

Föroreningsspridning och geologi vid Filborna i Helsingborg

Filip Nilsson

Examensarbeten i Geologi vid
Lunds universitet - Kvantärgeologi, nr. 251
(30 hskp/ECTS)



I samarbete med Lunds Tekniska Högskola och
Nordvästra Skånes Renhållnings AB



Geologiska institutionen
Centrum för GeoBiosfärsvetenskap
Lunds universitet
2008

Förord

Detta är ett examensarbete om 30 hp inom geologiutbildningen vid Lunds Universitet i samarbete med Lunds Tekniska Högskola och Nordvästra Skånes Renhållnings AB. Arbetet är utfört vid NSR:s anläggning i Helsingborg.

Tack till handledarna som har hjälp till med följande bitar, Per Sandaren för granskning av texten, Torleif Dahlin för hjälp med resistivitetsmätningstrustningen och tolkning av data, Peter Flyhammar textgranskning och bollplank vid tolkningen, Magnus Lindsjö praktisk hjälp i Helsingborg och hjälp med att få fram information och Håkan Rosqvist med synpunkter på texten.

Arbete är finansierat av NSR i form av bekostande av skruvborrningar och inmätning med GPS.

Lund 2009

Filip Nilsson

Innehåll

Abstract	4
Sammanfattning.....	5
1. Inledning.....	6
1.1. Introduktion	6
1.2. Mål och syfte	6
1.3. Bakgrund	6
2. Områdesbeskrivning.....	7
2.1. Geologi	7
2.1.1. Kvärtärgeologi.....	7
2.1.2. Berggrund.....	7
2.2. Hydrogeologi.....	8
3. Miljöpåverkan	8
3.1. Lakvattenbildning.....	8
3.2. Lakvattensammansättning	9
3.3. Lakvattenplymer vid deponier.....	10
3.4. Tidigare undersökningar.....	10
4. Lagstiftning	10
5. Metoder	11
5.1. Resistivitet/IP mätning	11
5.1.1. Teori resistivetsmätning.....	11
5.1.2. Teori IP- mätning	12
5.1.3. Databearbetning.....	13
5.1.4. Metod för tolkning.....	13
5.1.5. Inmätning	13
5.2. Borrning	13
5.2.1. Loggning av lagerföljden	14
5.2.2. Kornstorleksanalys	15
5.2.3. Konduktivetsmätning	15
6. Resultat.....	15

Omslagsbild: Överskitsbild från undersökningsområdet vid Filbornadeponin i Helsingborg

6.1.	Geofysiska mätningar	15
6.1.1.	Resistivitet	15
6.1.2.	IP.....	15
6.1.3.	Normaliserad IP	15
6.2.	Borrning	18
6.2.1.	Geologisk lagerföljd	18
6.2.2.	Kornstorleksanalys.....	18
6.2.3.	Konduktivitetsmätning.....	18
7.	Geologisk modell.....	18
7.1.	Geologisk lagerföljd	18
7.1.1.	Fyllnadsmaterial.....	18
7.1.2.	Sand	18
7.1.3.	Morän.....	18
7.1.4.	Glacifluvialt material	18
7.1.5.	Berggrund	19
7.2.	Tolkning.....	19
8.	Grundvattenpåverkan.....	20
9.	Diskussion.....	21
9.1.	Jämförelser med tidigare undersökningar	22
10.	Slutsatser och rekommendationer	22
11.	Referenslista	23

1. Inledning

1.1. Introduktion

Mänsklig verksamhet har under alla tider producerat olika typer av avfall. Under industrialiseringen ökade behovet att bli av med avfall av olika slag. Detta eftersom samhällets struktur förändrades från att jordbruk med självhushållning dominerat, till att boende i städer med produktion av varor i industrier dominerar. Lösningen blev ofta att gräva ned avfallet där det fanns lämpliga hål att fylla igen. Efter hand har deponeringsverksamhet blivit mer strukturerat och kontrollerat tack vare förbättrad lagstiftning. Idag sker deponering i allt mindre omfattning tack vare återvinning och avfallsförbränning. Dock finns fortfarande ett behov av att göra sig av med avfallsprodukter som samhället inte har någon nytta av och som inte är möjligt eller rimligt att återvinna eller förbränna. Exakt vad som deponerats under en deponis driftsperiod och vilka ämnen som riskerar att urlakas från detta är inte helt lätt att ha fullständig kontroll över. Förändringar i avfallets sammansättning sker också över tiden. Det finns många gamla synder i form av äldre kända och okända deponier. Ett av problemen med äldre deponier är bristen på botten tätning vilket leder till läckage av lakvatten. De ämnen som har funnits och hanterats i samhället under driftsfasen kan troligen återfinnas i låga koncentrationer i lakvattnet. Trots omfattande inneslutningar sker alltid läckage från en deponi. Det är därför viktigt att ha kontroll över vad som sker i form av utsläpp från deponier under lång tid framöver. Detta kan ske på flera olika sätt varav kontrollprogram för provtagning av

grundvatten är ett. Andra metoder som kan användas är olika geofysiska metoder t.ex. multielektrodmätning för mätning av resistivitet och IP (inducerad polarisation), vilket använts i denna studie i kombination med borrhning och konduktivitetmätning.

1.2. Mål och syfte

Målet med detta projekt är att undersöka utbredningen på den förväntade föroreningsplymen av lakvatten, samt skapa en geologisk modell över området väster om Filbornadeponin i Helsingborg. Detta har skett genom multielektrodmätningar och skruvborrhning, samt studier av befintligt material. Undersökningsområdet avgränsas enligt fig. 3. område A. Baserat på den geologiska modellen kommer förutsättningar för förorenings-spridning i grundvattnet att diskuteras.

1.3. Bakgrund

Filborna avfallsanläggning ligger i nordöstra Helsingborg (se fig. 1. och 2.) och drivs idag av NSR (Nordvästra Skånes Renhållnings AB). Deponin (B i fig. 3.) har sedan 1951 använts för avfallsdeponering av Helsingborg kommun (Kallstenius och Thörnqvist 1970). Efter 1988 togs driften av deponin över av NSR (NSR 2008). Under åren 1951-1998 har totalt 11 000 000 m³ avfall deponerats. Arealen som deponin upptar är 30 ha och har en högsta nivå på drygt 40 meter över omgivningen. Deponin har under en lång period varit Sveriges största. Som ett exempel på vilka stora mängder avfall som har deponerats så beräknades det 1979-1980 att det totalt deponeras 225 000 m³ inklusive täckmassor (Marcus och Gedda 1980).



Fig. 1. Bild över pågående deponering av avfall på Filbornadeponin under hösten 2008. Ämnen urlakade ur deponerat avfall är den ursprungliga källan till problemen med läckage av förorenat grundvatten. Deponering vid denna anläggning (se fig. 3. område B) har upphört och ersatts med en ny deponi norr om denna (se fig.3. område E).

Mängden deponerat avfall har på senare år minskat. I anslutning till den huvudsakliga anläggningen finns en äldre deponi (Stentippen) (D i fig. 3.), Rökilledeponin som anlagts av Kemira för deponering av gips (C i fig. 3.), samt en nyanlagd deponi (E i fig. 3.).

För att få kunskap om hur situationen över utsläpp av lakvatten till omgivningen ser ut har området undersökts tidigare i ett flertal examensarbete samt i konsultrapporter. Exempel på examensarbeten som har haft ett liknade undersökningsområde är: "Geohydrologisk undersökning vid Filborna avfallsupplag i Helsingborg" av Eken (1987), "Geofysisk kartläggning av området nedströms Filborna avfallsanläggning" av Janson och Kandre (1997), "Geofysisk kartläggning etapp II vid Filborna avfallsanläggning" av Jansson och Wisèn (1998) och "Grundvattenmodellering av Filborna avfallsanläggning i Helsingborg" av Genberg (2007). Några exempel på konsultrapporter som genomförts: "Groundwater-Monitoring-System Filborna Landfill" av DR Dittrich och Partner (1999), samt ett stort antal undersökningar gjorda av konsultföretagen: K-konsult, Viak, Geokonsult, Tyrens och Sweco mellan åren 1970-2005. Syftet med detta examensarbete är att kunna tillföra ytterligare en pusselbit till det som redan är känt om geologin och föroreningsspridningen vid deponin. Detta har skett genom geofysiska undersökningar av makrens resistivitet/IP och kompletterande borrhningar, vilket ska göra att bilden av geologin i området och föroreningsspridningen via grundvattnet blir tydligare. Detta är viktigt dels för att ett av NSR:s två miljömål är att "påverkan på yt- och grundvatten



Fig. 2. Karta över Helsingborg med undersökningsområdet utmärkt med en röd prick. © Lantmäteriet Gävle 2009. Medgivande I 2008/1951

från dag- och lakvatten ska minska" (NRS 2008) och dels för kommande tillståndsprövning hos Länsstyrelsen i Skåne län.

2. Områdesbeskrivning

Området med deponier och undersökningsområdet (se fig. 2. och fig. 3.) är beläget i nordöstra Helsingborg, nära östra avfarten från E6:an. Verksamheten runt undersökningsområdet domineras utöver avfallsanläggningen, av industri, lagerverksamhet, bussgarage och en motorbana. Avgränsningen av undersökningsområdet ca 15 m innanför Välabäcken i sydöst, Basaltgatan i nordöst, strax utanför Grusvägen i nordväst och en ej namngiven gångväg i sydväst (se yta A fig. 3.). Morfologin på överytan i området är svagt kuperad, viss småkullighet finns där schaktning inte skett. Undersökningsområdet består av en kullig gräsbevuxen del som används för rekreation m.m. (se fig. 3.) (1), en del som är våtmark och kärr (2) och en del med bebyggda och obebyggda industrifastigheter (3). Tvärs igenom området passerar ån Välabäcken (4). Denna är kulverterad runt om deponin men kommer i dagen och passerar igenom undersökningsområdet. Kärrret är beväxt med diverse kärrväxter som vass och olika gräs. Delen med industrimark är delvis asfalterad och har delvis bar markyta av moränaktigt material.

Det finns tre deponier i området som angränsat till undersökningsområdet. Den mindre så kallade "Stentippen" (D i fig. 3.) som är av äldre ursprung och ligger söder om undersökningsområdet (mindre del ingår i undersökningsområdet). Denna deponi är delvis sanerad och är idag gräsbevuxen med enstaka buskar och snår. På den huvudsakliga deponin öster om undersökningsområdet (B i fig. 3.) har deponering skett till slutet av 2008. Det förekommer även flera andra verksamheter på detta område som fortgår efter att deponeringsverksamheten avslutats.

Filbornadeponin började anläggas 1951, inledningsvis byggdes den areamässigt stor men platt. Det saknades tät botten på deponin, dock fanns det dräneringsledningar på vissa delar. Det saknas alltså tätande bottenskikt på större delen av deponin, med undantag för någon enstaka hektar. Varefter behoven av deponering växt har den sedan byggts på höjden. 2002 inleddes sluttäckning. I november 2009 är ca 13 hektar sluttäckt (Lindsjö 2009). Det förekommer dock andra aktiviteter på Filbornadeponin (B i fig. 3.), t.ex. rötning av matavfall för biogasproduktion, återvinningsanläggning m.m. En ny deponi är under uppförande (E i fig. 3.).

På den tredje deponin, Rökilledeponin (C i fig. 3.) har det skett deponering av gips.

2.1. Geologi

2.1.1. Kvartärgeologi

De kvartära sedimenten består till största delen av morän. Även postglaciala sediment förekommer i form av sand. Detta bekräftas av Kallstenius och Thörnqvist (1970) som menar att de lösa jordlagren består till största delen av morän och moränlera samt lokalt sand och silt.

2.1.2. Berggrund

Berggrunden är vanligen belägen ett fåtal meter under markytan (Kallstenius och Thörnqvist 1970). Den består överst av främst sandsten (även silt/lersten förekommer) och där under av granit/gnejs. Berggrunden i området är en del av Helsingborgsformationen, vilken är uppbyggd av bergarter från Rät-Lias-perioden, Kågerödsformationen och Kambrosilurformationen. Det kristallina berget ligger på ett djup av 1000-1500 meter. Sprickor förekommer i NV-SO riktning i sandstenen (Marcus och Gedda 1980). Sandstenen är bitvis vittrad i överytan.

2.2. Hydrogeologi

Det finns flera akvifärer i området för vilka det inte är fullständigt känt i vilken grad de har något flöde av grundvatten mellan varandra. Riktningen på grundvattnets flöde följer topografin i respektive jordlager. Detta innebär att flödet sker mot Välabäcken (Stjernkvist 1989).

Nettonederbörden är i området ca: 200-300 mm per år varav 50-100 mm infiltrerar markytan och resten bildar ytvatten (Rydström 1984). Infiltration sker huvudsakligen i ett sandområde NO om undersökningsområdet (Marcus och Gedda 1980). Området kring Välabäcken är tack vare sin topografi en sänka jämfört med omgivande terräng "ett inflödes- och uppsamlingsområde för både yt- och grundvatten". Huvuddelen av det infiltrerade vattnet finns i det överlagrande/ intermoräna sandlagret (Stjernkvist 1987).

I berggrunden finns lager med leriga och siltiga och sandiga sedimentära bergarter med varierande permeabilitet (Stjernkvist 1989). Även tektonik påverkar vattnets möjligheter att transporteras. Generellt i regionen flödar grundvattnet i västlig riktning mot Öresund, undantaget de övre skikten. Zonen med vittrad sandsten bedöms vara ett slutet grundvattenmagasin med en tryckgrundvattennivå

placerad i nivå med de överlagrande jordlagren. (Marcus och Gedda 1980). Grundvattenmagasinet som ligger i den sedimentära berggrunden är huvudsakligen tätat av överliggande morän. Detta magasin är det största och enhetligaste (Rydström 1984). Flödet är mot Välabäcken NV om deponin och Tostarpsbäcken NO om deponin. Grundvattenmagasinet under moränleran bedöms ha övertryck i den delen som är nära Välabäcken (Stjernkvist 1989).

I delen med morän bildar grundvattnet lokalt slutna magasin. Infiltration och grundvattenbildning avses vara låg (Marcus och Gedda 1980).

Lokaliseringmässigt är det ur hydrogeologisk synpunkt en nackdel att deponin befinner sig i på en låglänt plats eftersom grund och ytvatten söker sig dit (Stjernkvist 1989).

Enligt Stjernkvist (1989) flödar det tack vare de mäktiga lerlager som finns "ingen eller mycket obetydligt del av grundvattnet under och nedströms deponeringsområdet ... ned till berggrunden" utan det leds bort som ytligt grundvatten.

Grundvattennivån ligger nära markytan utifrån observationer under fältarbetet på flertalet platser i undersökningsområdet.

3. Miljöpåverkan

Lakvatten definieras som "ett vatten som varit i kontakt med deponerat material, och som avleds från eller kvarhålls i en deponi" (Naturvårdsverket 2008).

Lakvatten kan innehålla en stor mängd olika ämnen. Några exempel är: näringsämnen t.ex. kväve, syreförbrukande ämnen BOD (biologisk syreförbrukning) och COD (kemisk syreförbrukning) och metaller t.ex. bly, järn, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, mangan, nickel, zink och organiska miljögifter t.ex. dioxiner, bromerade flamskyddsmedel, bekämpningsmedel (Naturvårdsverket 2008).

3.1. Lakvattenbildning

Den huvudsakliga deponin stängdes under 2008 på grund av strängare EU-krav och har ersatts med en ny, norr om den tidigare deponin. Detta innebär dock inte att läckage av lakvattenförorenat grundvatten upphör inom överskådlig framtid.

Lakvatten bildas dels genom anaeroba processer inuti deponin och dels av regnvatten som trots topptäckning infiltrerar in från ytan. Även grundvatten från omgivningen kan läcka in. Det inträngande vattnet löser joner, metaller och andra ämnen från avfallet.

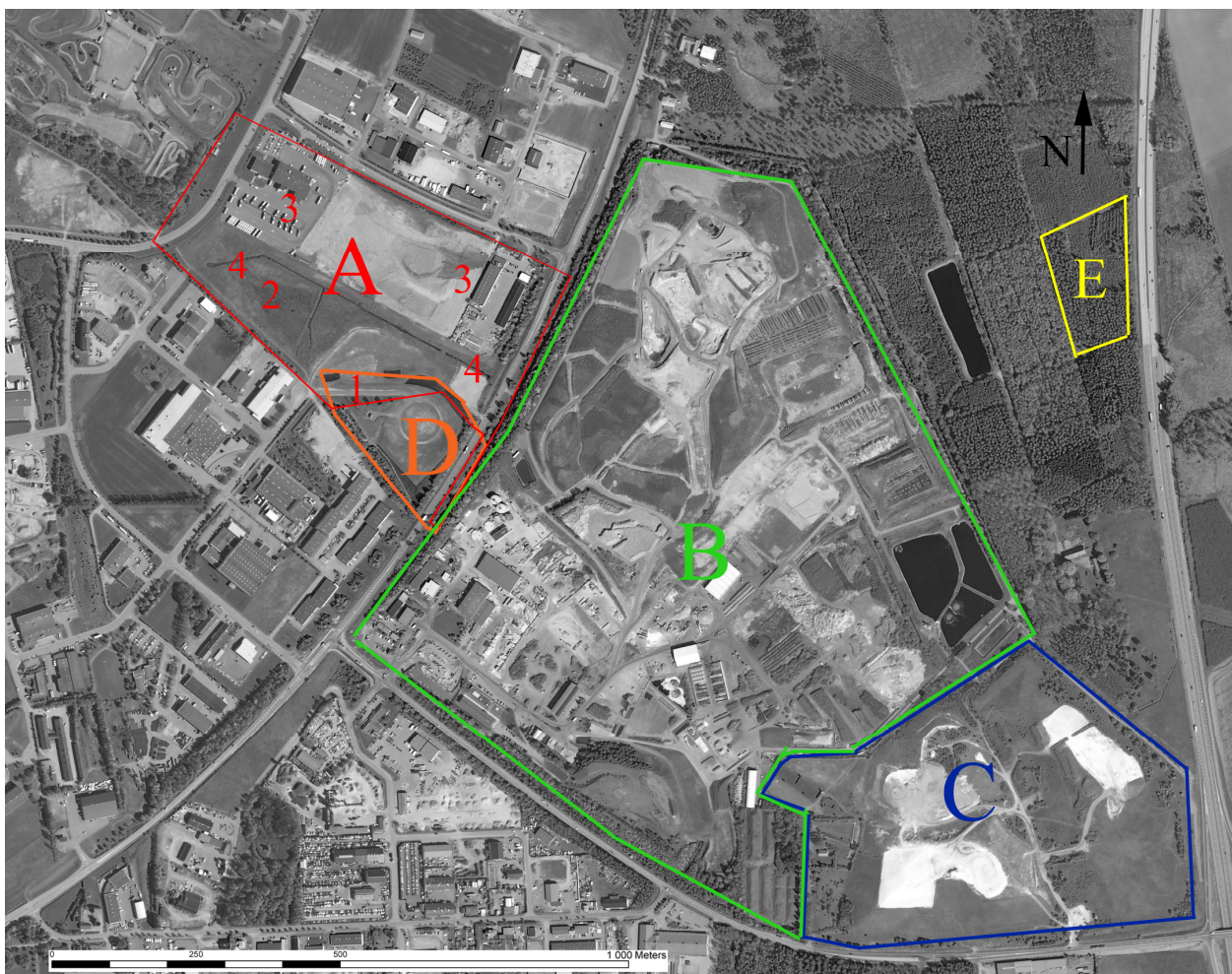


Fig. 3. Undersökningsområde (A), Filborna avfallsanläggning (B), Rökilledeponin (C), Stentippen (D), nyanlagd deponi (E). Del av Stentippen som är inom undersökningsområdet (1), våtmark/kärr (2), företags/industri-mark (3), Välabäcken (4). © Lantmäteriet Gävle 2009. Medgivande I 2008/1951

och tas inte om hand på något effektivt sätt. Detta bedöms främst ske vid den huvudsakliga deponin (B i fig. 3.) och möjligen vid Rökilledeponin (C i fig. 3.) och Stentippen (D i fig. 3.).

