3-	PO43-
	78	150	10	13	50	30	500	31	15	50	19	250	50	10
	1730	19800	21300	400	4270	5000	70000		204000					
	4,509	0,758	0,047	3,125	1,171	0,600	0,714		0,007					

Bilaga 5

Sammanställning av analysrapport SP – P4 00838-01:H

Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 23 bergprover med perkolationstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004

Berg, lakning, perkolationstest, rapport P4 00838-01-H

Semikvantitativ scan, metaller µg/kg

L/S-kvot

10

sid 1 av 2

Namn		Kalksten	Dolomit	Skiffer	Sediment- ådergnejs	Kvartsit
provnr		01:01	02:01	02:02	02:03	02:04
pH, (L/S=8)		7,6	8,5	8,1	7,6	7,6
Konduktivitet, (L/S=8) mS/cm		0,06	0,05	0,04	0,04	0,05
Redoxpotential, (L/S=8), mV		400	330	390	490	460
Ag	Silver	0,1	<0,1	<0,1	1	0,1
Al	Aluminium	450	110	7100	4500	1300
Au	Guld	0,05	0,1	0,03	0,1	0,04
B	Bor	130	20	7	40	20
Be	Beryllium	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1
Bi	Vismut	<0,02	<0,02	<0,02	1	0,1
Ca	Kalcium	89000	25000	27000	30000	81000
Ce	Cerium	0,02	0,01	1	2	0,3
Cs	Cesium	3	1	1	4	3
Dy	Dysprosium	<0,005	<0,005	0,1	0,1	0,1
Er	Erbium	<0,002	<0,002	0,03	0,04	0,1
Eu	Europium	0,2	0,02	0,02	0,04	0,3
Fe	Järn	30	20	330	280	100
Ga	Gallium	1	0,1	6	7	2
Gd	Gadolinium	<30	<0,01	0,1	0,1	0,1
Ge	Germanium	1	2	<0,1	0,1	1
Hf	Hafnium	<0,01	<0,01	0,01	0,03	0,1
Ho	Holmium	<0,005	<0,005	0,01	0,01	0,02

Ir	Iridium	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01
K	Kalium	11500	4500	37000	32000	11500
La	Lantan	0,02	<0,005	1	1	0,2
Li	Litium	20	10	10	30	6
Lu	Lutetium	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
Mg	Magnesium	3300	39000	1600	3900	5000
Na	Natrium	7000	3400	3900	5300	1100
Nb	Niob	0,001	<0,02	0,1	0,1	0,1
Nd	Neodym	0,01	<0,005	0,4	1	0,2
Pd	Palladium	0,3	0,1	0,01	0,2	0,3
Pr	Praseodym	<0,005	<0,005	0,1	0,2	0,04
Pt	Platina	<0,01	0,1	<0,01	0,1	0,03
Rb	Rubidium	9	20	100	50	30
Re	Rhenium	0,03	0,01	<0,005	<0,005	0,04
Rh	Rodium	0,02	<0,005	<0,005	0,01	0,02
Ru	Rutenium	0,01	<0,005	0,01	0,01	<0,005
Sc	Skandium	10	10	20	20	10
Sm	Samarium	<0,005	<0,005	0,1	0,1	0,04
Sr	Strontium	340	40	90	160	230
Tb	Terbium	<0,005	<0,005	0,01	0,02	0,02
Te	Tellur	<0,005	<0,005	0,1	0,01	<0,005
Th	Torium	<0,005	0,01	0,4	0,04	0,04
Ti	Titan	560	160	190	180	490
Tl	Tallium	<0,005	0,02	0,1	0,1	0,2
Tm	Tulium	<0,005	<0,005	0,002	0,01	0,01
U	Uran	20	1	10	20	8
Y	Yttrium	0,02	<0,005	0,3	0,4	1
Yb	Ytterbium	<0,005	<0,005	0,03	0,03	0,1
Zr	Zirkonium	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1