3.2. Lakvattensammansättning

Det finns flera processer i deponier som skapar lakvattnet. I äldre deponier vilka ofta innehåller mycket organiskt material sker nedbrytningen i fyra steg (Naturvårdsverket 2008) (se figur 4).

Syre och nitratreducerande fas (aerob fas) vilken pågår några dagar till några veckor (Naturvårdsverket 2008). Denna fas är kortvarig tack vare att packning av avfallet sker och hög halt av organiskt material ger stor biologisk aktivitet, vilket förbrukar syret (Cerne *et al.* 2007).

Sur anaerob fas, sker under några veckor till cirka 10 år. Lakvattnet har då lågt pH, hög halt av

kväve, svavel, BOD, och COD. Urlakningen av metaller ur avfallet är störst i denna fas (Cerne *et al.* 2007).

Metanogen fas pågår under några månader till flera hundra år. Under fasen har lakvattnet neutralt eller basiskt pH, medelnivåer av BOD, höga halter av COD, järn, kväve och klorider. Under denna fas sjunker metallurlakningen från avfallet med undantaget bly (Cerne *et al.* 2007).

Humusbildande fas är den sista fasen och pågår i upp till 100 år (osäkert). Vid denna fas sker nedbrytning av svårnedbrytbart organiskt material (Cerne *et al.* 2007).

Dessa faser kan pågå samtidigt i en aktiv deponi på olika djup. I en avslutad deponi kan samtliga utom den aeroba fasen pågå (Naturvårdsverket 2008).

Konduktiviteten på lakvattnet varierar i de olika faser. Detta är intressant om denna variation i nivån på lakvattnets konduktivitet eventuellt kan påverka resistiviteten. Att den avtar i den anaeroba metanbildande fasen innebär att möjligheterna att använda resistivitetmätningar som metod att spåra lakvattenläckage bör minska något eller ge utslag som lätt kan misstolkas. Detta gäller om inte övriga föroreningsminskningar följer samma kurva.

3.3 Lakvattenplymer vid deponier

Utsläpp av lakvatten till mark och vatten bedöms generellt inte vara "källor av betydelse för utsläpp av farliga ämnen" enligt Naturvårdsverket (2008). Men på grund av att stora mängder farliga ämnen hanterats finns det ändå en "potentiell risk av stor betydelse". Kunskapen är något begränsad över vad som sker med föroreningarna när de släpps ut till mark och vatten. Detta är av vikt då även låga koncentrationer av föroreningar t.ex. bioackumulerande ämnen kan ha betydande påverkan på människa och miljö.

3.4 Tidigare undersökningar

I tidigare geofysiska undersökningar utförda av Janson och Kandre (1997) har en resistivitetsprofil placerats motsvarande P1 i fig. 9. (dock med längre utsträckning åt båda riktningar) samt en profil väster om Vålavägen. Mätningen av resistivitet motsvarande P1 visar på låga resistivitetsvärden med undantag för den mest nordliga och sydliga delen av profilen. Strax väster om Vålavägen visar mätningarna på hög resistivitet med undantag för de ytligare jordlagren vid Stentippen. De låga resistivitetsvärden som uppmätts tolkas som mest

troligt att de beror på påverkan från Filbornadeponin och marken under denna. I området längre ut från deponin, motsvarande P10, P8 och P9 (fig. 9.) finns låga resistivitetsvärden. Detta speciellt i området där Stentippen ligger men även kring Vålåbäcken. På övriga delar uppmätts högre resistivitetsvärden. Området kring Vålåbäcken bedöms vara påverkat av både Filbornadeponin och Stentippen. Det bedöms också troligt att det sker transport av förorenat grundvatten nedåt i berggrunden. I området motsvarande P7, P6 och P12 (se fig. 9.) återfinns en zon med låg resistivitet norr om Vålåbäcken. Det finns låg resistivitet i södra delen och högre i den norra delen. De lågresistiva områdena återfinns även här och tolkas som lakvattenpåverkat, alternativt vattenmättad moränlera. I delen motsvarande P4 och P5 (se fig. 9.) återfinns relativt hög resistivitet i den norra delen och i den södra relativt låg. Detta tolkas som att det är gränsen mellan jordlager och sand/siltsten, viken är påverkat av lakvatten. Vid undersökningar utförda av Jansson och Wisén (1998) har det med hjälp av släpgeoelektrisk utrustning utförts mätningar av resistivitet, främst i ett område motsvarande 3 i fig. 3. De släpgeoelektriska undersökningarna styrker Janson och Kandre (1997) resultat och tolkningar över området.

4. Lagstiftning

Lakvatten från deponier berör framför allt följande miljö kvalitetsmål: "god bebyggd miljö", "giftfri miljö", "levande sjöar och vattendrag", "grundvatten av god kvalitet och ingen övergödning" (Naturvårdsverket 2008). För denna undersökning vid Filbornadeponin är kopplingen till målen "giftfri miljö och grundvatten av god kvalitet" tydligast.

I andra kapitlet miljöbalken behandlas de allmänna hänsynsreglerna som alla verksamhetsutövare måste följa. Det ställs krav på "kunskap, produktval" (2 § och 3 §), "försiktighetsåtgärder" (3 §), "lämplig lokalisering" (3 §) och "hushållning med energi och råvaror" (§ 5). Ytterligare relevant lagstiftning i miljöbalken är kapitel 6 om miljökonsekvensbeskrivning, kapitel 9 som rör miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, kapitel 15 avfall och producentansvar, kapitel 22 förfarandet vid ansökan hos miljödomstolarna och kapitel 26 rörande tillsyn (Naturvårdsverket 2008). Detta är relevant då verksamhetsutövaren i detta fall NSR är skyldig att följa miljöbalken. För att kunna göra det så krävs att undersökningar om vilka konsekvenser som verksamheten medför genomförs.

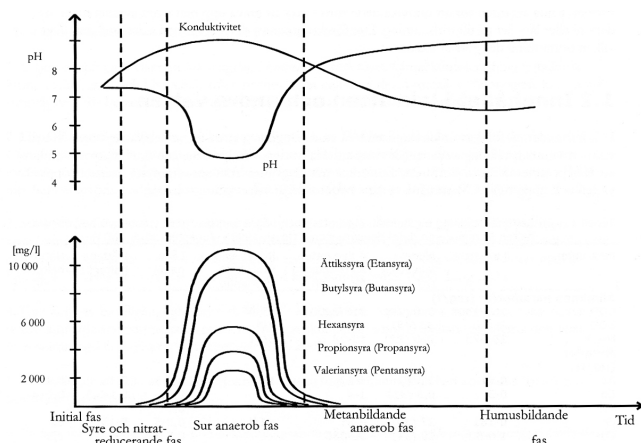


Fig. 4. Graf över förändringen i konduktivitet hos lakvattnet vid de olika nedbrytningsfaserna. Konduktiviteten ökar kraftigt på lakvattnet under den syre och nitratreducerande fasen och delar av den anaeroba fasen för att sedan långsamt minska. (Cerne et. al.)

5. Metoder

Metoderna som använts är: multielektrodmätning (resistivitet/IP mätning), borrhning med skrubborr, kornstorleksanalys och konduktivitetmätning av upplösta jordprover. Dessa metoder har valts med hänsyn till att med rimligt tidsåtgång kunna undersöka det angivna undersökningsområdet. De geofysiska metoderna, resistivitetmätning och IP-mätning ger möjlighet att få mycket data med kontinuerliga resultat. För att kunna tolka dessa data krävs borrhningar för att korrelera resistivitets och IP-värde mot områdets stratigrafi. Kornstorleksanalyser har genomförts för att kunna förfinna de i fält skapade loggarna över stratigrafien i borrhningen. Konduktivitetmätningarna på provtaget material syftade till att visa på föroreningsgrad i sediment och grundvatten. Detta var dock ej möjligt att genomföra, varför de enbart är använda för att kontrollera att tolkningen av föroreningar baserat på resistivitet/IP.

5.1. Resistivitet/IP mätning

Det finns tre huvudtyper av geoelektriska mätningar varav två har utförts i denna undersökning: resistivitet och IP-mätningar (inducerad polarisation), (den tredje metoden, självpotentialmätning är ej lämplig eftersom den har annat användningsområde). Resistivitet och IP har mätts med specialtillverkad utrustning från Lunds Tekniska Högskola (LTH). Mätningen sker genom att ström leds ned i marken genom två elektroder och mäts i två andra elektroder. Utrustningen ansluts till kabelutlägg som består av fyra kablar med totalt 48 aktiva elektroder (plus en femte kabel som används för att förflyttning vidare, så kallad "roll a long") (se fig. 7).

Mätning sker i två protokoll, ett långt med större elektrodavstånd respektive ett kort med mindre elektrodavstånd. Detta för att ett stort elektrodavstånd ger stort nedträngningsdjup och ett litet ger god upplösning. Genom att använda två avstånd fås både god djupnedträngning och god upplösning. På respektive elektrod-kabel finns ett flertal uttag, i detta fall med 2 meters avstånd. Att avståndet på just 2 meter används beror på att det är en lämplig kompromiss mellan djupnedträngning och upplösning. Vid dessa uttag slås en elektrod ned i marken och ansluts med en "jumper kabel". Inledningsvis används tre kablar för att för maximal nedträngning vid kanterna av profilen. Mätutrustningen placeras mellan kabel ett och två och ansluts till reläväxeln (se fig. 5. och fig. 6.). Efter att den inledande mätningen utförts förflyttas mätutrustningen ett steg och en fjärde kabel ansluts. Under tiden mätningen sker läggs den femte kabeln ut. När mätningen är fä-

rdig förflyttas mätutrustningen ett steg och kabel fem kopplas in och kabel ett ur och förflyttas vidare. Detta upprepas tills önskad profilängd uppnåtts varvid den inledande proceduren med tre kablar utförs i omvänd ordning. Vid passerande av vattendrag där det inte är möjligt att ansluta elektroden läggs kabeln direkt i vattnet och får på så vis kontakt med underliggande mark. Mätningarna har skett utmed linjer i följande ordning P1, P11, P10, P8, P9, P7, P6, P12, P13, P5 och P4, enligt de röda prickarna se fig. 9.

5.1.1. Teori resistivitetmätning

Resistivitet beskriver markens förmåga att fungera som isolator och är en materialegenskap dvs. en egenskap som är oberoende av ledarens längd och storlek (Jeppsson 2009). Resistivitet har beteckningen ρ (rå) och enheten Ωm . Hur stor resistiviteten är i ett material varierar mycket, t.ex. från lera som kan ha en resistivitet på 1-100 Ωm till kristallint berg med 5000- 50 000 Ωm . Genom denna differens i resistivitet kan lager



Fig. 5. Bild med elektroder anslutna via jumpers till kabel med 2 m elektrodavstånd. Kabeln ansluts till mätutrustningen längst upp i bilden (se fig. 6.). Vid första och sista mätningen används tre uppsättningar kablar och vid övriga mätningar används fyra kablar (se fig. 7.).

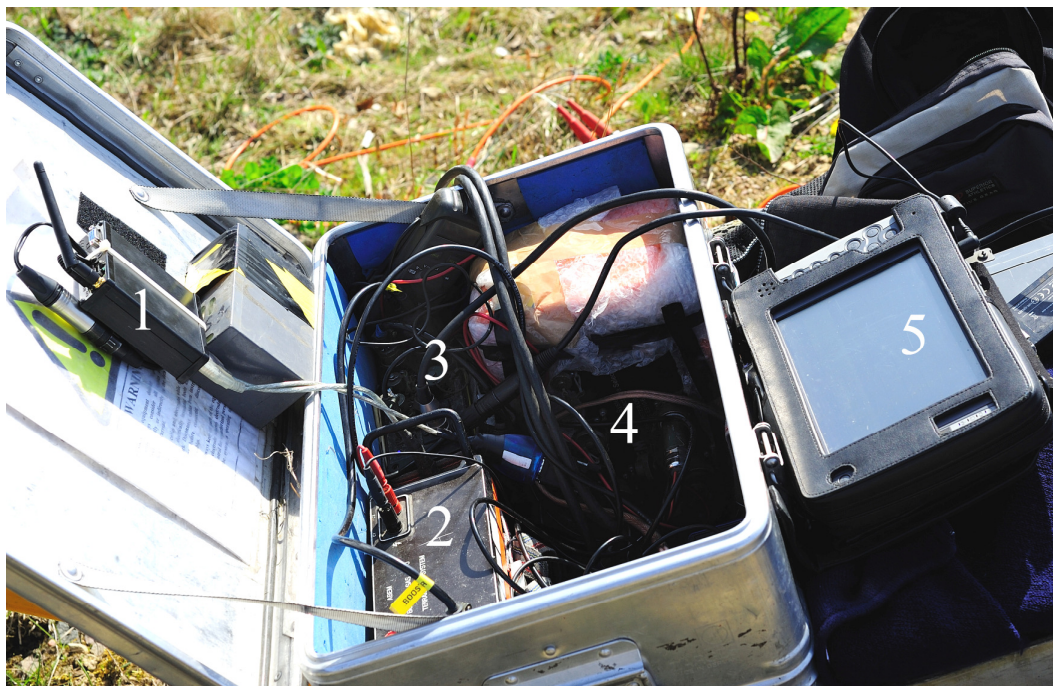


Fig. 6. Mätutrustning för multielektrodmätning på vagn. 1. Minidator vilken styr mätningarna, 2. strömsändare som skickar ut strömpulser i marken för mätningarna, 3. mätinstrument, 4. reläväxel som styr vilka elektroder som mätningen sker på och 5. bärbar dator som via wlan styr minidatorn. Vid mätning kopplas mätutrustningen till kablar varvid elektroder är anslutna.

med olika material och därigenom olika resistivitet skapa en geologisk tolkning över stratigrafin. Resistiviteten i ett material bestäms främst av porositeten, porfyllnadsgraden och porvätskans resistivitet och i andra hand av mineralsammansättning och mineralstruktur. De flesta vanligt förekommande mineral i berg och jordlager har hög resistivitet vilket gör att porerna har stor betydelse. Porvätskans resistivitet beror på hur hög koncentrationen av joner är, där kloridjoner ofta har störst betydelse. Generellt är det högre kloridhalter i recenta och fossila kustområden. Deponier, vägsaltning och avlopp påverkar också mängden kloridjoner i porvätskan och därigenom markens resistivitet. Mängden lermineral har även den stor betydelse för resistiviteten genom att lerpartiklarna täcks av positiva joner med god rörlighet. Porfyllnadsgraden påverkas av om materialet är i den kapillära zonen eller i den mättade zonen och därigenom påverkas resistiviteten. Resistiviteten är normalt låg i den mättade zonen. I den omättade zonen påverkar porstorlek

och nederbörd hur stor fyllnadsgraden i porerna är. Intervallen som ett givet material kan ha är brett och dessutom överlappas de ofta av varandra (se tabell 1.).

5.1.2. Teori IP- mätning

Mätning av IP- effekten sker enligt tidsdomän-IP och presenteras som *chargeability* (Jeppsson 2009). Enheten *chargeability* är ett mått på avklingningen av spänning mellan två fastlagda tider. IP-effekten som uppstår kan förklaras genom membranpolarisationsmodellen. Modellen innebär att det finns negativa och positiva joner i porvätskan. På många material t.ex. lermineral finns ett positivt laddat ytskikt. När en ström läggs på mellan elektroderna skapas en polarisation (spänningsskillnad). Denna stiger tills strömmen stängs av och tiden tills den återgår till noll mäts. För att det ska fungera att mäta IP-effekten är det en förutsättning att markens har en låg förmåga att förflytta joner och att halten joner i porvätskan är låg.

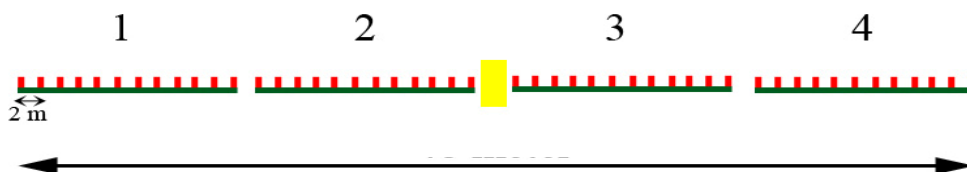


Fig. 7. Principskiss över typuppställning av använt utlägg av mätkablar (gröna), elektroder (röda) och mätutrustning (gul rektangel) för mätning av resistivitet och IP.

5.1.3. Databearbetning

Uppmätt data är bearbetade i flera steg. Med hjälp av programmet Erigraph kontrolleras att resultatet från mätningarna ter sig normala och att filerna är läsbara. Inversionen av data från skenbar resistivitet till ”verklig” resistivitet sker med hjälp av programmet Res2dinv. Med hjälp av programmet skapas en resistivitetsmodell utifrån uppmätta data. Denna jämförs med en beräknad modell mot vilken den uppmätta justeras. Processen upprepas tills det är små skillnader mellan beräknad modell och uppmätt modell, eller att maximalt antal repetitioner utförts. För att göra det hela mer hanterbart skapas en batchfil vilken gör att samma procedur kan ske på samtliga filer automatiskt. Inversionen upprepas automatiskt tills så lågt felvärde som möjligt skapas eller det maximala angivna antalet repetitioner skett. För att göra presentationen tydligare vänds profilerna så att alla ligger i samma riktning oavsett i vilken riktning mätningen skett i fält. Markytans topografi baserat på inmätningar med GPS läggs in. Profilerna för resistivitet, IP, normaliserad IP, geologitolkning och föroreningstolkning har sedan med hjälp av programmet EriViz ställts upp för att skapa en bild i 3D för respektive metod och tolkning.

5.1.4. Metod för tolkning

Tolkningarna är baserade på resultaten från multielektrodmätningarna vilket ger resistivitet, IP och normaliserad IP. Framtagna data från dessa undersökningar har jämförts mot i denna studie genomförda borrhningar med skruvborr och tidigare djupgående borrhningar. Även andra data i form av jorddjupsbedömning utförd av Sweco (2004) och den generaliserade profilen av

Tabell 1. Normala resistiviteter i olika material (Jeppsson 2009). Resistiviteten på samma material kan variera stort med samma material på olika plat-

Material	Normala intervall resistivitet i Ωm
Lera	1-200
Torr sand	800-5000
Våt sand	100-500
Morän, lerfattig	300-3000
Moränlera	20-200
Sandsten	100-20 000
Hushållsavfall	10-50
Lakvattenplym från hushållsavfall	1-10
Bygg och rivningsavfall	30-300
Industriavfall	1-1000

geologin utförd av Dittrich och Partner (1997) (se bilaga 8.) har vägts in. Tolkningen av profilerna från CVES, IP och normaliserad IP är genomfört i Adobe Photoshop med profilerna i bakgrund och korrelering med utförda borrhningar. Djupa borrhningar även de utförda av Dittrich och Partner (1997) har också använts i tolkningen. Som stöd har jorddjupsdata i form av isolinjer från Sweco (2004) (se bilaga 8.) placerats ut på flygfoto över undersökningsområdet med genomförda profiler utplacerade.

5.1.5. Inmätning

Inmätning av profiler och borrhpunkter med GPS har skett av en konsult anlitad av NSR. Även markytans topografi på profilerna har mätts i samband med inmätningen. Helsingborgs lokala system har använts som koordinatsystem.

5. 2. Borrhning

Skruvborrning har skett med hjälp av en Geotech borrhbandvagn i samarbete med Tyrens. Denna maskin driver en 1 meter lång borrh runt och trycker ned denna



Fig. 8. Bild från skruvborrning med Geotech borrhbandvagn. Jordprovet som följer med borren upp rensas från kontamineringar, loggas och prov till kornstorleksanalys från representativa djup tages.

med hjälp av hydraulik. Maskinen drar även upp borrarvarp på själva provet sitter. Detta skrapas rent från kontamineringar av jord och vatten med morakniv och förekommande lager mäts med tumstock. I möjligaste mån placerades borrhöjningarna i de tidigare utförda resistivitets/IP-profilernas sträckning. Syftet med denna placering var att kunna använda resultaten från borrhöjningarna för att korrelera mot resistivitet/IP värden i tolkningsfasen. Detta var dock inte möjligt på samtliga platser (se fig. 9.) på grund av att det förekom mycket ledningar och rör i området. Borrhöjningarna ger till skillnad från övriga metoder möjlighet att få ett exakt svar på vilka lager som förekommer i borrhöjningen och

viken typ av material de består av.

5.2.1. Loggning av lagerföljden

Under arbetets gång loggas lagerföljden meter för meter på millimeterpapper och prover tas på representativa nivåer från borrhöjningen och placeras i provtagningspåsar. Loggarna renritas sedan och korrigeras efter hur resultaten av kornstorleksanalyserna har utfallit. I de fallen placerades borrhöjningarna så nära profilerna som möjligt och bör därför inte ha inneburit några större avvikelser i resultat från om de placerats på tänkta positioner. Loggningen sker i syfte att beskriva stratigrafin i

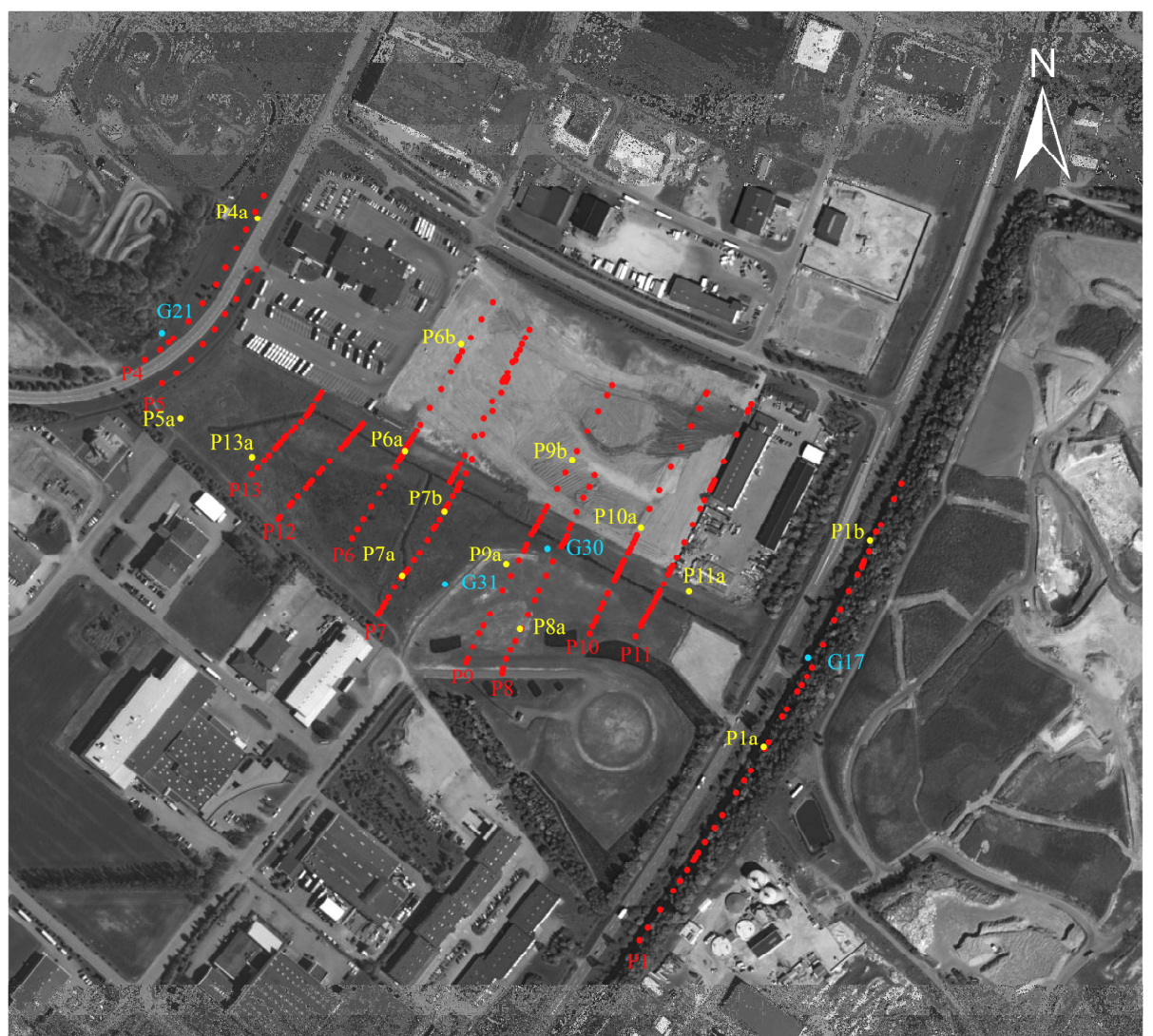


Fig. 9. Ortofoto över undersökningsområdet med profilerna över resistivitet, IP, normaliserad IP, tolkning av geologi och tolkning av föroreningsutbredning utmärkt med rött, egna borrhöjningar med gult och tidigare utförda borrhöjningar med turkos färg. Profiler har samma sträckning för resistivitet, IP, normaliserad IP, tolkning av geologi och tolkning av föroreningsutbredning. ©

borrpunkten.

5.2.2. Kornstorleksanalys

Kornstorleksanalys med torrsiktning sker genom att provet torkas i 110°C över natten. Provet vägs och partiklar >20 mm siktas bort. Med hjälp av dispergeringsvätska (natriumpyrofosfat) löses upp (dispergeras) och tvättas sedan med vatten genom en 0,063 mm sikt för att få bort finmaterial (silt och lerfraktioner). Torkning sker ännu en gång över natten i 110°C och provet vägs. Provet torrsiktas genom 18 stycken siktar (plus siktbotten) i en skakmaskin under 15 minuter. Innehållet i respektive sikt, vilket motsvarar en viss fraktion vägs och den procentuella viktfordelningen mellan de förekommande fraktionerna beräknas med hjälp av en mall till MS Excel. Partikelns diameter är större än på längden på maskvidden hos respektive sikt.

För att beräkna lerfraktionen används hydrometeranalys. Detta sker genom att angiven mängd material dispergeras (löses) i dispergeringsvätska (natriumpyrofosfat) och späds ut med avjoniserat vatten i en mätcylinder. Med en omrörare frisätts sedimenten i lösningen och själva analysen kan starta. En hydrometer sätts i mätcylindern och läses av vid fastställda tidpunkter. Densiteten hos lösningen förändras genom att tyngre partiklar sjunker till botten fortare och lättare hålls längre i suspension. Skillnaden i höjden på hydrometern ger ett värde på densiteten vid avläsningstidpunkten. Avlästa värden matas in i MS Excel-dokumentet och andelen ler respektive silt beräknas. Resultatet från kornstorleksanalysen används för att korrigera fältbedömningar vid renritning av loggar.

5.2.3. Konduktivitetmätning

Mätning av konduktivitet hos provtaget material mäts genom att 100 gram av utvalda prover från borrhningen löstes i en deciliter vatten i en bägare. Efter omrörning mäts konduktiviteten på lösningen med hjälp av konduktivitetmätare av modell Multi 340:MTW. Proverna torkas i ugn över natten och torrvikten fastställs.

6. Resultat

6.1. Geofysiska mätningar

6.1.1. Resistivitet

Resultatet av utförda resistivitetmätningar presenteras i form av elva profiler (se fig. 10.). Dessa visar resistiviteten i marken utifrån uppmätt skenbar resistivitet, datorprocessad genom inversion till verklig resistivitet. Se bilaga 1. för fullständiga profiler. Resistiviteten varierar kraftigt inom undersökningsområdet från nära

noll (blå färg i fig. 10.) till mer än 200 Ωm (röd färg i fig. 10.). Närmst Filbornadeponin i P1 finns ett lågresistivt skikt i de yttligare delarna samt i en del i mitten av profilen. Detta område kan sedan följas utåt från deponin fram till P6. I de västliga delarna (nära Stentippen) av P11, P10 och P9 finns ett område med ytligt lågresistivt material. I öster finns på samtliga profiler utom P12 och P13 högresistivt material nära markytan.

6.1.2. IP

Resultat från IP-mätning i 11 profiler (se fig. 11.) visar markens IP-effekt. För fullständiga profiler se bilaga 2. IP-effekten (dvs. markens förmåga att fungera som kondensator) varierar från 0 (blå färg i fig. 11.) till >40 mV/V (röd färg i fig. 11.) i undersökningsområdet. Generellt finns det högre IP-effekter på de stora djupen. Det finns dock även områden t.ex. i P8 med ytligare skikt med höga IP-effekter.

6.1.3. Normaliserad IP

Resultat över normaliserad IP det vill säga IP-mätning där det korrigerats för markens resistivitet (se fig. 12.). Fullständiga profiler finns i bilaga 3. Den normaliserade IP-effekten är på större delar av undersökningsområdet låg (blå färg i fig. 12.). Närmst deponierna, i P1 närmst Filbornadeponin finns kraftigast normaliserad IP samt i området närmst Stentippen i P8 och P9 (röd färg i fig. 12.). Det finns också en antydning i ett stråk från P11-P6 med svagt förhöjda normaliserade IP-värde.

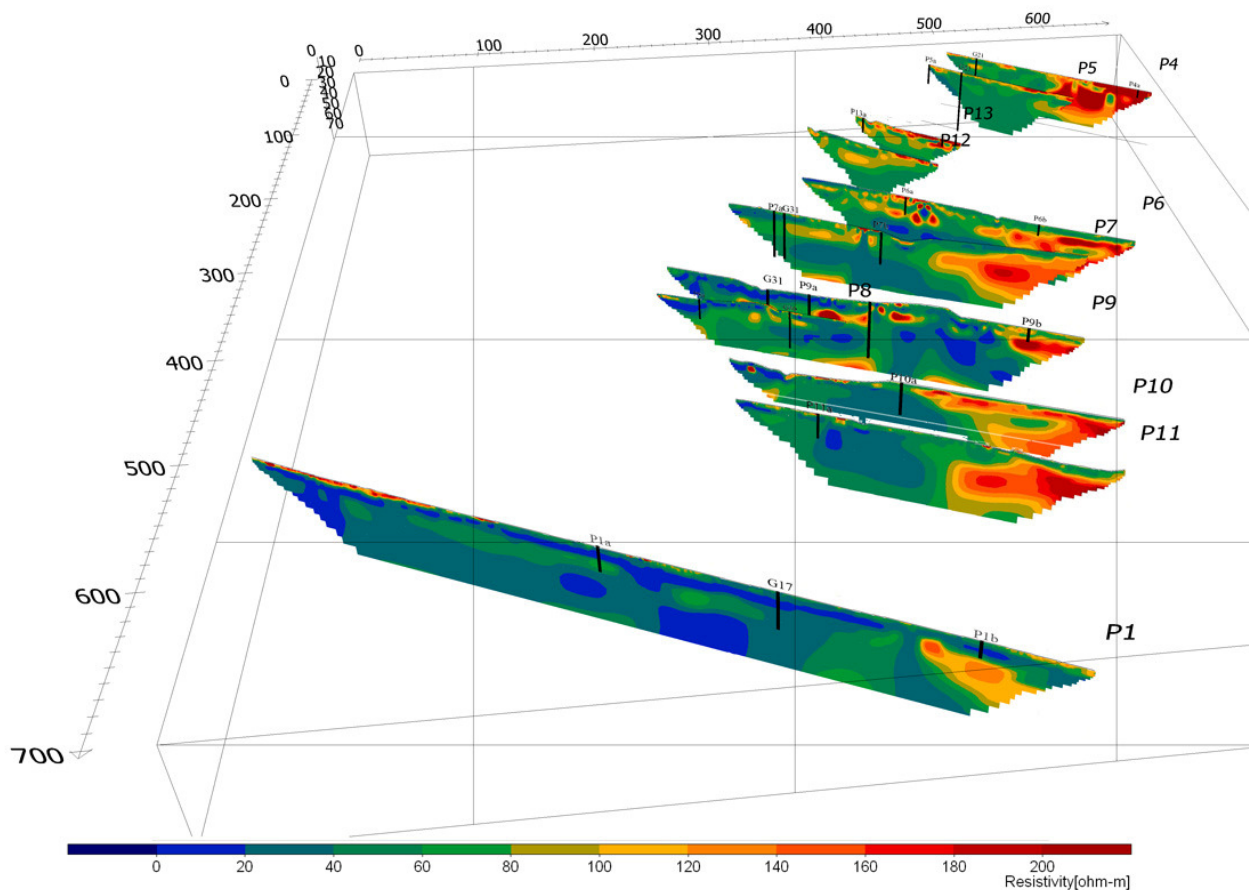


Fig. 10. 3D-modell över markens resistivitet i undersökningsområdet. Profilerna finns i full storlek i bilaga 1. P1 är närmst deponin och P4 längst ifrån, norr är åt höger i figuren. För exakt placering av profilerna se fig. 9. Längdskala i meter.

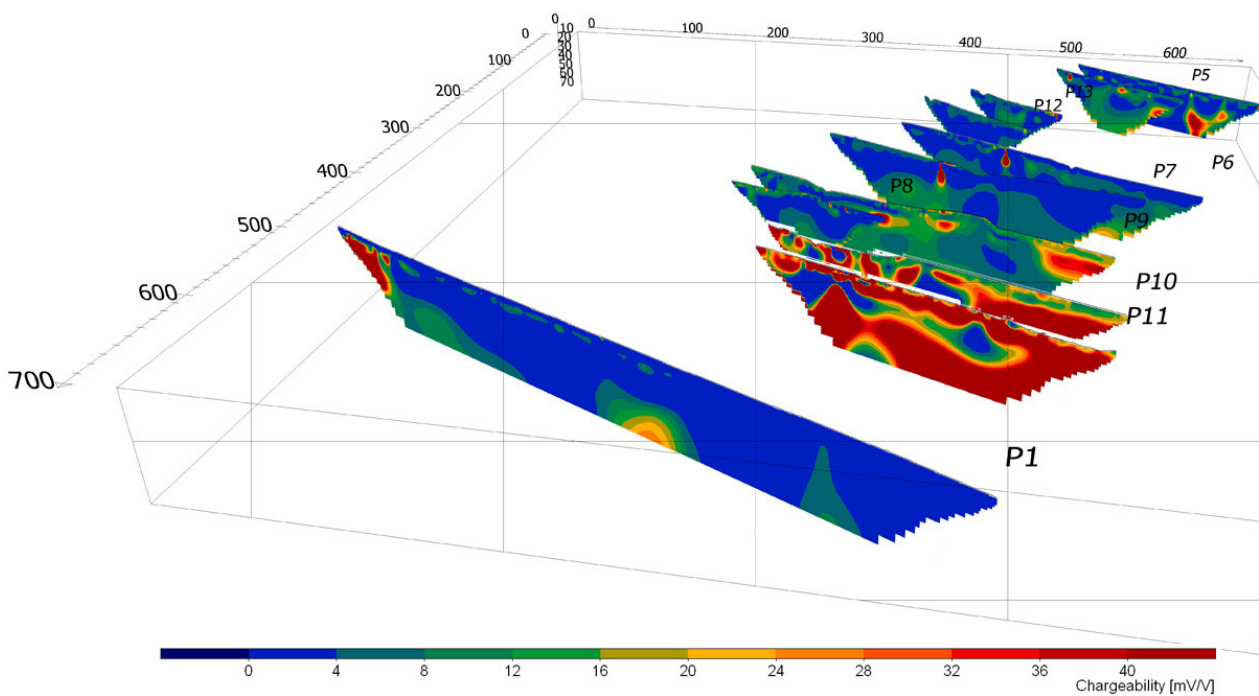


Fig. 11. 3D-bild över markens IP-effekt i undersökningsområdet. P1 är närmst deponin och P4 längst ifrån, norr är åt höger i figuren. Längdskala i meter.

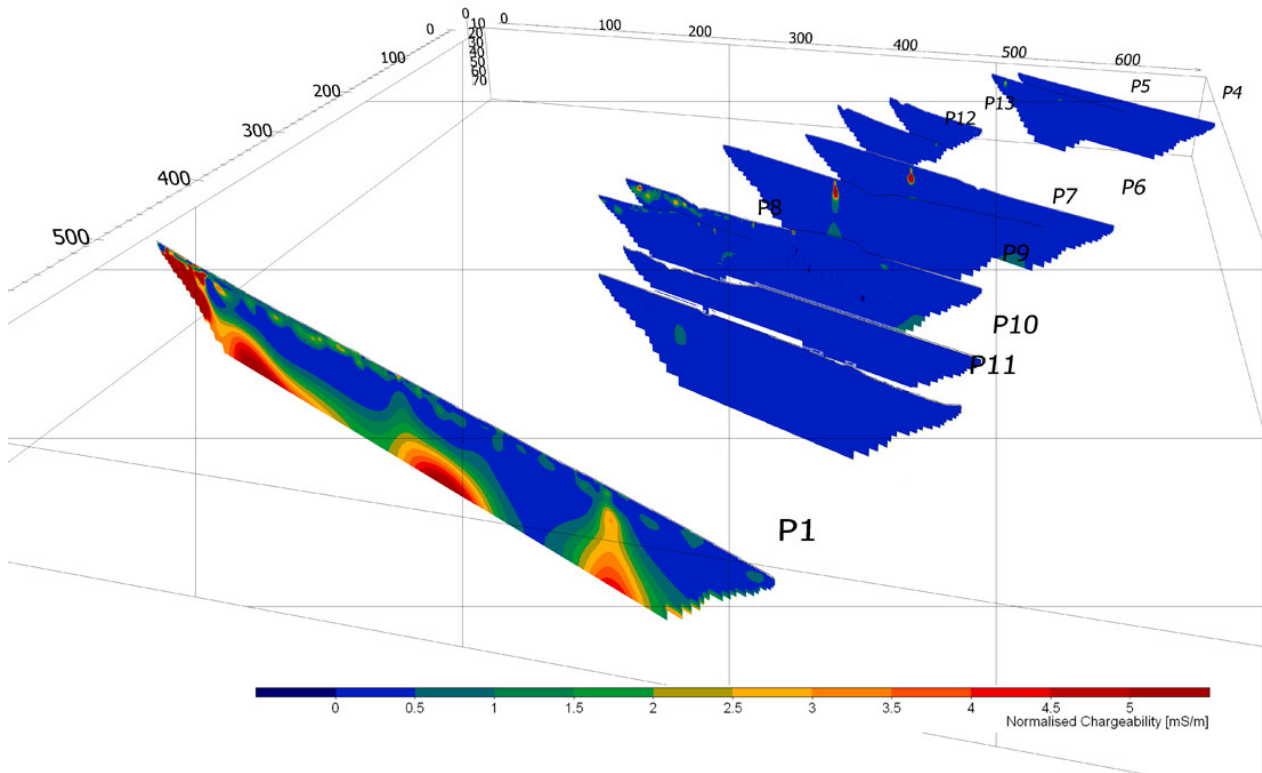


Fig. 12. 3D-modell över normaliserad IP i marken i undersökningsområdet. P1 är närmst deponin och P4 längst ifrån, norr är åt höger i figuren. Längdskala i meter.