Berg, lakning, perkolationstest, rapport P4 00838-01-H

Semikvantitativ scan, metaller µg/kg

L/S-kvot

10

sid 2 av 2

	Amfibolit	Gråvacka	Älvdals- porfyr	Granit, finkornig	RV 40
provnr	02:05	02:06	03:05	03:09	04:01
pH (L/S=8)	7,6	6,9	7,5	7,8	7,6
Konduk- tivitet, (L/S=8) mS/cm	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
Redoxpoten- tial, (L/S=8), mV	460	410	480	460	390
Ag	<0,1	0,2	1	1	<0,1
Al	2600	36000	6800	5900	4000
Au	<0,05	0,1	0,3	4	<0,05
B	15	30	25	30	20
Be	<0,05	0,1	<0,05	0,1	0,1
Bi	<0,02	1	0,2	0,1	<0,02
Ca	6900	20000	44000	49000	11000
Ce	0,1	3	1	1	30
Cs	1	6	20	4	1
Dy	0,01	0,2	0,1	0,1	1
Er	0,003	0,1	0,04	0,1	0,4
Eu	<0,02	0,03	0,04	0,02	0,3
Fe	60	640	120	80	780
Ga	5	4	6	10	5
Gd	0,01	0,3	0,1	0,1	2
Ge	0,3	0,4	1	6	1
Hf	<0,01	0,02	0,04	0,01	<0,01
Ho	<0,005	0,03	0,01	0,02	0,1

Ir	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01
K	3200	53000	25000	24000	12000
La	0,04	2	0,4	0,3	20
Li	4	60	20	30	10
Lu	<0,005	0,01	0,01	0,02	0,02
Mg	1300	8300	1000	1700	2100
Na	33000	16000	43000	51000	19000
Nb	<0,02	0,2	0,1	0,2	0,3
Nd	0,04	1	0,3	0,2	10
Pd	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4
Pr	0,01	0,4	0,1	0,1	4
Pt	0,02	0,01	0,05	0,1	0,04
Rb	10	90	60	80	30
Re	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
Rh	<0,005	0,01	0,02	0,02	<0,005
Ru	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Sc	20	30	30	30	30
Sm	0,01	0,2	0,1	0,1	2
Sr	80	120	200	290	80
Tb	0,002	0,04	0,01	0,02	0,2
Te	0,1	0,02	0,01	1	3
Th	<0,005	0,1	0,2	0,1	0,3
Ti	70	140	270	290	150
Tl	<0,005	0,4	0,2	0,1	<0,005
Tm	0,002	0,01	0,2	0,05	0,02
U	1	20	40	160	50
Y	0,1	1	0,3	1	3
Yb	0,01	0,1	0,03	0,1	0,2
Zr	<0,005	0,2	0,4	<0,005	0,1

Bilaga 6

Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:A

Analys av fukt och totalhalt av 17 metaller i 15 moränprover

Morän, Totalhalter, 01-A

Metaller µg/kg Totalhalt Inlämningstillstånd

sid 1 av 2

Typ	Namn	provnr	fukt, %	Arsenik	Barium	Kadmium	Kobolt	Krom	Koppar
Morän	Västerås	1	0,9	12 000	390 000	310	8 700	36 000	20 000
Morän	Hallstahammar	2	0,1	700	420 000	130	2 700	160 000	6 100
Morän	Fellingsbro	3	0,9	990	410 000	150	3 200	120 000	8 000
Morän	Hallsberg	4	0,9	24 000	340 000	340	5 400	100 000	20 000
Morän	Finnsång	5	0,6	975	320 000	115	4 800	280 000	11 000
Morän	Vadstena	6	1,2	4 500	260 000	190	4 900	92 000	12 000
Morän	Tranås	7	0,7	3 100	430 000	180	4 300	91 000	7 400
Morän	Nässjö	8	1,3	1 200	380 000	110	8 400	185 000	9 200
Morän	Lenhovda	9	0,7	1 500	390 000	200	5 800	330 000	8 300
Morän	Skillingaryd	10	0,5	510	540 000	120	4 800	50 000	6 100
Morän	Borås	11	1,4	5 100	550 000	240	12 000	77 000	24 000
Morän	Falköping	12	1,3	7 700	370 000	230	8 600	34 000	19 000
Morän	Götene	13	1,1	470	400 000	150	7 800	82 000	9 000
Morän	Karlsborg	14	0,4	700	1 110 000	180	3 900	56 000	4 700
Morän	Vingåker	15	3,2	2 500	390 000	190	7 900	40 000	8 800
			fukt, %	Arsenik	Barium	Kadmium	Kobolt	Krom	Koppar
	Medelv		0,86	4396,33	446667	189	6213	115533	11573
	Standardavvikelse		0,38	6317	197508	68	2570	88798	6095
	Median		0,90	1500	390000	180	5400	91000	9000
	Antal värden under best.gräns			1					