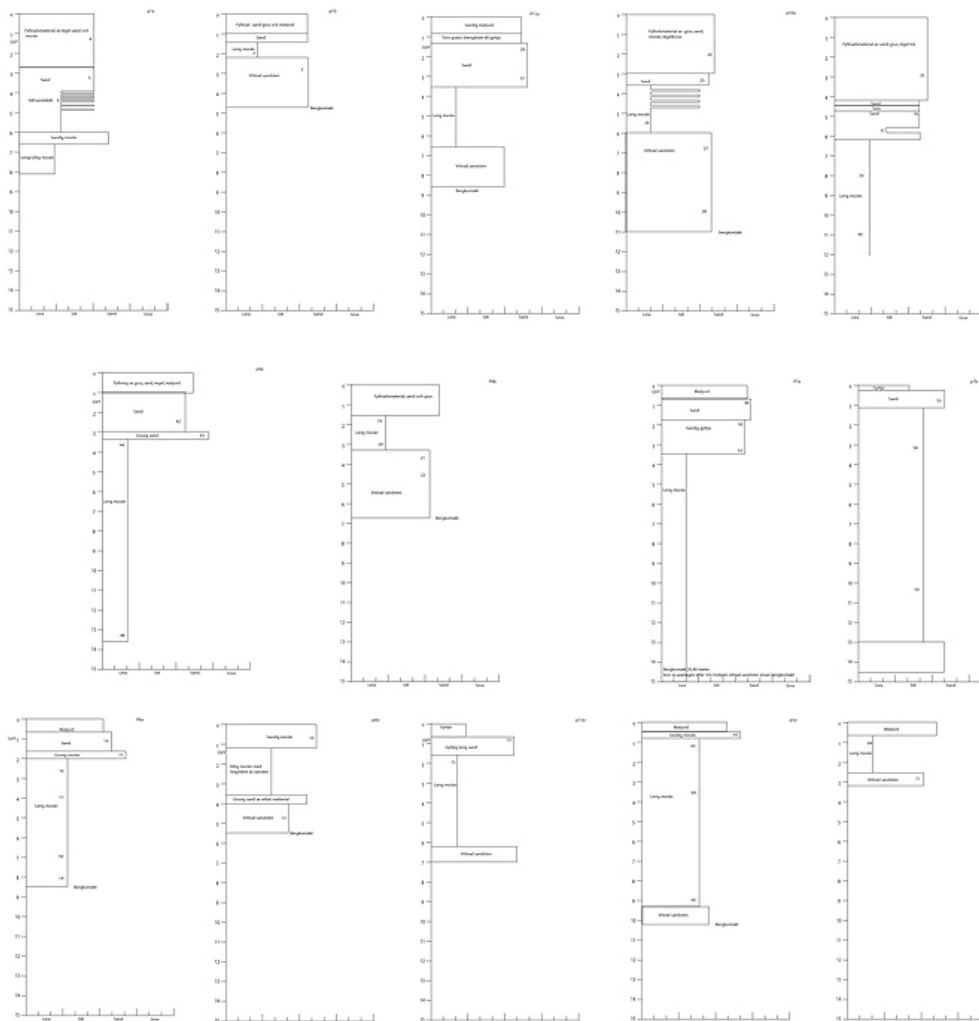


Fig. 13. Borrningar i ordningen P1a, P1b, P11a, P10a, P10b, P8a, P9a, P9b, P7a, P7b, P6a, P6b, P13a, P5a, P4a. För punkternas placering se fig. 9. Skalan till vänster anger djup och skala nederst anger kornstorlek, från ler till vänster till grus till höger. Fullständiga loggar i större format finns i bilaga 4.

6.2. Borrning

Fjorton borrhningar har genomförts för detta arbete och tre av Dittrich och Partner (1997) tidigare utförda borrhningar har använts. Borrhningarna presenteras i form av loggar se bilaga 4.

6.2.1. Geologisk lagerföljd

De fjorton borrhningarna resulterade i data över stratigrafien i undersökningsområdet. Dock var det ej möjligt att borra ned i det glaci-fluviala grovmaterialet. Borrhningarna indikerar att det finns sandiga lager ytligt över större delen av undersökningsområdet. Närmst Filbornadeponin, Stentippen och i området med industrimark finns fyllnadsmaterial. Morän av varierade typ från leriga till sandiga finns över större delen av området i varierande mäktigheter.

6.2.2. Kornstorleksanalys

Kornstorleksanalys har genomförts med torrsiktning och hydrometeranalys. För tabell över kornstorleksfördelning se bilaga 5. Fördelningen av de olika fraktionerna varierar stort mellan vilket material är som det provtagna är ifrån. Provtagningsnummer finns angivet i loggarna i bilaga 4. Resultatet från kornstorleksanalysen ligger delvis grund för renritningen av loggarna från borrhningarna. 6.2.3. Konduktivitetmätning

6.2.3. Konduktivitetmätning

Konduktivitetmätning har utförts på ett urval av provtaget material. Konduktiviteten varierar stort från 66-1151 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mikrosiemens/cm) (se tabell 2.). Dock är mätningen utförd i material både under och över grundvattenytan och i olika material vilket påverkar konduktiviteten på jord/vattenlösningen. Kopplingen mellan konduktivitet på provtaget material löst i vatten och konduktiviteten på provtaget grundvattnet visar inte på något tydligt samband.

7. Geologisk modell

7.1. Geologisk lagerföljd

7.1.1. Fyllnadsmaterial

Fyllnadsmaterialet skiftar karaktär över området. Närmst deponin innehåller det bland annat glas och tegel. I området vid stentippen finns även organiskt material i fyllnadsmaterialet som exempelvis trärester. Materialet har en karaktär som bitvis går åt att det är uppblandat med avfall. På delen som är industrimark är det enbart moränliknande fyllnadsmaterial (se grått lager i fig. 14.).

7.1.2. Sand

Ett lager med sand förekommer i stort sätt över hela undersökningsområdet i varierande tjocklek, från nå-

gon decimeter till ca fyra meter som mäktigast (se gult och grönt lager i fig. 14.). Skiktet av sand saknas dock i vissa delar, främst där schaktning förekommit.

Lagret underlagrar ovanliggande fyllnadsmaterial eller matjord och i området med våtmark av en igenväxningslagerföljd. I de yttre delarna som består av våtmark är sanden uppblandad med organsikt material bl.a. gyttja.

7.1.3. Morän

Ett lager av morän täcker stor del av undersökningsområdet (se ljus och mörkblått lager i fig. 14.). Lagret har en kraftigt varierande mäktighet. Störst konstaterad mäktighet ca 20 m i P7a och med mäktigheter på knappt 1 m i p1b. Moränlagret är tunt i nordöst, något djupare åt sydväst och djupast där i mellan. Det sker också en ökning av lagrets mäktighet åt nordväst längs dalgången. Det är troligt att det finns större mäktigheter av detta lager i de yttre delarna av undersökningsområdet.

Det är troligt att det förekommer flera delskikt i detta lager, då det finns utöver den huvudsakligen förekommande leriga moränen skikt med sandiga och grusiga delar. Den kraftigt dominerade typen av morän är lerig morän. Detta stöds också av profilen från Dittrich och Partner (1997) vilken har ett sandigt och ett grusigt lager (se bilaga 6.). Detta lager har inte varit möjligt i fältundersökningarna att följa så därför är det inte utmärkt i profilerna. Moränen har nedåt kontakt med berg viken är bitvis överlagrad med vittrad sandsten alternativt glaci-fluvialt material. Lagret överlagras med sand eller matjord.

7.1.4. Glaci-fluvialt material

I botten av dalgången finns ett lager med grovt glaci-fluvialt material (se grönt lager i fig. 14.). Det inte gick att komma ned i lagret med skruvborr vid något av försöken vilket tyder på att materialet är av grov karaktär troligen mindre block och stenar. Detta lager sträcker i nordvästlig riktning från närmst deponin till de yttre delarna av undersökningsområdet. Djupet ökar från deponin och utåt. Lagret bedöms ha både störst mäktighet och utbredning kring de centrala delarna av undersökningsområdet. Det är dock möjligt att det har lika stor utbredning och mäktighet i de yttre delarna. Den största vid borrhning konstaterade mäktigheten finns i G30 där det är 7,5 m med glaci-fluvialt material i form av grus och stenar upp till 1 m i diameter. Lagret ligger troligen i direkt kontakt med underliggande berggrund och överlagras med morän (baserat på borrhningar av Dittrich och Partner (1997)).

7.1.5. Berggrund

Berggrunden i undersökningsområdet är att döma av de vittrade partierna som det gått att få upp material ifrån i samband med skruvborrning främst sandsten. Det förekommer också lager av finkornigare fraktioner, silt och lersten. Utbredningen av dessa lager är oklar. Morfologiskt så finns det en dalgång med en relativt brant stupning på sidan som stryker åt sydöst medan det på motstående sida finns en flackare stupning. Djupet till berggrunden är ökande längre ut i undersökningsområdet, från ett fåtal meter till 24 meter i de yttre delarna och möjligen ännu större (se rött lager i fig. 14.).

7.2. Tolkning

Tolkningarna baseras på resultatet av i fält genomförda undersökningar i form av multielektrodmätning och borrning. Dessa har sedan processats och annan befintlig data har tagits i beaktande.

Borrningarna P10a och P11a med vittrad sandsten i botten gör att det blir något svårtolkat i denna del. Resultatet från borrning G20 (saknas hos NSR, dock finns den utsatt i den generaliserade profilen av Dittrich och Partner 1997, se bilaga 8.) tyder på att lagret med glacifluvialt grovt material börjar i P1 och sträcker sig vidare mot P11 och P10. I denna tolkning så slingrar det glacifluviala grovmaterialet i mellan P11a och P10a. Detta eftersom vittrad sandsten indikerar att det finns berg i dessa punkter och att P11a och P10a är precis i kanten av respektive sida. Tolkningen att det grova materialet börjar vid P1 stöds utöver att den finns med i G20 (på den generaliserade loggen) av orimligheten i att det plötsligt skulle finnas så pass utbredda lager i P8. Att det resultatet i P11a och P10a är vittrad sandsten i botten av borrningarna är då något märkligt. Det finns två alternativa förklaringar till detta. En är att det begåtts misstag vid loggandet av P11a och att är något annat material i botten. Detta känns mindre troligt då den vittrade sandstenen är så pass karakteristisk. Den andra möjliga förklaringen är att det gjorts en feltolkning i G20 av Dittrich och Partner (1997) och att det glacifluviala materialet börjar längre ut från deponin. Även ett stråk med något förhöjd normaliserad IP i ovan nämnda profiler stöder denna tolkning.

Bedömningen av det glacifluviala lagrets placering är osäker i P12 och P13 pga. den begränsade djupnedträngningen och att lämplig borrning i området saknas. En alternativ tolkning är att det sker en förgrening av det grova materialet i området kring P12 och P13 som är på sådant djup att det missats och detta hamnar

Tabell: 2. Data över konduktivitet/ 100g provtaget material från borrning i $\mu\text{S/cm}$. Konduktivitet ($\mu\text{S/cm}$) på grundvatten från närmast liggande provtagningsbrunn. Konduktivitet grundvatten är genomsnittliga värde från NRS provtagningsprogram 2008-02-25 till

Borrpunkt	Prov nr:	Konduktivitet/ 100g ($\mu\text{S/cm}$)	Konduktivitet grundvatten ($\mu\text{S/cm}$)
P11a	29	448	
P8a	35	533	251/241
P8a	36	755	251/241
P8a	37	1419	251/241
P8a	38	255	251/241
P10a	26	637	220/112/217
P10a	27	476	220/112/217
P6a	19	219	
P9b	20	393	
P6a	15	386	
P6b	11	311	
P13a	72	299	
P5a	62	81	71/230/179
P5a	66	348	71/230/179
P7b	55	100	
P7b	56	240	
P7b	59	264	
P9a	41	66	220/112/217
P9a	42	1151	220/112/217
P9a	43	760	220/112/217
P9a	45	209	220/112/217
P7a	50	383	
P7a	52	445	
P1a	5	534	374/334
P1a	6	344	374/334
P1a	7	602	374/334
P4a	68	181	
	Kranvatten	215	

utanför det undersökta området. Detta bör vara mindre sannolikt men kan inte helt uteslutas. P1 är relativt svårtolkad då lakvatten troligtvis har stor inverkan på materialets resistivitet och IP.

De centrala delarna av undersökningsområdet dvs. kring P10- P7 har störst tillförlitlighet. Detta på grund av att det är relativt kort avstånd mellan profilerna och det finns flera borrhningar både grunda och djupgående att stödja tolkningarna på. För lagren med sand, morän, matjord och fyllnadsmaterial finns goda grunder att tolkningarna är korrekta. Störst osäkerhet finns alltså i det glaci-fluviala materialet på grund av att det enbart finns loggar från tre borrhningar över hela undersökningsområdet som styrker tolkningarna baserade på de genomförda geoelektriska undersökningarna.

Som helhet bör tillförlitligheten vara god, vad det gäller de generella egenskaperna dvs. vilka lager som före-

kommer och dess utbredning och mäktighet. Den exakta placeringen och djup är svårare att med säkerhet säga utöver de punkter som det finns borrhningar på. Modellen visar det mest troliga utifrån givna data.

8. Grundvattenpåverkan

Det sker ett flöde av grundvatten som är förorenat ifrån Filbornadeponin och eventuellt också från Rökil-ledeponin ner mot berggrunden. Transporten sker i berggrunden och övergår till det glaci-fluviala materialet på grund av topografiska skillnader som skapar en grundvattentryckyta som driver ut grundvatten från berggrunden till lagret med glaci-fluvialt material. Det sker troligen också ett flöde i det ovanliggande lagret av morän. Föroreningarna leds snabbt vidare i det glaci-fluviala materialet tack vare att det är så pass grovt. Det sker också ett flöde i ytligare lager av förorenat grundvatten från stentippen. Detta är av mer lokal ka-

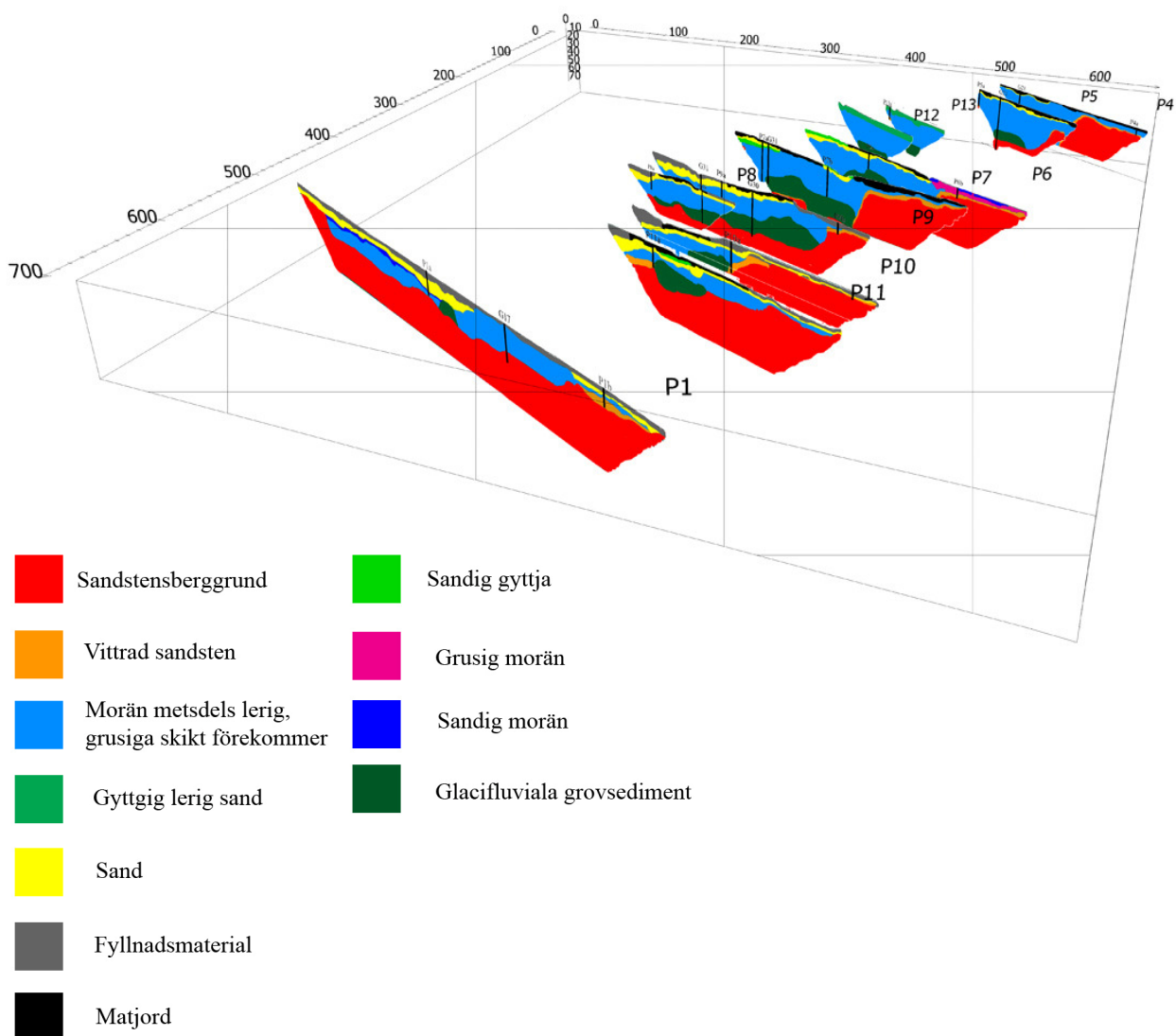


Fig. 14. 3D-modell över tolkning av geologin i undersökningsområdet. Se fig. 9. för profilernas placering.

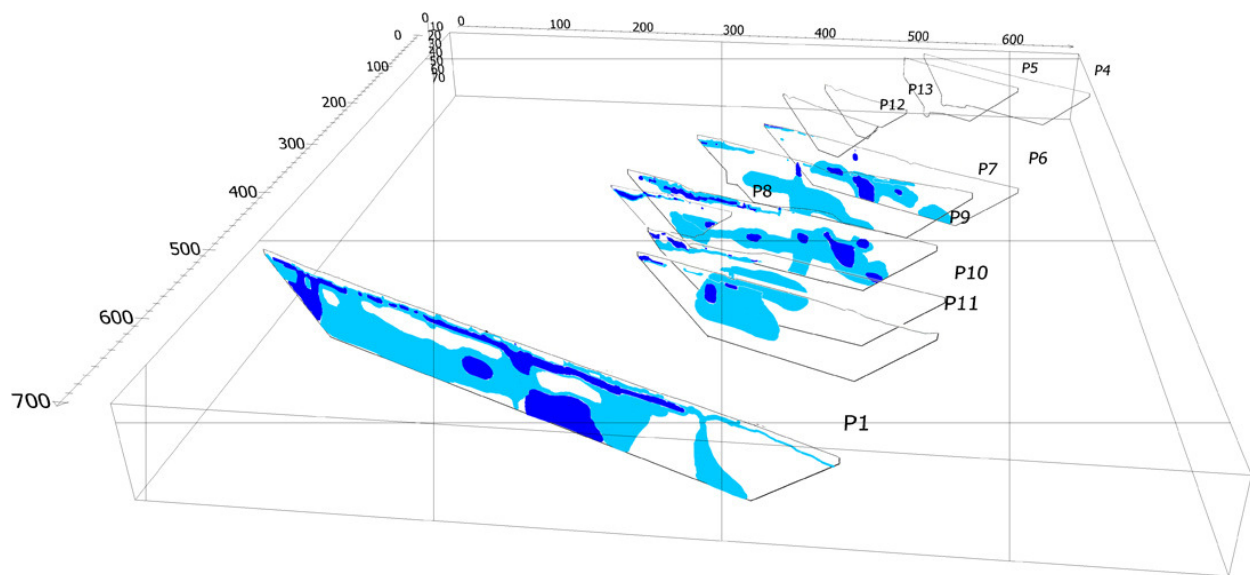


Fig. 15. 3D-modell med tolkning av föroreningarnas spridning i mark och ytligt berg. Kraftig påvekan närmst Filbornadeponin och vid Stentippen. Se bilaga 7 för kompletta profiler. Se fig. 9. för profilernas placering.

raktär. Som visas i fig. 15. nedan så sker en utspädning som gör att nivåerna på föroreningarna minskar från P1 där de är mycket höga och omfattande till P12 där de är så låga att de inte går att tolka utifrån insamlad mätdata.

9. Diskussion

Området har en relativt komplicerad geologi och målet att klarlägga den försvåras av att det troligen finns betydande föroreningar i mark och grundvatten. Detta innebär att tolkningarna av multielektrodmätningarna kompliceras. Undersökningarna visar på att det är en relativt komplicerad geologi vilket medför att det förkommer förenklingar.

Att det förkommer lakvatten med kraftigt förhöjda koncentrationer av joner leder till bitvis lägre resistivitet än förväntat i ett givet material. Det förkommer lager med högt lerinnehåll som har naturligt låg resistivitet. Sandlager har normalt hög resistivitet och kan i de fall de ha låg resistivitet förväntas vara förorenade av lakvatten.

Vad som är tydligt utifrån tolkningen av resistivitet och IP-mätningarna är att det finns ett stråk som ligger i närheten av bäcken (inget samband med bäcken för övrigt) där det verkar vara kraftigt förorenat (se fig. 15.). Detta avtar sedan med ökat avstånd från deponin och syns nästan inte på profilerna längst bort. Att föroreningsnivån avtar kan antingen bero på en allmän

utspädningseffekt eller att nyligen ökande utsläpp inte hunnit transporteras dit eller ackumulerats. Mest troligt är att det finns en utspädningseffekt eller att det sker någon form av nedbrytning/omvandling. Enligt den genomförda tolkningen av föroreningsutbredningen så är utbredningen relativt stor närmst deponin medan den i de yttre delarna är så svag att utbredningen inte kan detekteras med här genomförda metoder. Att föroreningarna huvudsakligen är koncentrerade till ett stråk gör att möjligheterna att sätta in någon form av insats för att minska påverkan bör vara större än om föroreningarna varit mer spridda.

Lakvattnet består av en lång rad ämnen vilka transporteras olika lätt genom marken. Det är enbart de ämnen som påverkar ledningsförmågan i lakvattnet och därigenom resistiviteten i marken som syns vid denna studie. Det finns därför en risk att de ämnen som påverkar resistiviteten transporteras längre eller kortare än de ämnen som inte påverkar resistiviteten. Dessa medför en osäkerhetsfaktor.

För att klarlägga vad lakvattnet består av för ämnen krävs omfattande provtagning och analyser i laboratorium. Detta har av ekonomiska skäl inte varit möjligt att genomföra i denna undersökning. Dock har konduktiviteten mätts med konduktivitetmätningar i ett antal prover från de borrhningar som är utförda med skruvborr dvs. det saknas helt prover från det glacifluviala lagret. Det innebär en del problem då andra fak-

I stället ha dessa använts för att utvärdera om tolkning-
en utifrån uppmätt resistivitet verkar vara korrekt. Pro-
verna blir kraftigt störda och vid grövre sediment ten-
derar det eventuellt förorenade vattnet att försvinna.
Analyser av fler prover hade varit önskvärt men var ej
möjligt att genomföra. Den förväntade tillströmning av
klorider från Vålavägen på grund av användande av
vägsalt bör inte inverka på resistivitet i någon nämn-
värd grad. Fördelningen av de låga värden som åter-
finns är på så pass stort djup och är huvudsakligen
koncentrerade till ett stråk tvärs mot vägens riktning.

Tillförsel av förorenat grundvatten från Stentippen
sker i den övre akvifären. Det verkar vara ett tätande
lager mellan den övre och den undre akvifären dock av
väldigt tunna skikt bitvis, baserat på den genomförda
tolkningen av undersökningsmaterialet. Här kan det
troligen ske läckage av vatten i någon av riktningarna,
mest troligt från de undre till den övre akvifärer. Detta
beroende på att det i den finns högst grundvattentryck-
yta som ligger i nivå med den övre akvifären. Efter-
som materialet är så pass grovkonigt i de glacifluviala
lagren bör det finnas ett gott flöde av grundvatten i
magasinet. Flödet gör att troligtvis sprids föroreningar
över ett stort område men då i låga koncentrationer.
Det sker troligen ett flöde av grundvatten mellan ber-
gskvifären och akvifären bestående av grova sediment.
Huruvida det har skett ackumulering av föroreningar
är utifrån detta undersökningsmaterial svårt att bedö-
ma.

Valet av metod med en kombination av multielektrod-
mätning och borrhning ger flera fördelar. Den största att
med att använda multielektrodmätning som metod är
att få kontinuerliga data som hade varit omöjligt att få
fram på annat sätt. En annan fördel är att det går att
genomföra relativt kort tid. Det krävs inte heller några
stora ingrepp i miljön. En svårighet att använda resisti-
vitetsmätningar här för att tolka hur geologin ser ut är
att det finns en parameter mer än normalt som inver-
kar. I normalfallet beror resistiviteten främst på mate-
rialegenskaper och porfyllnadsgrad. Här tillkommer
faktorn med hur pass förorenat grundvattnet och ev.
sedimenten är. Den utspädningseffekt som sker gör att
nivåerna snabbt sjunker. Borrhningarna gör att det blir
möjligt att tolka resistivitet/IP/normaliserad-IP till geo-
logiska lager.

9.1. Jämförelser med tidigare undersökningar

I huvudsak stämmer resultat och tolkning bra överens
med tidigare undersökningar av Janson och Kandre
(1997) och Jansson och Wisèn (1998). Det är inte

möjligt att i detalj jämföra undersökningarna då något
olika mätmetoder och profildragning använts. Dock
skiljer sig slutsatserna i detta arbete något mot vad
Janson och Kandre (1997) och Jansson och Wisèn
(1998) kommit fram till vad gäller materialet som den
huvudsakliga transporten av förorenat sker i. Med stöd
av djupgående borrhningar som utförts av Dittrich och
Partner (1997) dras slutsatsen i detta arbete att trans-
porten av lakvattenpåverkat grundvatten huvudsakligen
sker i glacifluviala grovsediment. Janson och
Kandre (1997) menar också att det finns påverkan av
lakvatten ända ut till (motsvarande P4 i fig. 9.) de väst-
ligaste delarna av undersökningsområdet. Detta har
inte kunnat påvisas i här genomförda undersökningar
men kan inte uteslutas.

10. Slutsatser och rekommendationer

För att få en bättre helhetsbild över geologin krävs mer
borrningar, dels som kontroll av tolkningen av resisti-
vitets och IP resultaten, dels för att kunna vidareutveck-
la och förfinna tolkningen. Borrning och mer provtag-
ning bör också ske på de platser som kan ses som mest
intressanta ur spridningssynpunkt. Det vill säga områ-
den som är tolkade som sand och gruslagren med låg
resistivitet. Det är också här som eventuella insatser i
form av rening eller ev. bortpumpning av förorenat
grundvatten kan ske. Detta eftersom när föroreningar-
na kommit ut i de mäktigare grövre sedimenten är ut-
spädningseffekten kraftig och försvårar ev. rening.

En komplettering med en profil i längsgående riktning
genom att genomföra en multielektrodmätning tvärs
över undersökningsområdet dvs. från Vålavägen till
grusvägen längs Vålbacken. Detta skulle möjligen
kunna förtydliga i vilken grad föroreningarna avtar
med sträckan. Det är också lämpligt att göra en till
profil mellan P1 och P11 (parallellt) eftersom det troligen
händer en hel del på denna sträcka. Det är också
lämpligt att genomföra fler djupa borrhningar för att få
en tydligare bild i området vid P1, P11 och P10. Kan
det fastställas att tolkningen av det grova materialet
som börjar i P1 är korrekt så bör en ev. framtida insats
vara lämplig att ske i denna del.

Viss osäkerhet finns om exakt var branten på den sedi-
mentära berggrunden är placerad och var jorddjupet
ökar är inte helt klart. Tolkningen är baserad på det
som är känt utifrån enbart fyra djupa borrhningar som
klarar att borra genom berg och det grova glacifluviala
materialet och fjorton borrhningar med skruvborr som
enbart klarar medel och finkornigare sediment. Ett

större antal djupa borrhningar hade gett större säkerhet i tolkningen. Principerna bör dock vara korrekta. Exakta djup är svårt att ange med multielektrodmätning. För att få bättre noggrannhet kan det vara lämpligt att komplettera med mer geofysiska undersökningar. Exempelvis seismik för att bestämma kontakten berg/jord.

Åtgärder som tidigare föreslagits bör analyseras med avseende på om de är tillräckligt effektiva i förhållande till de stora kostnader som dessa innebär. Det är dock rimligt att det på sikt kommer att krävas någon form av insats för att rena eller leda bort det förorenade grundvattnet för att förhindra att ackumulation sker i sedimenten. Detta efter en avvägning mellan kostnad och nytta med eventuella åtgärder vilket också föreskrivs i miljöbalken. Att deponin avslutats gör att det inom några år inte finns någon del som är otäckt. Om det totala inflödet av inträngt vatten från oavdelningen av deponin minskar bör även mängden utströmmande lakvatten minska. Det är dock nödvändigt att fortsätta undersökningarna för att få bättre kunskap om dels hur det ser ut i nuläget men även förändringar framöver, även om inga aktiva begränsningsinsatser sker.

11. Referenslista

Cerne, O., Allard, A-S., Ek, M., Junestedt, C., Svensson, A., 2007. Utvärdering av behandlingsmetoder för lakvatten från deponier. Svenska Miljöinstitutet. 73 sidor.

Dittrich., 1997. Groundwater-monitoring-system Filborna landfill, Dr. Dittrich och Hydro-Consult GmbH Bannewitz.

Dittrich., 1999. Groundwater-monitoring-system Filborna landfill, Dr. Dittrich och Hydro-Consult GmbH Bannewitz. 12 sidor.

Eken, K., 1987. Geohydrologisk undersökning vid Filborna avfallsupplag i Helsingborg. Lunds Universitet. 55 sidor.

Genberg, J., 2007. Grundvattenmodellering av Filborna avfallsanläggning i Helsingborg. Examensarbete i miljövetenskap. 39 sidor.

Janson., K. och Kandre, A. 1997. Geofysisk kartläggning av området nedströms Filborna avfallsanläggning. Masterarbete vid Lunds Tekniska Högskola. 84 sidor.

Jansson, M., och Wisén, R., 1998. Geofysisk kartläggning av etapp II vid Filborna Avfallsanläggning. Masterarbete vid Lunds Tekniska Högskola. 71 sidor.

Jeppson, H., 2004. Geologisk modell Filborna, Jordlagerförhållanden, detalj. Sweco.

Jeppson, H., 2009. Kompendium i Geofysisk undersökningsmetodik, GEOC04.

Kallstenius, T. och Thörnqvist, I., 1970. Utlåtande över geoteknisk-hydrogeologisk utredning inom planerat deponeringsområde vid Filborna i Hälsingborg. K-Konsult, geotekniska sektionen. 10 sidor.

Lakvatten från deponier. Naturvårdsverket, Fakta 8306, Mars 2008. 35 sidor.

Lantmäteriet Gävle 2009. Medgivande I 2008/1951.

Lindsjö, M., 2009. Kontakt via e-post, ingenjör vid NRS Forskning och Miljö Nordvästra Skånes Renhållning AB.

Marcus, R., Gedda, C., 1980. Utlåtande över geologisk – hydrogeologisk undersökning för regionalt avfallsupplag inom Helsingborgs kommun. GEOKONSULT. 12 sidor.

Ortofoto och kartmaterial från Lantmäteriets digitala kartbibliotek. ©

Rydström., R. 1989. Geohydrologisk utredning för filbornaområdet i Helsingborgs kommun. GEOKONSULT Rydström-Stjernkvist AB.

Stjernkvist., S. 1986. PM betr. Yt- och grundvattenkontroll m.fl. åtgärder vid Väla bäck. Filborna avfallsupplag, Helsingborgs kommun. Geokonsult Rydström-Stjernkvist Helsingborg. 2 sidor.

Stjernkvist., S. 1989. PM beträffande provtagningsrör för grundvatten inom Filbornaområdet, Helsingborgs kommun. 7 sidor.

Årsredovisning NSR AB 2008. 36 sidor.

Bilagor till examensarbete:

**Undersökning av förorenings-spridning och geologi vid
Filbornadeponin i Helsingborg**

Filip Nilsson

2009

Bilaga 1: Profiler resistivitet

Bilaga 2: Profiler IP

Bilaga 3: Profiler normaliserad IP

**Bilaga 4: Loggar över stratigrafi från skruvborrning P1-P13 samt
loggar från djupborrning G17-G31 (Dittrich och Partner 1997)**

Bilaga 5: Tabell över kornstorleksfördelning

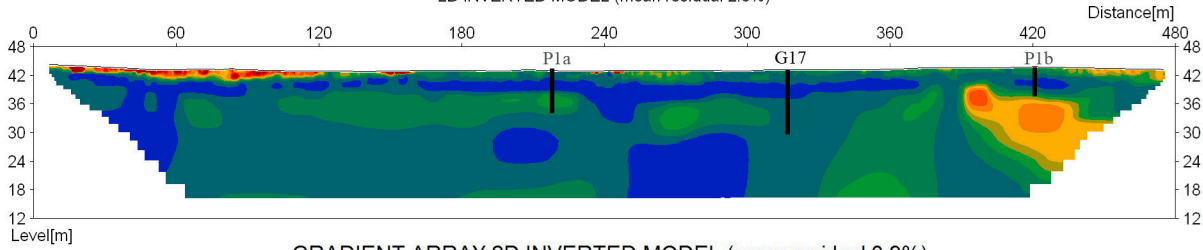
Bilaga 6: Profiler över geologisk modell

Bilaga 7: Profiler över tolkning av förorenings-spridning i grundvatten

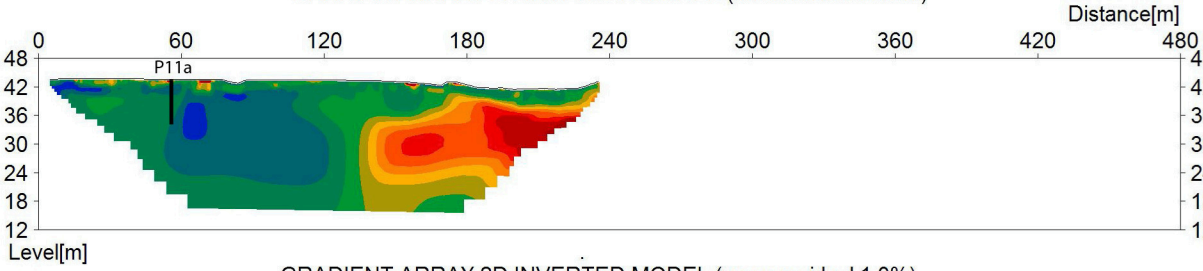
**Bilaga 8: Jorrdjupskarta, Sweco (2004) och generaliserad profil av
Dittrich och Partner (1997)**

Bilaga 1 Resistivitet

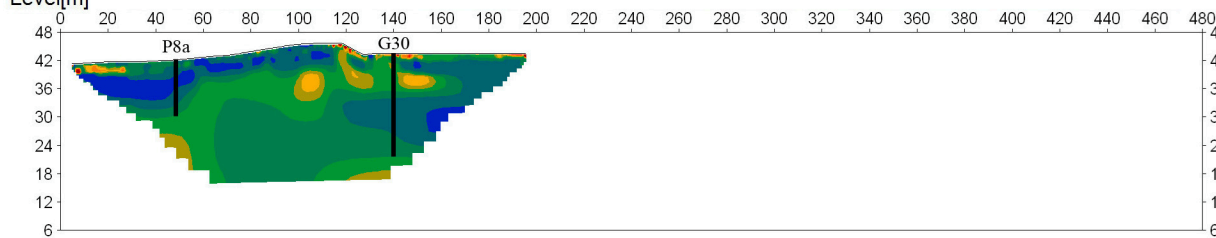
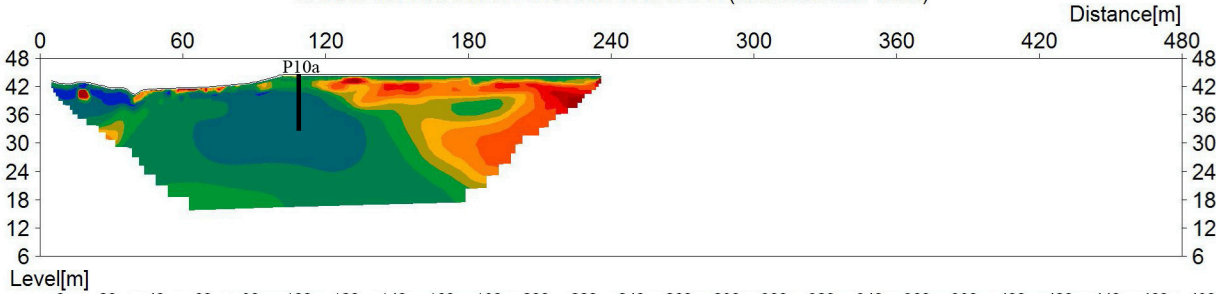
2D INVERTED MODEL (mean residual 2.0%)



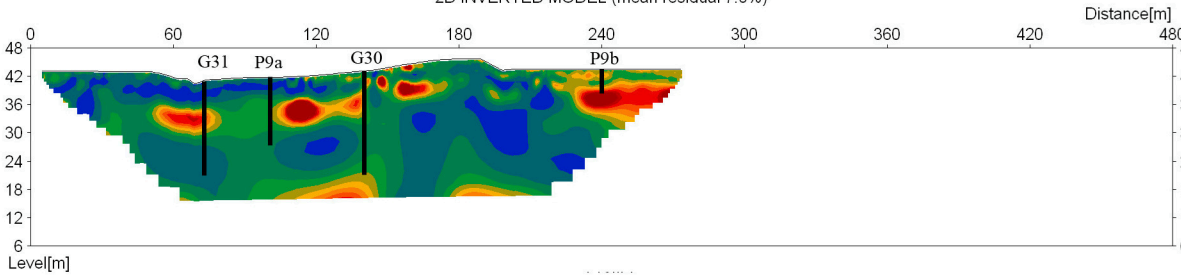
GRADIENT ARRAY 2D INVERTED MODEL (mean residual 0.9%)



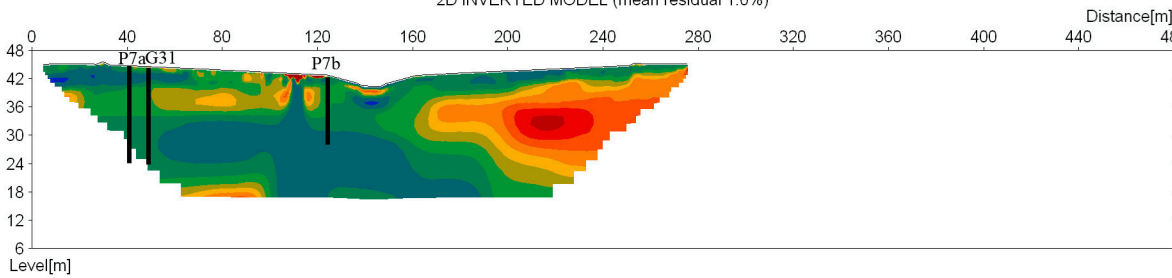
GRADIENT ARRAY 2D INVERTED MODEL (mean residual 1.0%)



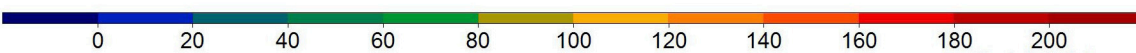
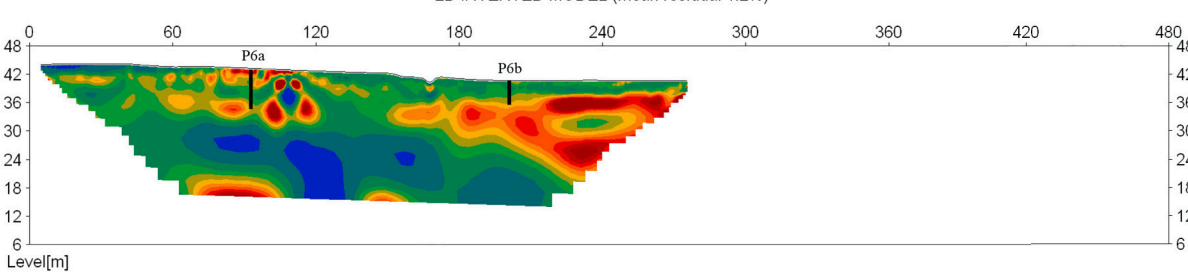
2D INVERTED MODEL (mean residual 7.0%)