Morän, Totalhalter, 01-A Metaller µg/kg Totalhalt Inlämningstillstånd

sid 2 av 2

	Kvicksilv	Mangan	Molybden	Nickel	Bly	Antimon	Selen	Tenn	Wolfram	Vanadin	Zink
7	480 000		290	15 000	11 400	260	2 500	1 700	1 100	65 500	80 000
4	220 000		4 700	5 500	14 000	200	2 500	3 800	5 900	21 000	32 000
16	230 000		3 500	9 000	13 000	200	2 500	1 500	4 400	23 000	29 000
65	240 000		31 000	14 000	11 000	930	2 500	1 200	3 200	140 000	62 000
4	240 000		8 900	10 000	19 000	200	2 500	1 100	9 200	32 000	56 000
16	680 000		3 300	13 000	7 000	330	2 500	700	2 900	32 000	43 000
6	390 000		3 100	9 300	13 000	260	2 500	770	3 700	32 000	49 000
6	385 000		2 800	23 500	6 800	200	2 500	700	3 100	59 000	53 500
7	450 000		11 000	13 000	25 000	370	2 500	1 700	12 000	41 000	61 500
5	430 000		1 300	7 800	14 000	200	2 500	700	1 800	34 000	80 500
13	1 270 000		2 300	29 000	18 000	640	2 500	1 300	2 600	77 000	81 000
8	1 040 000		4 000	24 000	15 000	700	2 500	920	1 300	68 000	55 000
3	550 000		2 400	12 500	15 000	200	2 500	1 400	3 000	45 000	64 000
6	510 000		1 600	3 400	17 000	257	2 500	1 200	2 500	42 000	51 000
3	420 000		900	11 700	20 000	240	2 500	2 200	2 100	49 000	68 000
	Kvicksilv	Mangan	Molybden	Nickel	Bly	Antimon	Selen	Tenn	Wolfram	Vanadin	Zink
11	502333		5406	13380	14613	513	2500	1566	3920	50700	57700
15	298262		7643	7102	4796	251	0	802	3010	29804	16008
6	430000		3100	12500	14000	330	2500	1350	3000	42000	56000

6

15

3

Bilaga 7

Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:B

Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet, DOC och redox-potential i 15 moränprover med skaktest enligt SS-EN12457-3

Morän, skaktest 01-B, metaller+anjoner

Metaller µg/kg L/S 10

Fet stil innebär att mätvärdet är under bestämbarhetsgränsen och därför redovisas denna istället

Typ	Namn	Provnr	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni
Morän	Västerås	1	30	40	3	5	30	70	15	140	50	30
Morän	Hallstahamm	2	0,5	10	3	2,5	30	50	15	645	50	10
Morän	Fellingsbro	3	0,5	105	3	3	30	50	15	220	50	10
Morän	Hallsberg	4	9	250	22	40	30	50	15	250	50	65
Morän	Finnspång	5	0,5	40	3	1	30	50	15	240	50	10
Morän	Vadstena	6	15	45	3	1	30	50	15	40	190	10
Morän	Tranås	7	0,5	90	3	8	30	50	15	590	50	10
Morän	Nässjö	8	0,5	95	3	5	30	50	15	170	50	10
Morän	Lenhovda	9	0,5	475	3	14	30	50	15	4110	50	50
Morän	Skillingsryd	10	0,5	35	3	1	30	50	15	45	50	10
Morän	Borås	11	0,5	375	3	30	30	50	15	1670	50	25
Morän	Falköping	12	0,5	90	3	3	30	50	15	270	50	20
Morän	Götene	13	0,5	25	3	3	30	50	15	120	50	10
Morän	Karlsborg	14	0,5	260	3	13	30	50	15	250	50	10
Morän	Vingåker	15	0,5	30	3	5	30	50	15	240	50	10
Best.gräns			0,5	?	3	1	30	50	15	?	50	10
NFS 2004:10			500	20000	40	-	500	2000	10	-	500	400
Antal över best.gräns			3	15	2	14	0	1	0	15	1	5
			As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni
Medelvärde alla *1			18	131	13	10	30	70	15	600	190	38
Totalhalt			4396	446667	189	6213	115533	11573	11	502333	5406	13380
Urlakning / totalhalt			0,41	0,03	6,61	0,15	0,03	0,60	133,14	0,12	3,51	0,28