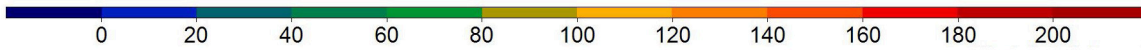
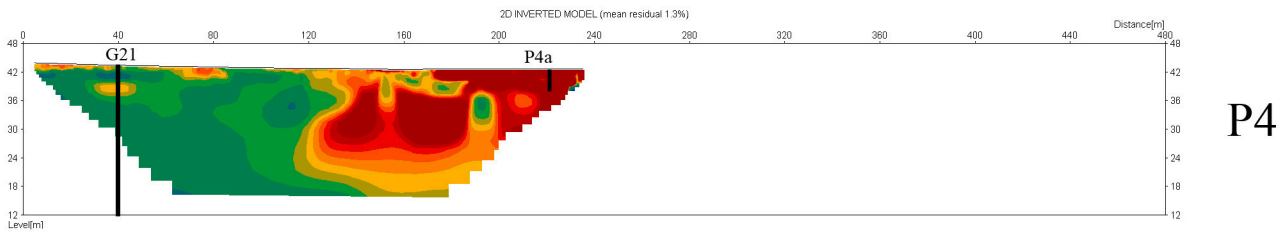
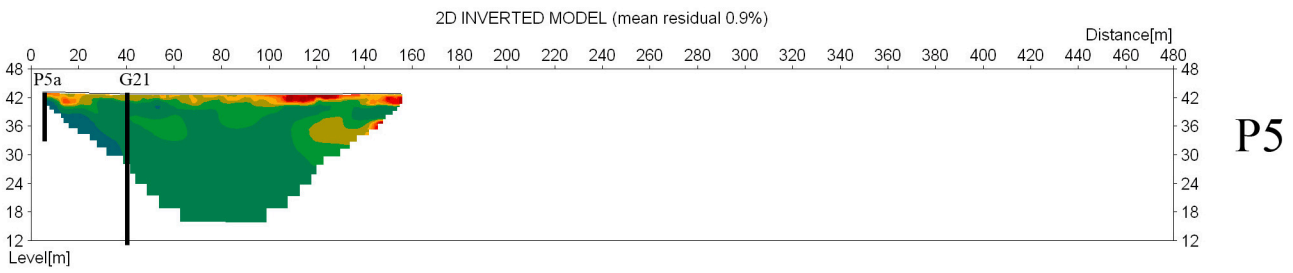
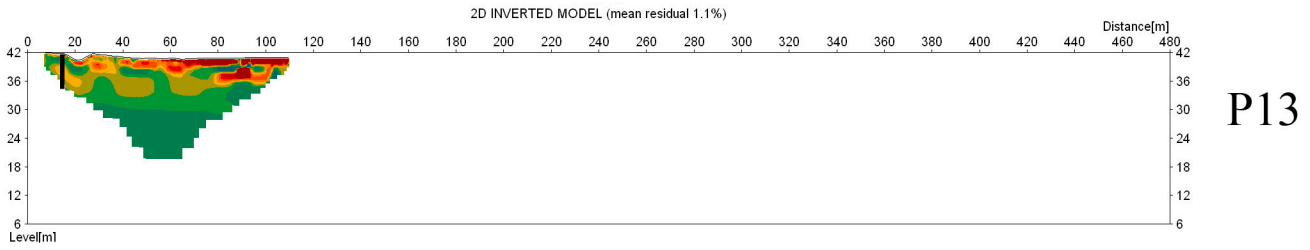
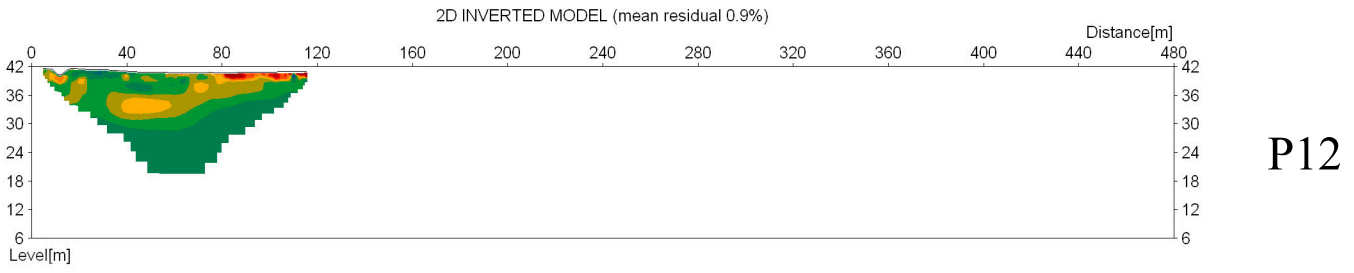


2D INVERTED MODEL (mean residual 1.0%)



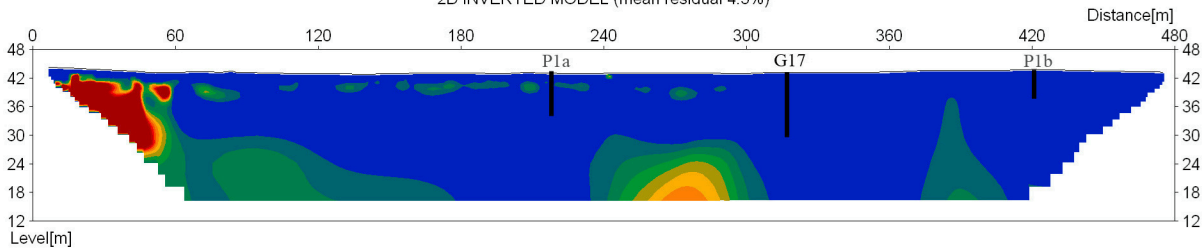
2D INVERTED MODEL (mean residual 1.2%)





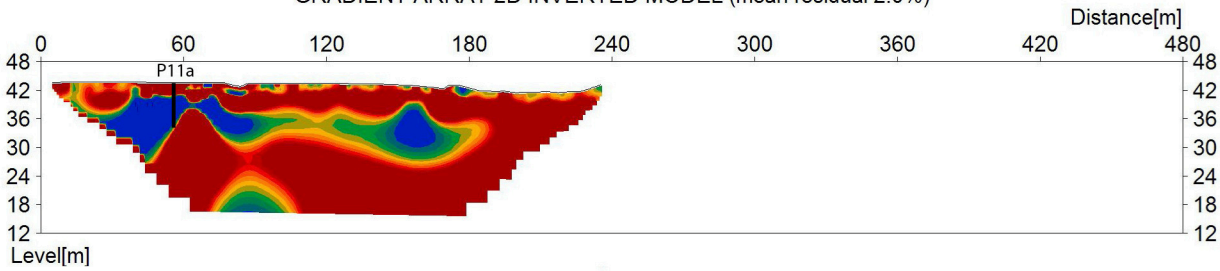
Bilaga 2 IP

2D INVERTED MODEL (mean residual 4.3%)



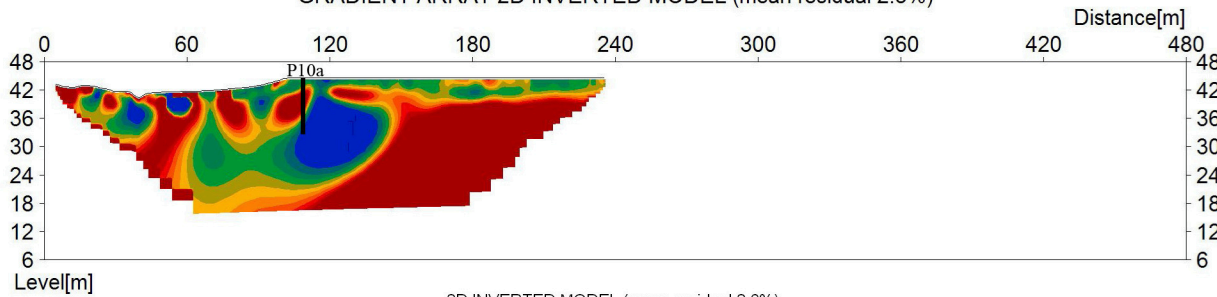
P1

GRADIENT ARRAY 2D INVERTED MODEL (mean residual 2.0%)



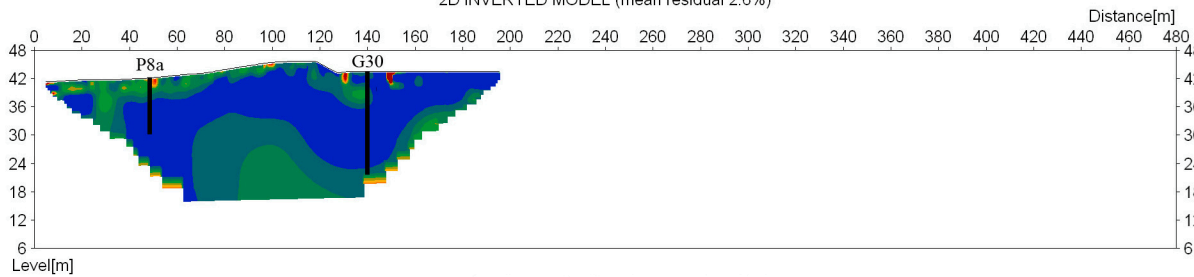
P11

GRADIENT ARRAY 2D INVERTED MODEL (mean residual 2.3%)



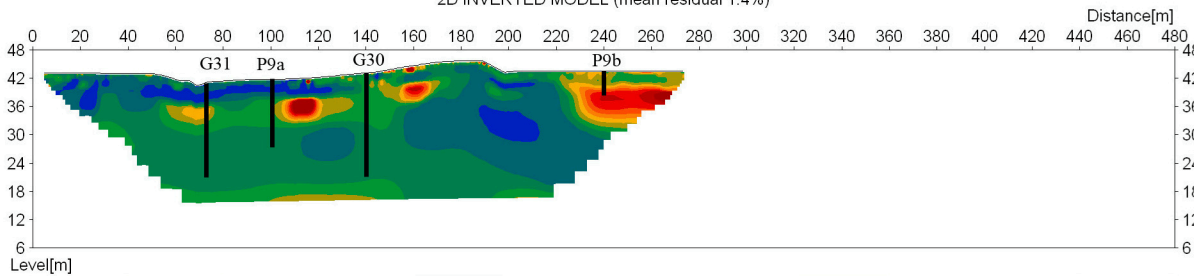
P10

2D INVERTED MODEL (mean residual 2.6%)



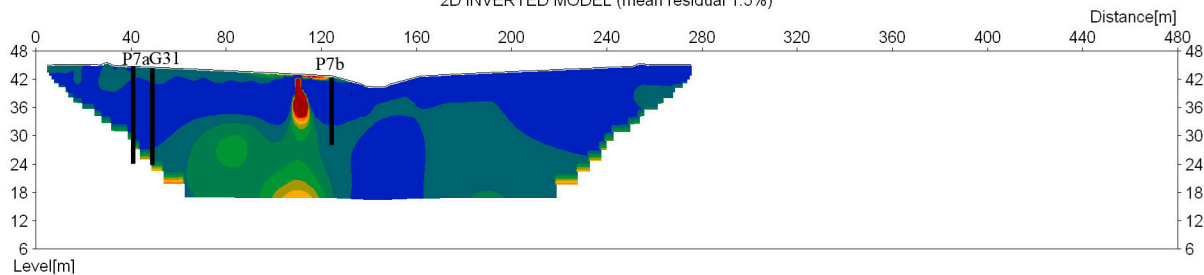
P8

2D INVERTED MODEL (mean residual 1.4%)



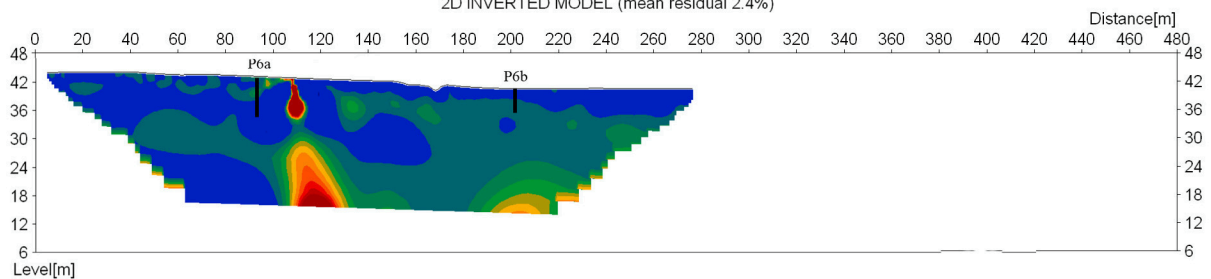
P9

2D INVERTED MODEL (mean residual 1.5%)



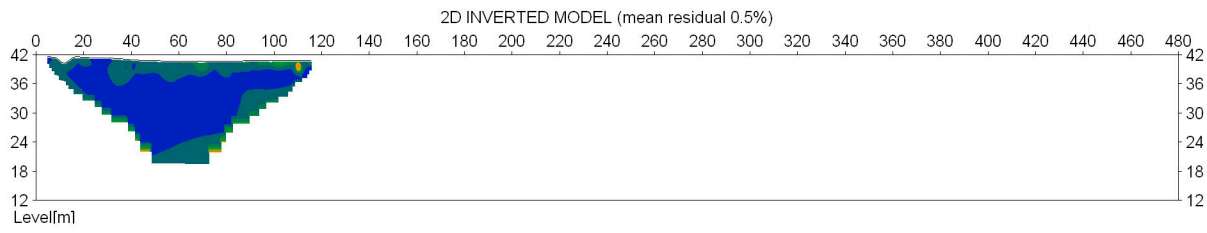
P7

2D INVERTED MODEL (mean residual 2.4%)

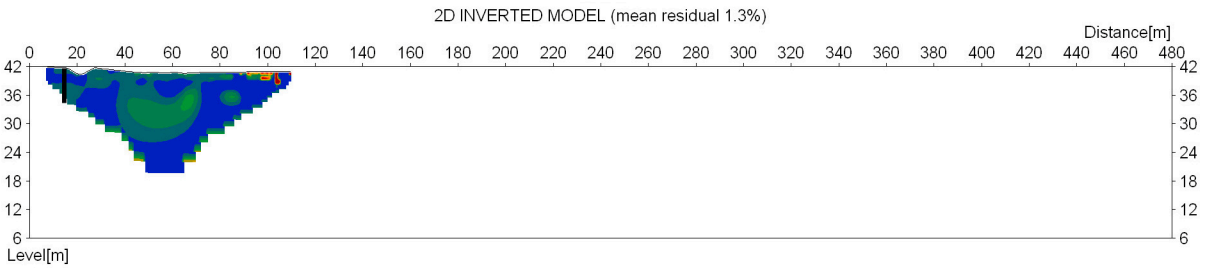


P6

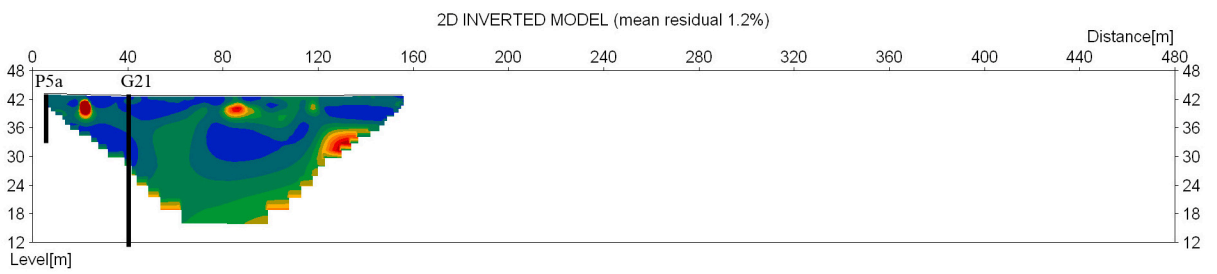




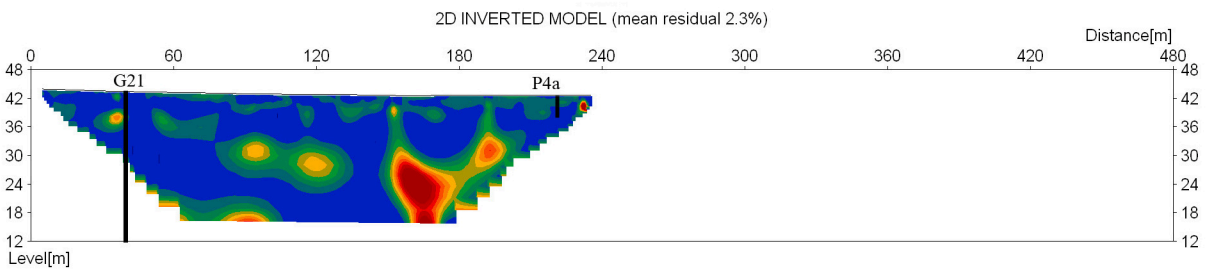
P12



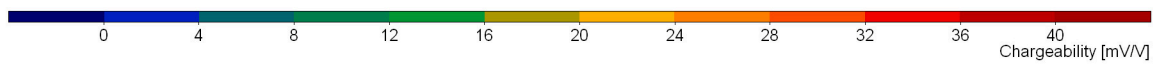
P13



P5

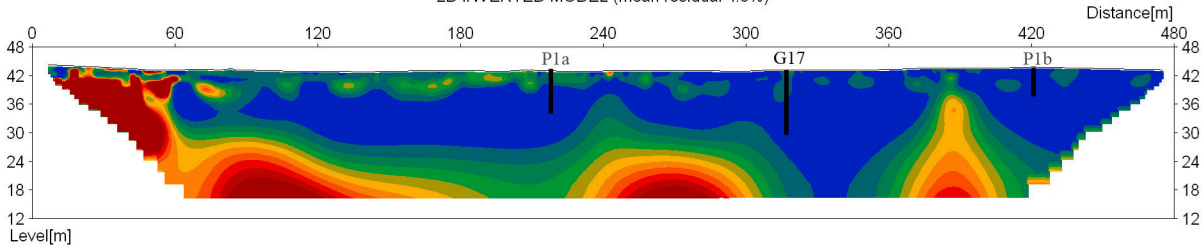


P4



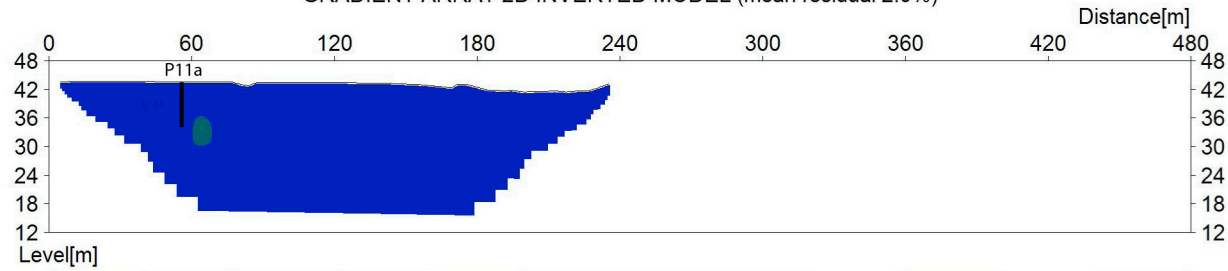
Bilaga 3 Normaliserad IP

2D INVERTED MODEL (mean residual 4.3%)



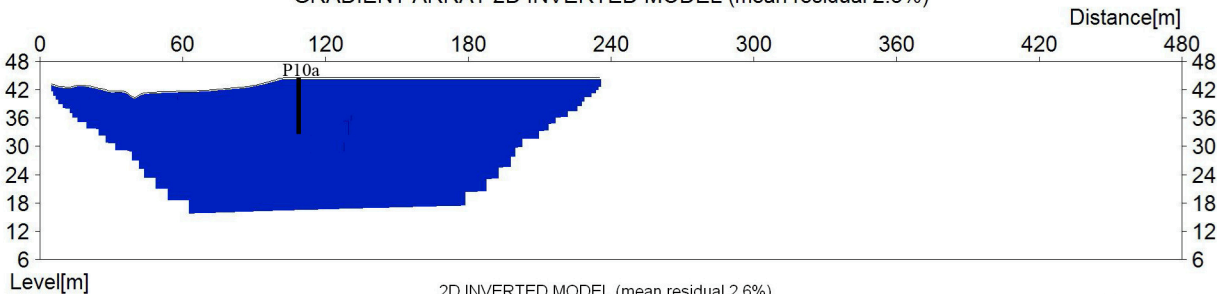
P1

GRADIENT ARRAY 2D INVERTED MODEL (mean residual 2.0%)