*1 Medelvärdet är beräknat på de värden som ligger över bestämbarhetsgränsen

										mg/kg	Anjoner	OBS	Enhet!		
Typ	Namn	Provnr	Pb	Sb	Se	Sn	V	W	Zn	Cl-	F-	SO4	NO3	PO4	DOC
Morän	Västerås	1	10	1	10	5	14	5	50	50	5	50	250	250	50
Morän	Hallstahan	2	10	1	10	5	2,5	5	110	50	5	50	250	250	20
Morän	Fellingsbr	3	10	1	10	5	1	5	150	50	5	50	250	250	25
Morän	Hallsberg	4	10	1	10	5	30	5	275	50	5	55	250	250	45
Morän	Finnsång	5	10	1	10	5	3	5	50	50	5	50	250	250	30
Morän	Vadstena	6	10	4	10	5	10	5	50	50	5	60	250	250	90
Morän	Tranås	7	10	1	10	5	1	5	130	50	5	50	250	250	15
Morän	Nässjö	8	10	1	10	5	1	5	50	50	5	50	250	250	15
Morän	Lenhovda	9	10	1	10	5	1	5	200	50	5	50	250	250	25
Morän	Skillingary	10	10	1	10	5	1	5	50	50	5	50	250	250	7
Morän	Borås	11	10	1	10	5	1	5	645	50	5	50	250	250	7
Morän	Falköping	12	10	1	10	5	9	5	50	50	5	150	250	250	12
Morän	Götene	13	10	1	10	5	2	5	60	50	5	120	250	250	20
Morän	Karlsborg	14	10	1	10	5	2	5	330	50	5	50	250	250	20
Morän	Vingåker	15	10	1	10	5	4	5	50	50	5	50	250	250	16
Best.gräns			10	1	10	5	1	5	50	50	5	50	250	250	?
NFS 2004:10			500	60	100	-	-	-	4000	800	10	1000	-	-	-
Antal över best.gräns			0	3	0	0	11	0	8	0	0	4	0	0	15
			Pb	Sb	Se	Sn	V	W	Zn	Cl-	F-	SO4	NO3	PO4	DOC
Medelvärde alla *1			10	2	10	5	7	5	238	50	5	96	250	250	26
Totalhalt			14613	513	2500	1566	50700	3920	57700						
Urläkning / totalhalt			0,07	0,39	0,40	0,32	0,01	0,13	0,41						

*1 Medelvärdet är beräknat på de värden som ligger över bestämbarhetsgränsen

Bilaga 8

Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:C

Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 15 moränprover med skaktest enligt SS-EN12457-3

Morän, lakning, skaktest, rapport P4 03453-01-C

Semikvantitativ scan, metaller, µg/kg

L/S-kvot 10

Sid 1 av 3

Fet stil betyder att skillnaden mellan de två proven är större än 15 %

Namn		Västerås	Hallsta- hammar	Fellings- bro	Hallsberg	Finnsång	Vadstena
provrnr		1	2	3	4	5	6
Fukt, %		0,9	4	12	13	2	5
pH, (L/S=8)		5,8	6,1	5,4	5,2	6,3	7,6
Konduktivitet, (L/S=8) mS/cm		0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,1
Redoxpoten- tial, (L/S=8), mV		430	340	330	340	350	350
Ag	Silver	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Al	Aluminium	4700	990	1180	2300	1850	1200
Au	Guld	<10	<10	<10	<10	<10	<10
B	Bor	20	<20	<20	20	60	50
Be	Beryllium	<1	<1	<1	2	<1	<1
Bi	Vismut	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	Kalcium	<100	<100	<100	<100	<100	230
Ce	Cerium	15	25	12	35	45	*6
Cs	Cesium	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Dy	Dysprosium	1	1,5	1	3,5	1	0,2
Er	Erbium	1	1	0,5	2	0,6	0,1
Eu	Europium	0,3	0,3	0,3	1	0,2	0,1
Fe	Järn	3100	690	140	2000	1400	880
Ga	Gallium	0,7	0,2	<0,1	0,2	0,2	0,3
Gd	Gadolinium	1	2	1	3,5	1,5	0,5
Ge	Germanium	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Hf	Hafnium	0,3	0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1
Ho	Holmium	0,2	0,3	0,2	0,6	0,2	0,04

Ir	Iridium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
K	Kalium	7	<100	<100	<100	<100	<100
La	Lantan	7	*8	6	9	6	*3
Li	Litium	8	2	4	6	1	5
Lu	Lutetium	0,1	0,2	0,1	0,3	<0,1	<0,1
Mg	Magnesium	3	<25	<25	<25	<25	<25
Na	Natrium	14	<50	<50	<50	<50	<50
Nb	Niob	0,6	2	<0,2	<0,2	0,4	<0,2
Nd	Neodym	8	10	6	20	6	3
Pd	Palladium	0,7	1	0,5	2,5	0,6	0,2
Pr	Praseodym	2	3	2	4,5	2	0,8
Pt	Platina	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Rb	Rubidium	9	6	20	5	14	3
Re	Rhenium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Rh	Rodium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ru	Rutenium	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sc	Skandium	20	7,5	9	13	15	25
Sm	Samarium	1	2	1	4,5	1,5	0,5
Sr	Strontium	20	<5	15	30	7	120
Tb	Terbium	0,2	0,4	0,2	0,7	0,2	0,1
Te	Tellur	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Th	Torium	0,4	2	0,2	0,7	3	0,3
Ti	Titan	140	70	15	50	70	300
Tl	Tallium	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1
Tm	Tulium	0,1	0,2	0,06	0,3	0,1	<0,05
U	Uran	0,7	2,5	0,7	25	1	2
Y	Yttrium	5	*8	4	15	1	1
Yb	Ytterbium	0,8	1	0,4	2	0,6	0,1
Zr	Zirkonium	6	2	1	9	3	3

Morän, lakning, skaktest, rapport P4 03453-01-C

Semikvantitativ scan, metaller, µg/kg

L/S-kvot 10

Sid 2 av 3

Fet stil betyder att skillnaden mellan de två proven är större än 15 %

Namn	Tranås	Nässjö	Lenhovda	Skillinga- ryd	Borås	Falköping	Götene	Karlsborg
provnr	7	8	9	10	11	12	13	14
Fukt, %	5	11	4	5	11	12	2	2
pH (L/S=8)	4,8	4,9	5	4,9	3,7	5,8	5,6	5,8
Konduktivitet, mS/cm	0,02	0,02	0,07	0,02	0,1	0,03	0,01	0,01
Redox- potential, mV	360	370	350	340	340	440	450	400
Ag	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Al	1050	370	5000	<50	33000	4750	1600	2300
Au	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
B	<20	20	200	<20	275	155	20	15
Be	<1	<1	6	<1	2	<1	<1	1
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	<100	<100	<100	<100	3400	<100	<100	<100
Ce	4	2	55	<0,5	14	15	30	15
Cs	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1	<0,5	<0,5
Dy	0,2	0,2	4	<0,05	2,5	1	1	1
Er	0,1	0,2	2	<0,1	0,7	1	1	0,5
Eu	0,1	0,1	1	<0,1	0,7	0,4	0,3	0,5
Fe	100	50	300	<50	55	2950	420	450
Ga	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	0,1
Gd	0,2	0,3	10	<0,1	3	1,5	1,5	1,5
Ge	<2	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2
Hf	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ho	0,03	0,05	0,7	<0,02	0,4	0,3	0,3	0,2