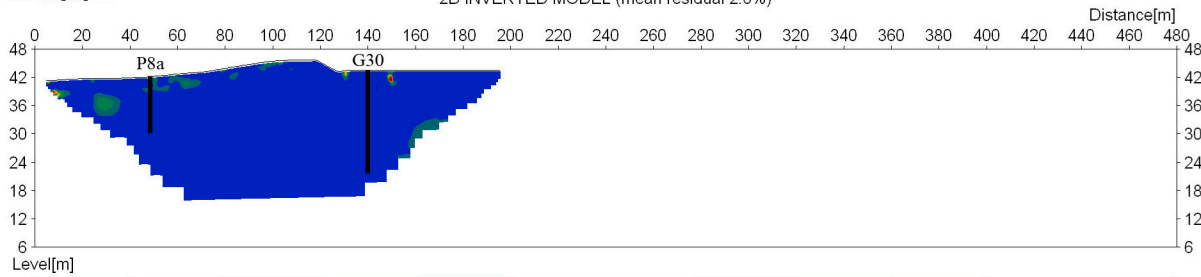
P11

GRADIENT ARRAY 2D INVERTED MODEL (mean residual 2.3%)

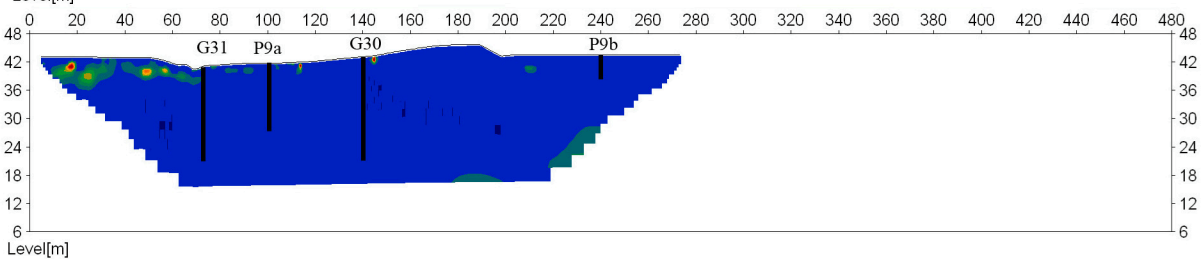


P10

2D INVERTED MODEL (mean residual 2.6%)

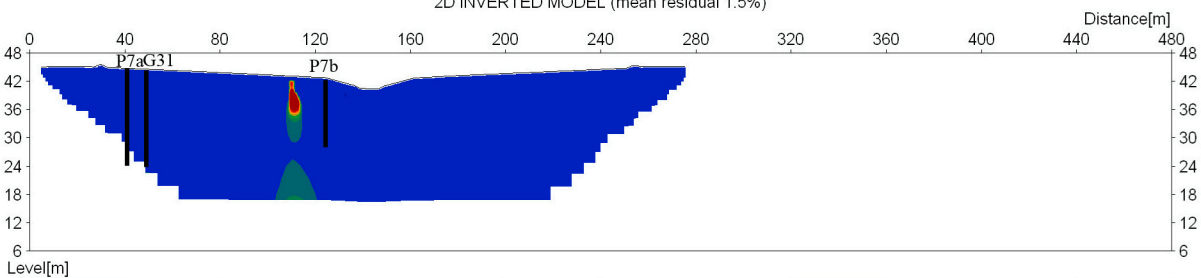


P8



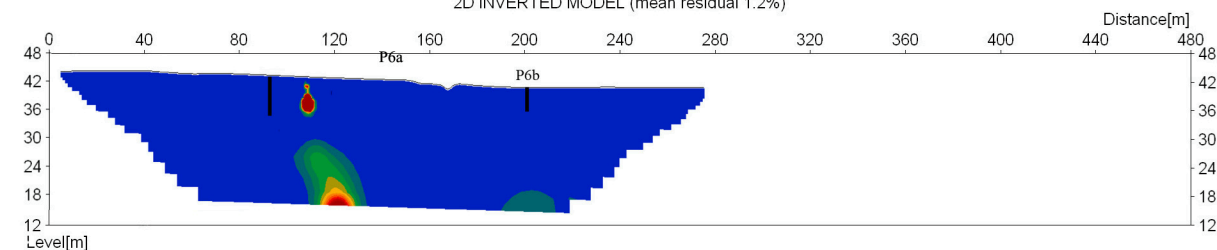
P9

2D INVERTED MODEL (mean residual 1.5%)

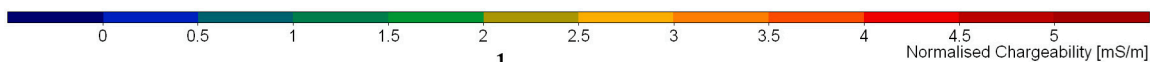
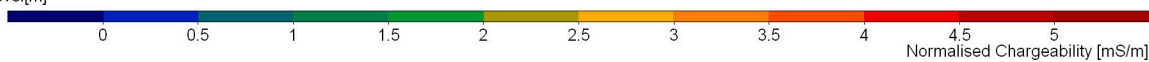


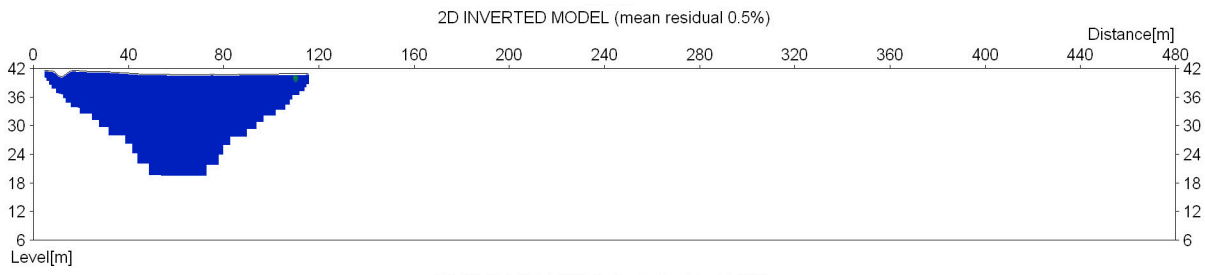
P7

2D INVERTED MODEL (mean residual 1.2%)