Ir	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
K	<100	<100	<100	<100	3150	2	2	4
La	1,5	1	230	<0,5	25	4	7	8
Li	1	1	2	<1	1	3	0,1	6
Lu	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<1	<0,1
Mg	<25	<25	<25	<25	2250	4,5	0,5	2
Na	<50	<50	<50	<50	5100	25	5	7
Nb	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,6	0,6	0,3
Nd	1	2	55	<0,2	10	6	8,5	9
Pd	<0,2	0,2	3,5	<0,2	1	1	1	0,5
Pr	0,4	0,4	23	<0,1	3	1,5	2,5	3
Pt	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Rb	3,5	0,5	30	2	7	7	3	10
Re	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Rh	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ru	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sc	12	10	20	3,5	20	25	7	10
Sm	0,2	0,3	6,5	<0,1	1,5	1,5	1,5	1
Sr	20	30	150	7,5	60	80	20	40
Tb	<0,1	0,1	1	<0,05	0,3	0,3	0,3	0,2
Te	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Th	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	0,4	0,2	0,2
Ti	10	15	60	<5	7	155	70	90
Tl	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1
Tm	<0,05	<0,05	0,2	<0,05	0,1	0,1	0,1	0,1
U	0,1	<0,1	0,7	<0,1	0,6	1	0,3	0,3
Y	0,8	1	30	<0,5	15	7	5,5	4
Yb	0,1	0,2	1,5	<0,05	0,5	1	1	0,4
Zr	0,7	0,4	1,5	<0,5	<0,5	3	1	1

Morän, lakning, skaktest, rapport P4 03453-01-C

Semikvantitativ scan, metaller, µg/kg

L/S-kvot 10

Sid 3 av 3

Fet stil betyder att skillnaden mellan de två proven är större än 15 %

	Vingåker				
provnr	15				
Fukt, %	11				
pH (L/S=8)	5,9				
Konduktivitet, mS/cm	0,01				
Redoxpotential, mV	390	Medelvärde	Bestämbarhetsgräns	Antal värden över bestämbarhetsgränsen	Antal värden under bestämbarhetsgränsen
Ag	<5	<5	5	0	15
Al	2450	4481,43	50	14	1
Au	<10	<10	10	0	15
B	60	81,36	20	11	4
Be	<1	2,75	1	4	11
Bi	<0,1	<0,1	0,1	0	15
Ca	<100	1815,00	100	0	15
Ce	5	20,92	0,5	14	1
Cs	<0,5	1,00	0,5	0	15
Dy	0,5	1,19	0,05	14	1
Er	0,3	0,79	0,1	14	1
Eu	0,1	0,39	0,1	14	1
Fe	1350	991,79	50	14	1
Ga	0,3	0,33	0,1	8	7
Gd	0,5	2,00	0,1	14	1
Ge	<2	2,00	2	0	15
Hf	<0,1	0,27	0,1	0	15
Ho	0,1	0,26	0,02	14	1

Ir	<0,1	<0,1	0,1	0	15
K	1	1578,50	100	6	9
La	2	25,54	0,5	14	1
Li	4	3,15	1	14	1
Lu	<0,1	0,14	0,1	0	15
Mg	2	377,00	25	6	9
Na	20	861,83	50	6	9
Nb	0,4	0,70	0,2	7	8
Nd	3	10,54	0,2	14	1
Pd	0,3	1,00	0,2	13	2
Pr	0,7	3,49	0,1	14	1
Pt	<0,5	<50	0,5	0	15
Rb	4	8,27		15	0
Re	<0,1	<0,1	0,1	0	15
Rh	<0,1	<0,1	0,1	0	15
Ru	<0,1	<0,1	0,1	0	15
Sc	20	14,47		15	0
Sm	0,5	1,68	0,1	14	1
Sr	25	44,61		14	1
Tb	0,1	0,32	0,1	13	2
Te	<0,1	0,10	0,1	0	15
Th	0,5	0,74	0,1	11	4
Ti	105	82,64	5	14	1
Tl	<0,1	0,20	0,1	0	15
Tm	<0,05	0,14	0,05	0	15
U	0,5	2,72	0,1	13	2
Y	2	7,02	0,5	14	1
Yb	0,4	0,74	0,05	14	1
Zr	3	2,66	0,5	13	2

Bilaga 9

Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:D

Analys av 17 metaller och 5 anjoner samt fukt, pH, konduktivitet, DOC och redox-potential i 7 moränprover med perkolationstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004

Morän, perkolationstest, 01-D, metaller+anjoner

L/S 10

Fet stil innebär att mätvärdet är under bestämbarhetsgränsen och därför redovisas denna istället

Typ	Namn	Provnr	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb
Morän	Hallstahamm	2	10	30	10	8	50	100	20	4300	50	150	10
Morän	Hallsberg	4	10	120	10	20	50	100	20	1600	50	150	10
Morän	Finnsång	5	10	90	10	1	50	100	20	320	50	150	10
Morän	Vadstena	6	20	120	10	1	50	100	20	440	720	150	10
Morän	Nässjö	8	10	265	10	5	50	100	20	270	50	150	10
Morän	Lenhovda	9	10	80	10	6	50	100	20	4100	50	150	10
Morän	Falköping	12	10	30	10	1	50	100	20	50	50	150	10
	Best.gräns		10	30	10	1	50	100	20	?	50	150	10
	NFS 2004:10		500	20000	40	-	500	2000	10	-	500	400	500
	Antal över best.gräns		1	5	0	5	0	0	0	7	1	0	0
			As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb
	Medelvärde alla *1		20	135	10	8	50	100	20	1583	720	150	10
	Totalhalt		4396	446667	189	6213	115533	11573	11	502333	5406	13380	14613
	Urlakning / totalhalt		0,455	0,030	5,291	0,129	0,043	0,864	177,515	0,315	13,319	1,121	0,068

*1 Medelvärdet är beräknat på de värden som ligger över bestämbarhetsgränsen

Typ	Namn	Provnr	mg/kg							Anjoner		OBS	Enhet!		
			Sb	Se	Sn	V	W	Zn	Cl-	F-	SO4	NO3	PO4	DOC	
Morän	Hallstahan	2	5	30	50	3	5	500	5	5	100	30	5	20	
Morän	Hallsberg	4	5	30	50	3	5	500	5	5	100	40	5	60	
Morän	Finnsång	5	5	30	50	3	5	500	5	5	100	30	5	30	
Morän	Vadstena	6	5	30	50	8	5	500	5	5	100	30	5	70	
Morän	Nässjö	8	5	30	50	3	5	500	5	5	100	50	5	30	
Morän	Lenhovda	9	5	30	50	3	5	500	5	5	100	30	5	30	
Morän	Falköping	12	5	30	50	3	5	500	5	5	100	30	5	10	
Best.gräns			5	30	50	3	5	500	5	5	100	30	5	?	
NFS 2004:10			60	100	-	-	-	4000	800	10	1000	-	-		
Antal över best.gräns			0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0		
			Sb	Se	Sn	V	W	Zn	Cl-	F-	SO4	NO3	PO4	DOC	
Medelvärde alla *1			5	30	50	8	5	500	5	5	100	45	5	36	
Totalhalt			513	2500	1566	50700	3920	57700							
Urläkning / totalhalt			0,975	1,200	3,193	0,016	0,128	0,867							

*1 Medelvärdet är beräknat på de värden som ligger över bestämbarhetsgränsen

Bilaga 10

Sammanställning av analysrapport SP – P4 03453-01:E

Semikvantitativ analys av 47 olika metaller på 7 moränprover med perkolationstest enligt SIS-CEN/TS 14405:2004

Morän, lakning, perkolationstest, rapport P4 03453-01:E

Semikvantitativ scan, metaller µg/kg

L/S-kvot

10

sid 1 av 2

Namn		Hallsta- hammar	Hallsberg	Finn-spång	Vadstena	Nässjö	Lenhovda	Falköping
provnr		2	4	5	6	7	8	12
pH, (L/S=8)		5,9	5,2	6,5	7,5	6,1	6	6,3
Konduk-tivitet, (L/S=8) mS/cm		0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01	0,01
Redoxpoten- tial, (L/S=8), mV		380	430	400	350	320	420	320
Ag	Silver	0,3	1,5	0,6	<0,1	0,5	0,5	0,1
Al	Aluminium	2700	5100	1100	1200	1100	600	920
Au	Guld	<0,05	3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
B	Bor	<5	20	10	630	6	20	30
Be	Beryllium	1	3	0,5	2	0,1	0,3	1
Bi	Vismut	0,02	0,02	0,1	<0,02	0,02	0,2	0,2
Ca	Kalcium	50	50	3	15400	130	30	30
Ce	Cerium	30	80	30	0,6	4	20	2
Cs	Cesium	1	1	1	3	0,5	1	1
Dy	Dysprosium	3	6	1	<0,005	0,4	3	1
Er	Erbium	2	5	1	0,1	0,3	2	0,5
Eu	Europium	0,4	2	0,3	0,2	0,3	1	0,2
Fe	Järn	360	400	<3	<3	<3	<3	<3
Ga	Gallium	0,2	0,03	0,1	0,4	<0,01	0,02	0,06
Gd	Gadolinium	6	10	3	0,4	1	10	1
Ge	Germanium	0,3	1	<0,1	<0,1	<0,1	1	<0,1
Hf	Hafnium	0,2	1	0,1	0,1	0,01	0,1	0,02
Ho	Holmium	0,5	1,5	0,3	0,04	0,1	0,5	0,1

Morän, lakning, perkolationstest, rapport P4 03453-01:E

Semikvantitativ scan, metaller µg/kg

L/S-kvot

10

sid 2 av 2

Namn		Hallsta- hammar	Hallsberg	Finn-spång	Vadstena	Nässjö	Lenhovda	Falköping
provnr		2	4	5	6	7	8	12
Ir	Iridium	<0,01	0,03	<0,01	1	<0,01	<0,01	<0,01
K	Kalium	3	4	30	85	0,3	70	1
La	Lantan	15	25	10	1	2	60	1
Li	Litium	0,5	6	<0,2	20	0,4	<0,2	<0,2
Lu	Lutetium	0,2	1	0,1	<0,005	0,04	0,1	0,1
Mg	Magnesium	0,1	1	0,5	7	0,3	2	1
Na	Natrium	8	6	3	40	5	4	40
Nb	Niob	1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05
Nd	Neodym	15	40	10	1	4	50	3
Pd	Palladium	2	6	1	1	0,4	2	1
Pr	Praseodym	5	10	3	0,2	1	15	1
Pt	Platina	0,03	0,1	0,04	1	2	0,2	0,05
Rb	Rubidium	20	10	40	10	2	40	4
Re	Rhenium	0,01	0,03	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
Rh	Rodium	0,01	0,01	<0,005	0,1	0,1	<0,005	0,01
Ru	Rutenium	<0,005	0,005	<0,005	0,03	0,005	<0,005	<0,005
Sc	Skandium	10	20	10	200	20	25	35
Sm	Samarium	3	10	2	0,2	1	7	1
Sr	Strontium	5	50	15	720	40	50	40
Tb	Terbium	1	2	0,3	0,04	0,1	1	0,1
Te	Tellur	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01
Th	Torium	2	1	1	0,1	<0,005	0,05	0,01
Ti	Titan	60	20	30	2400	20	30	30
Tl	Tallium	0,1	1	0,1	0,1	0,02	0,1	0,1
Tm	Tulium	0,2	1	0,1	<0,005	0,04	0,2	0,1
U	Uran	3	50	1	2	0,1	1	0,2
Y	Yttrium	10	40	7	1	3	10	3
Yb	Ytterbium	1	5	1	0,1	0,3	1	1
Zr	Zirkonium	0,1	1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

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

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35