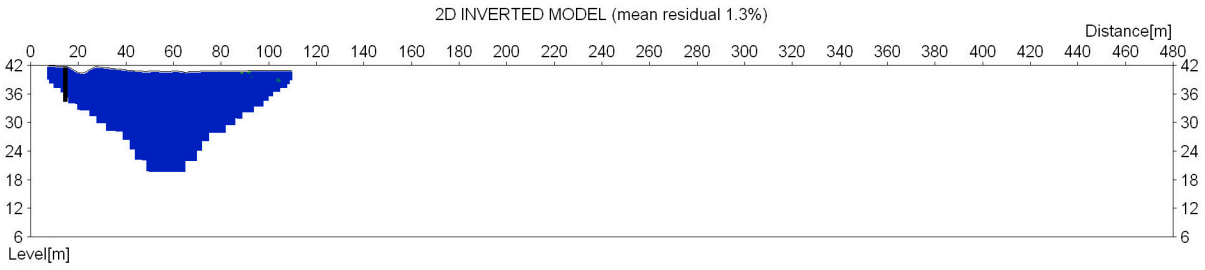


P6

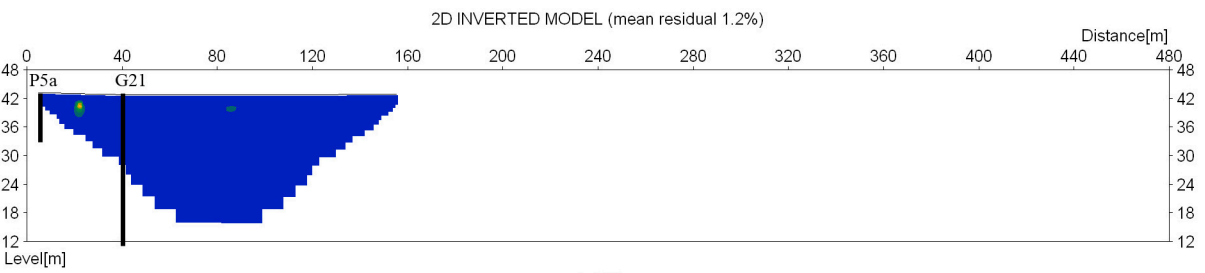




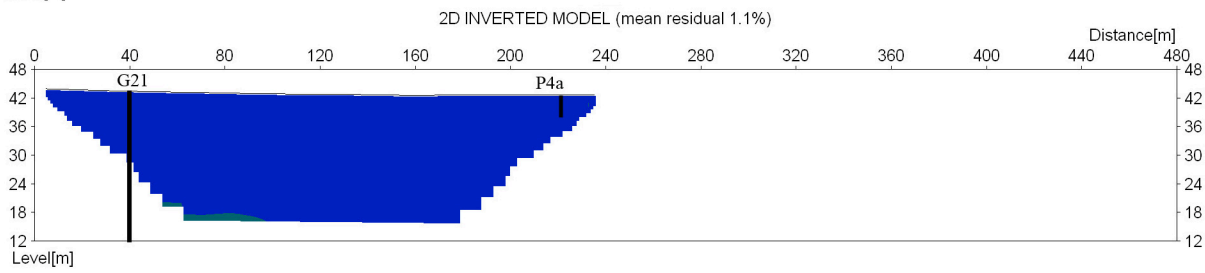
P12



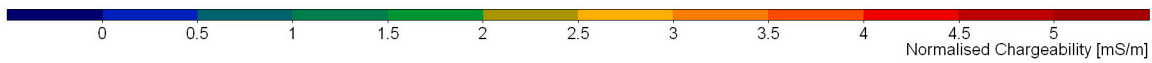
P13

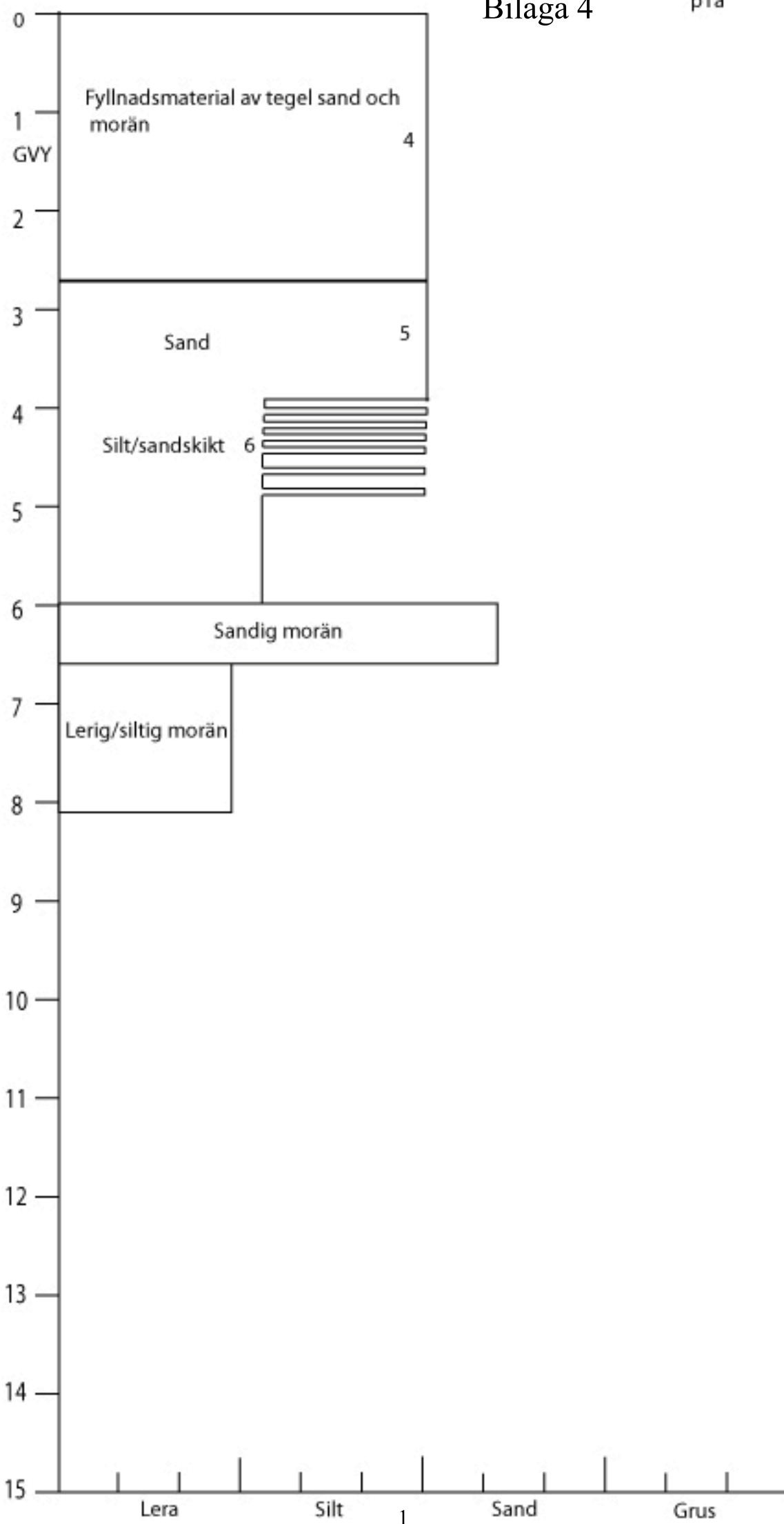


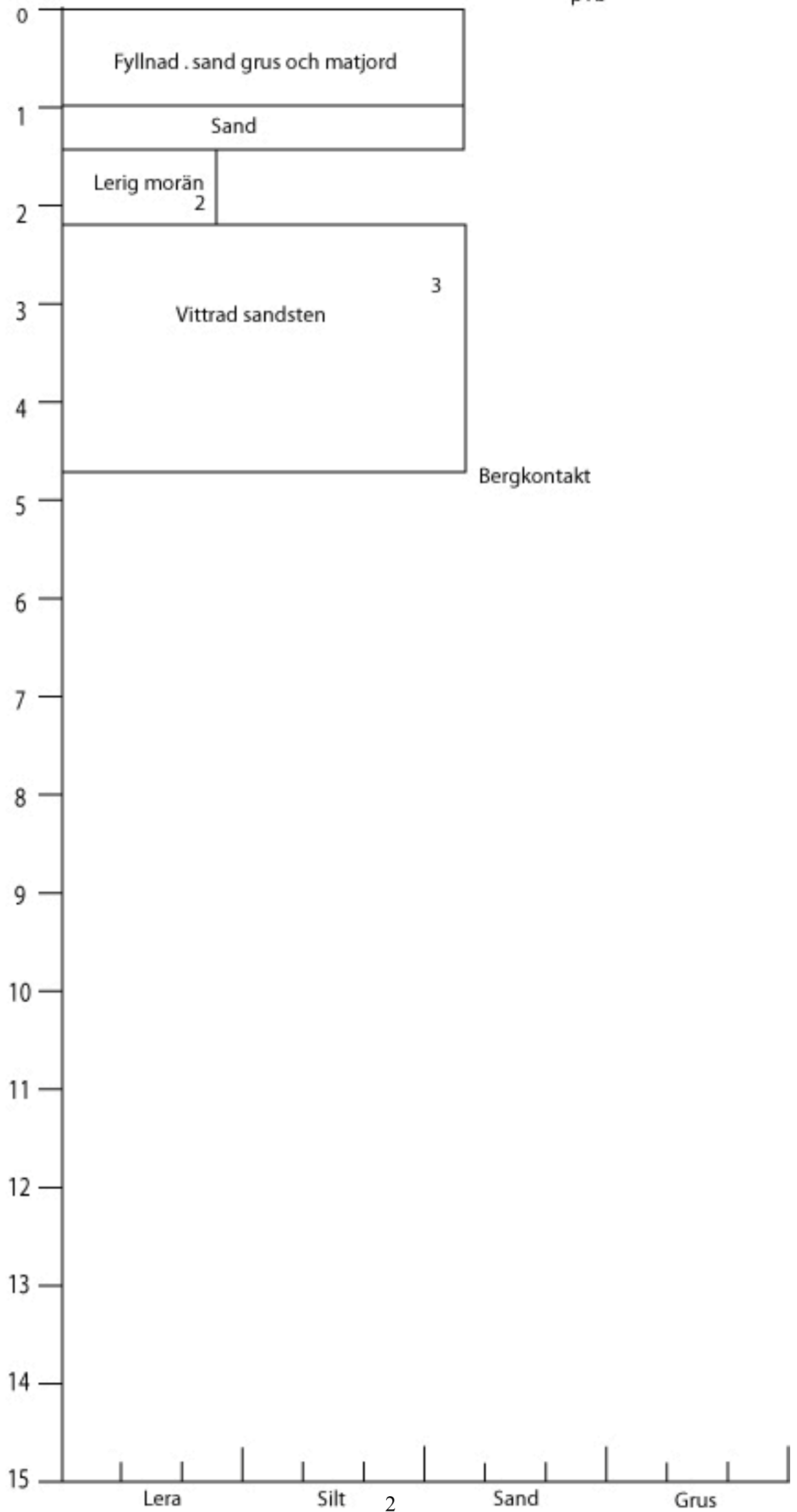
P5

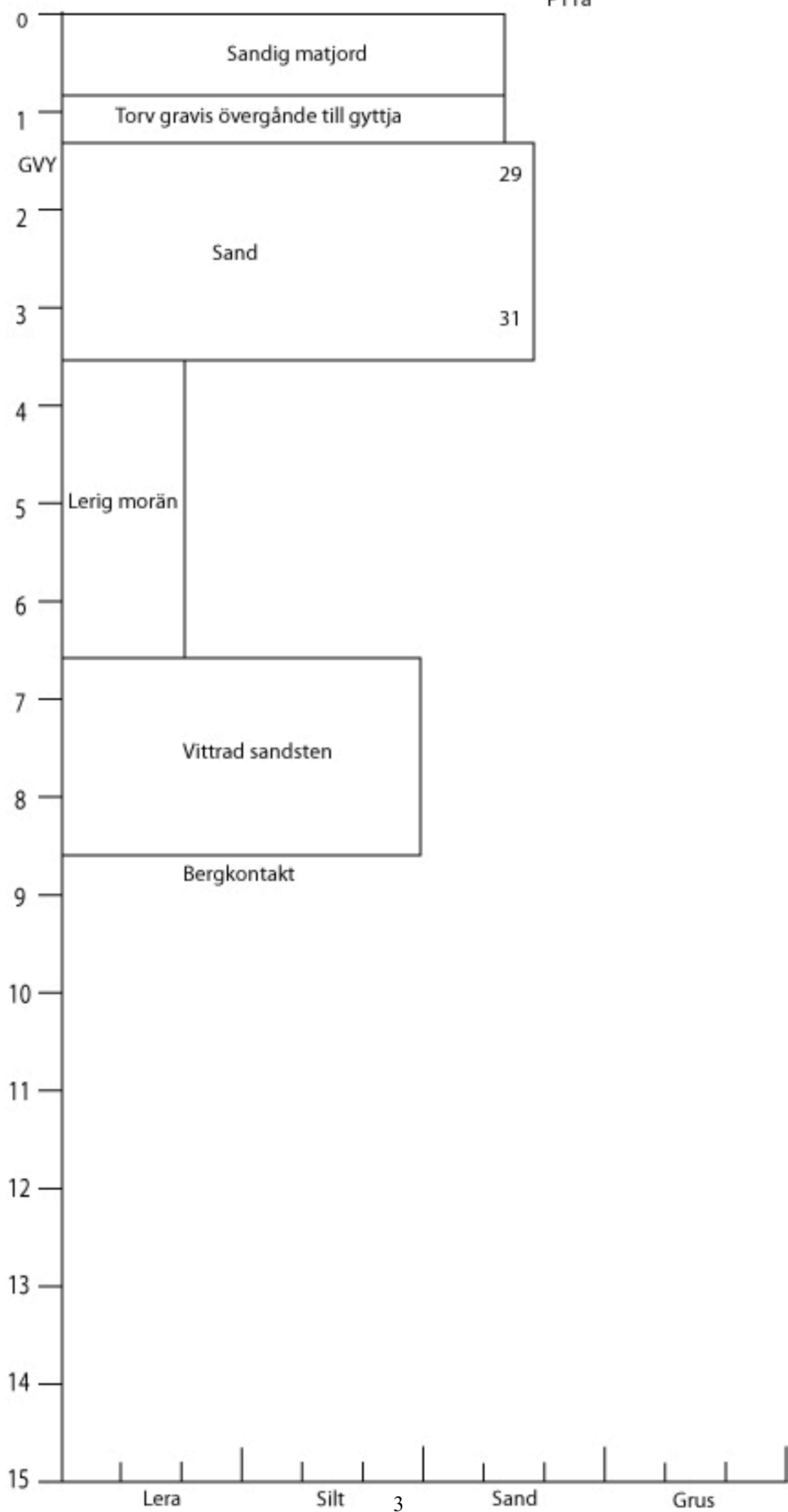


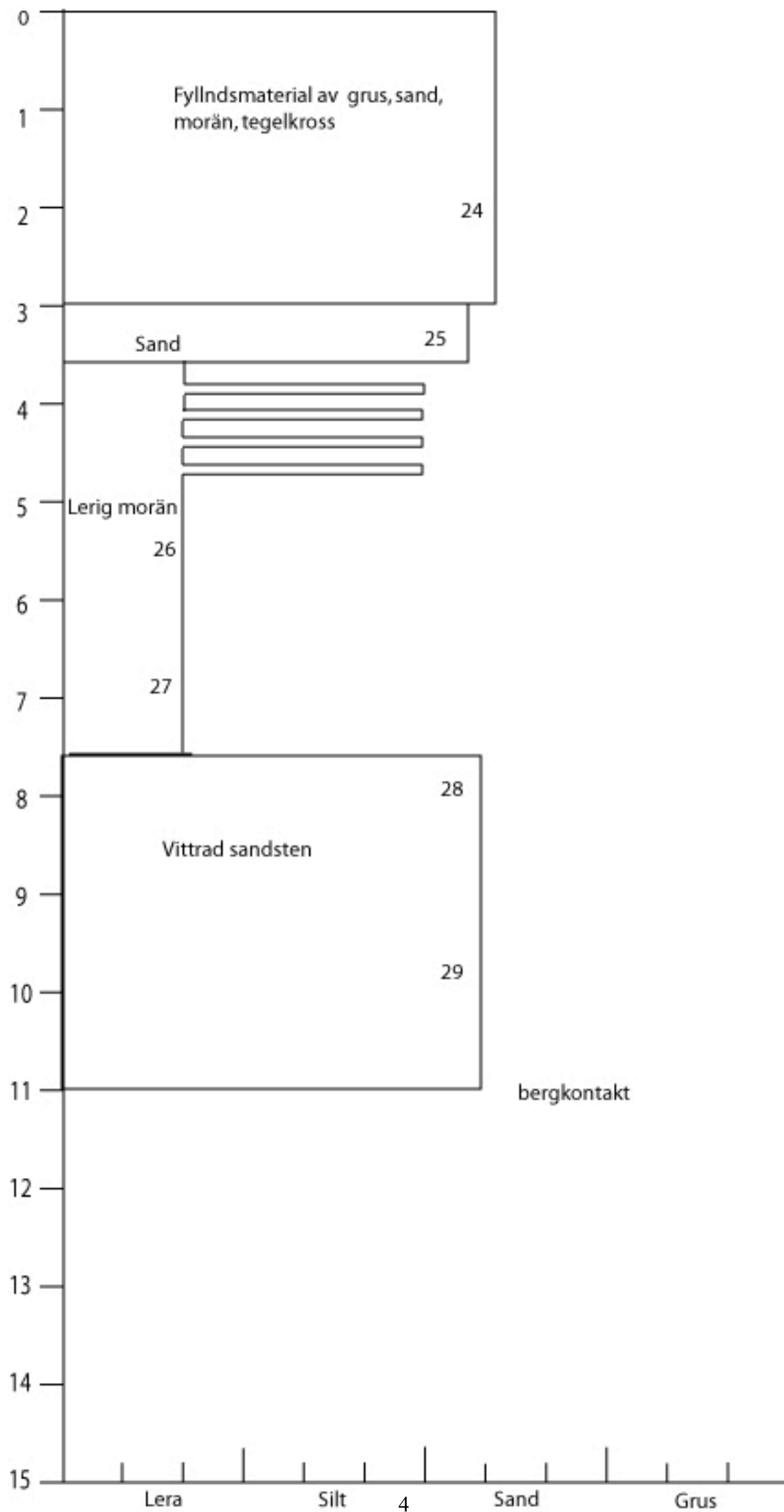
P4

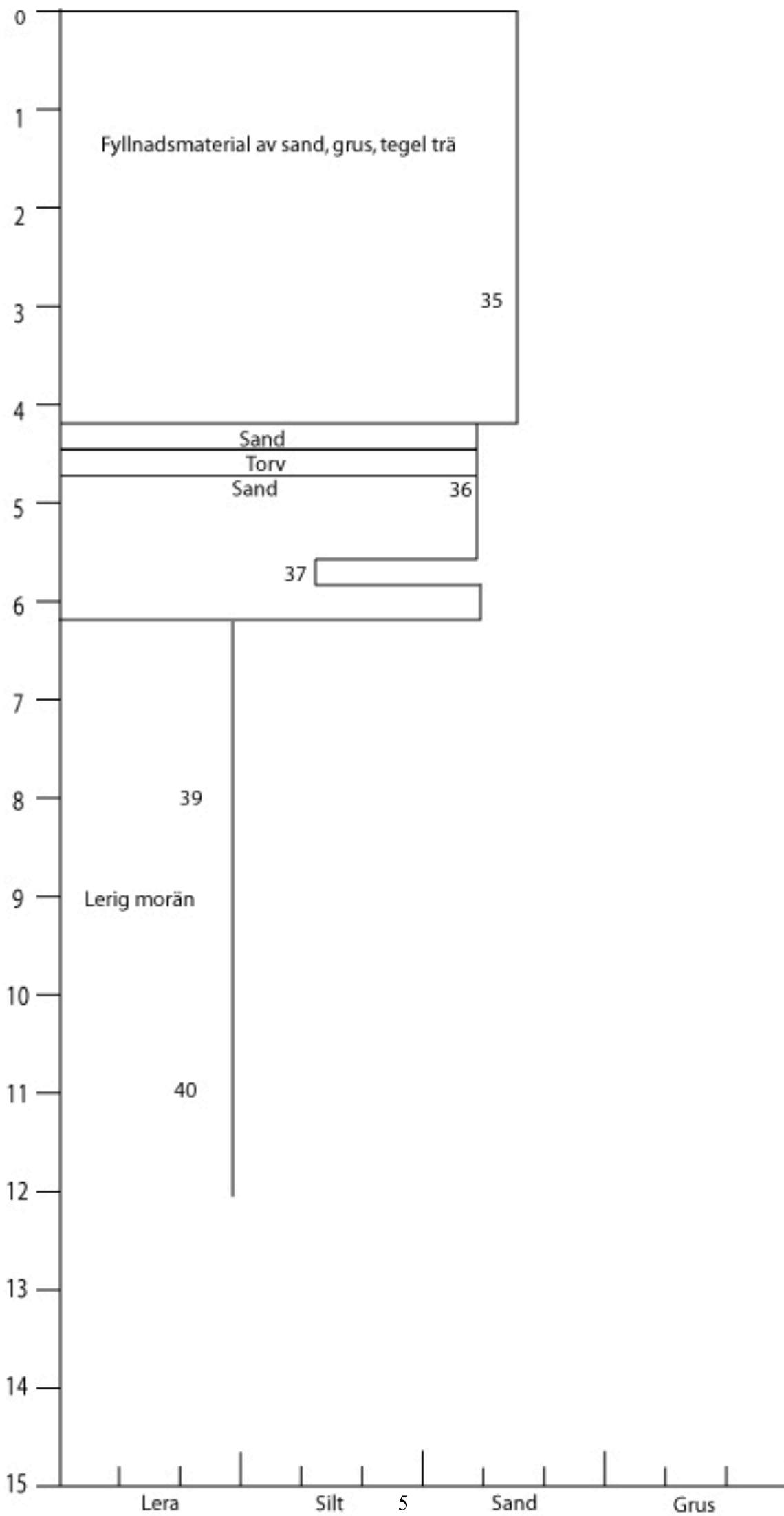


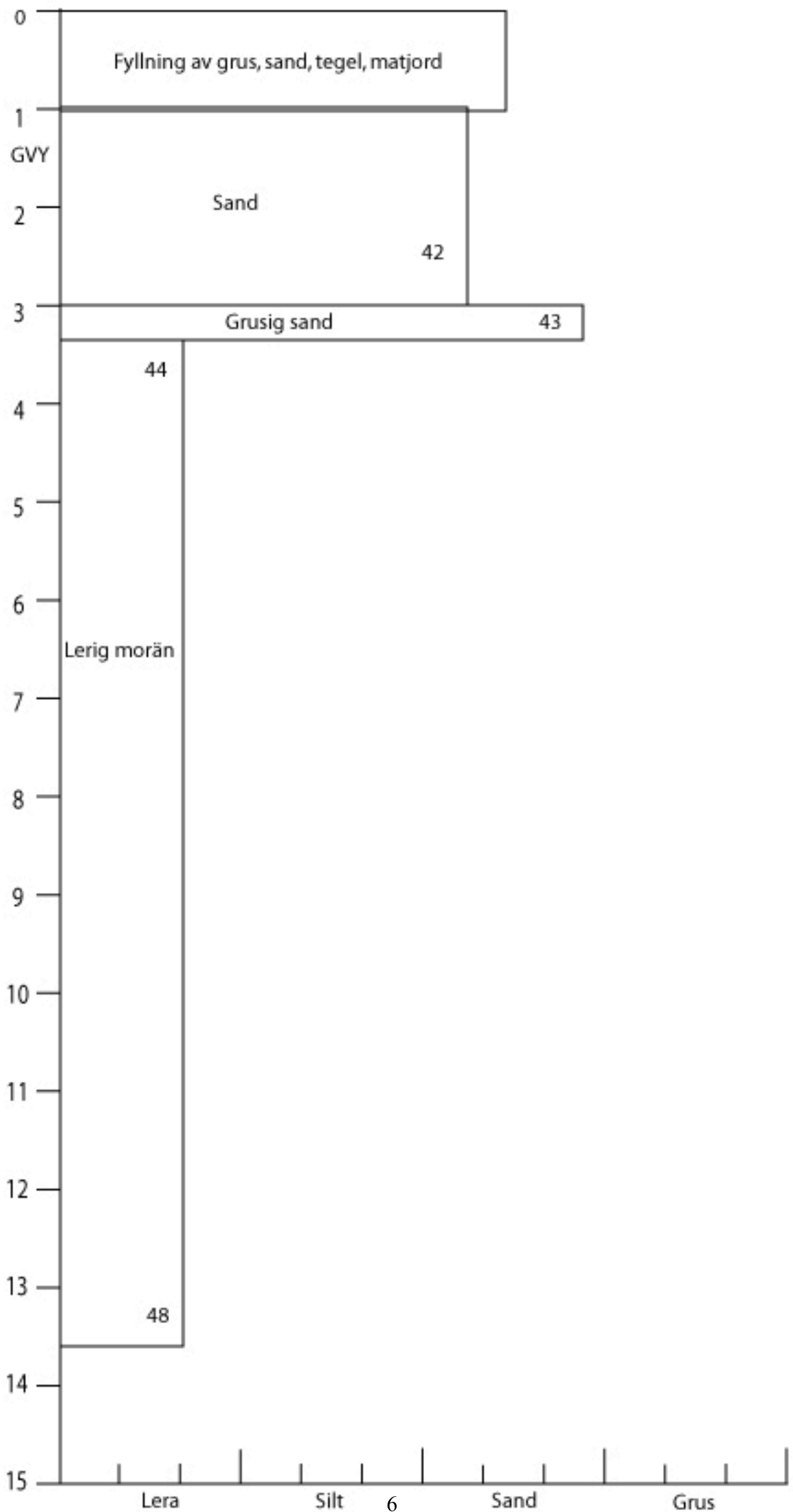


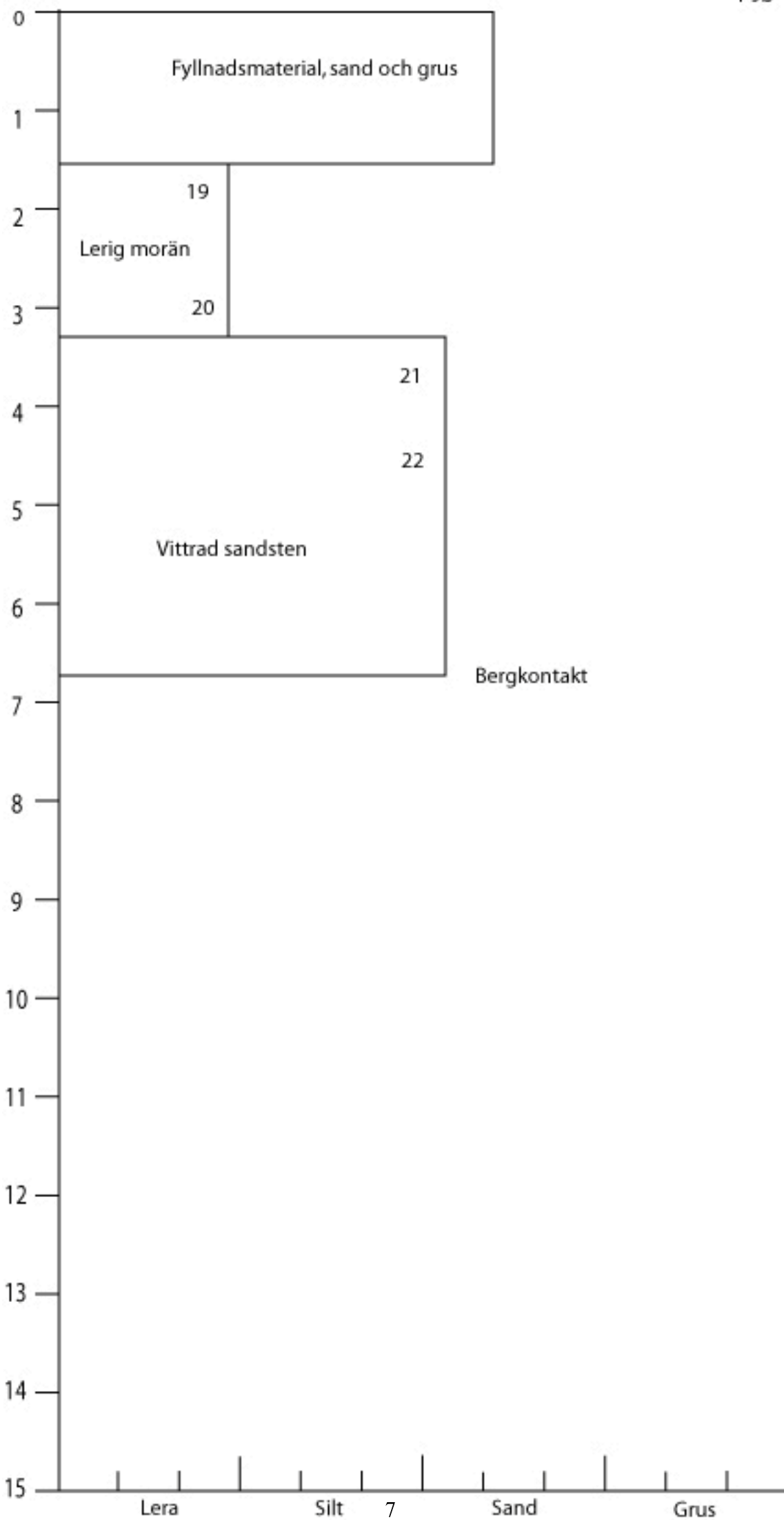


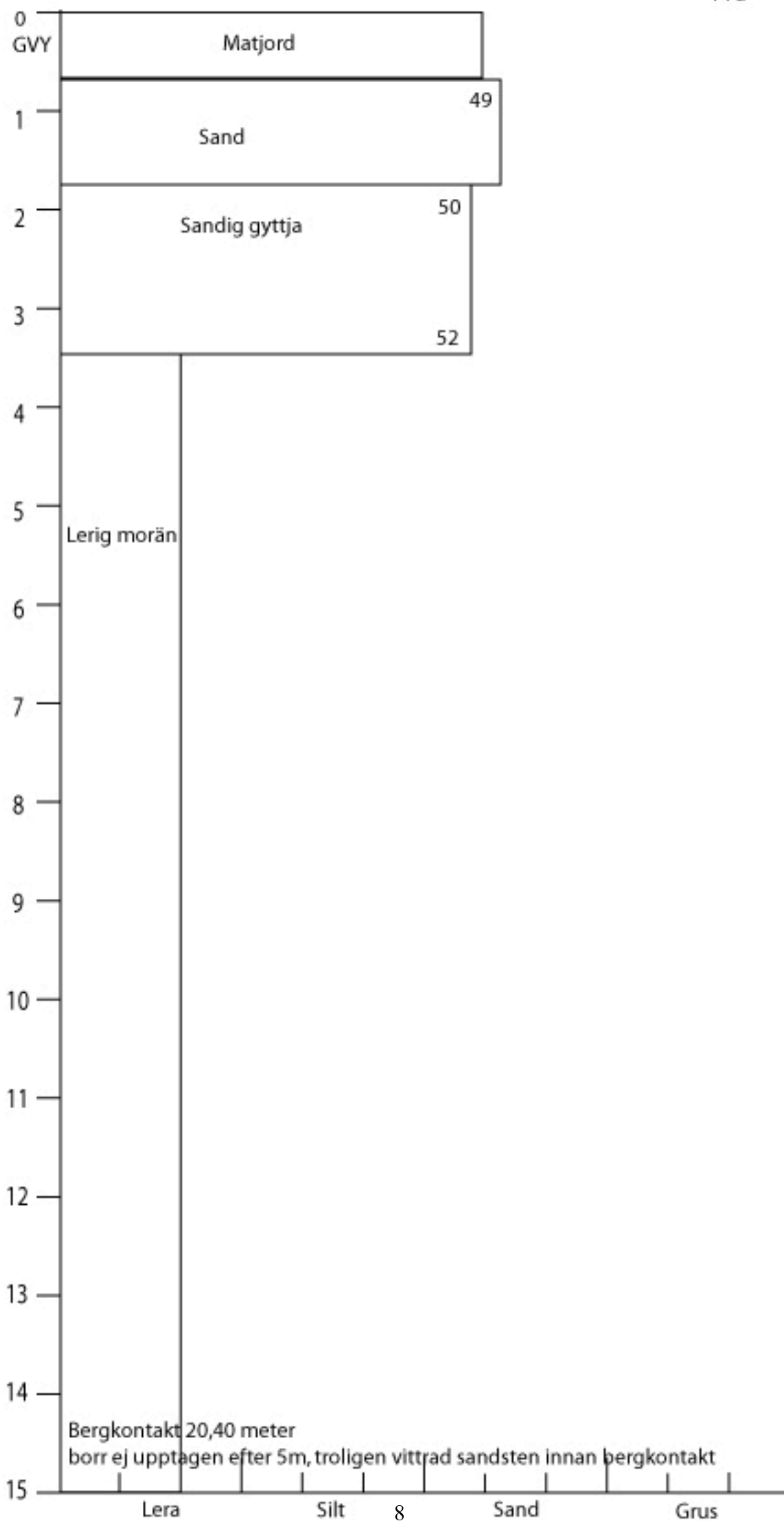


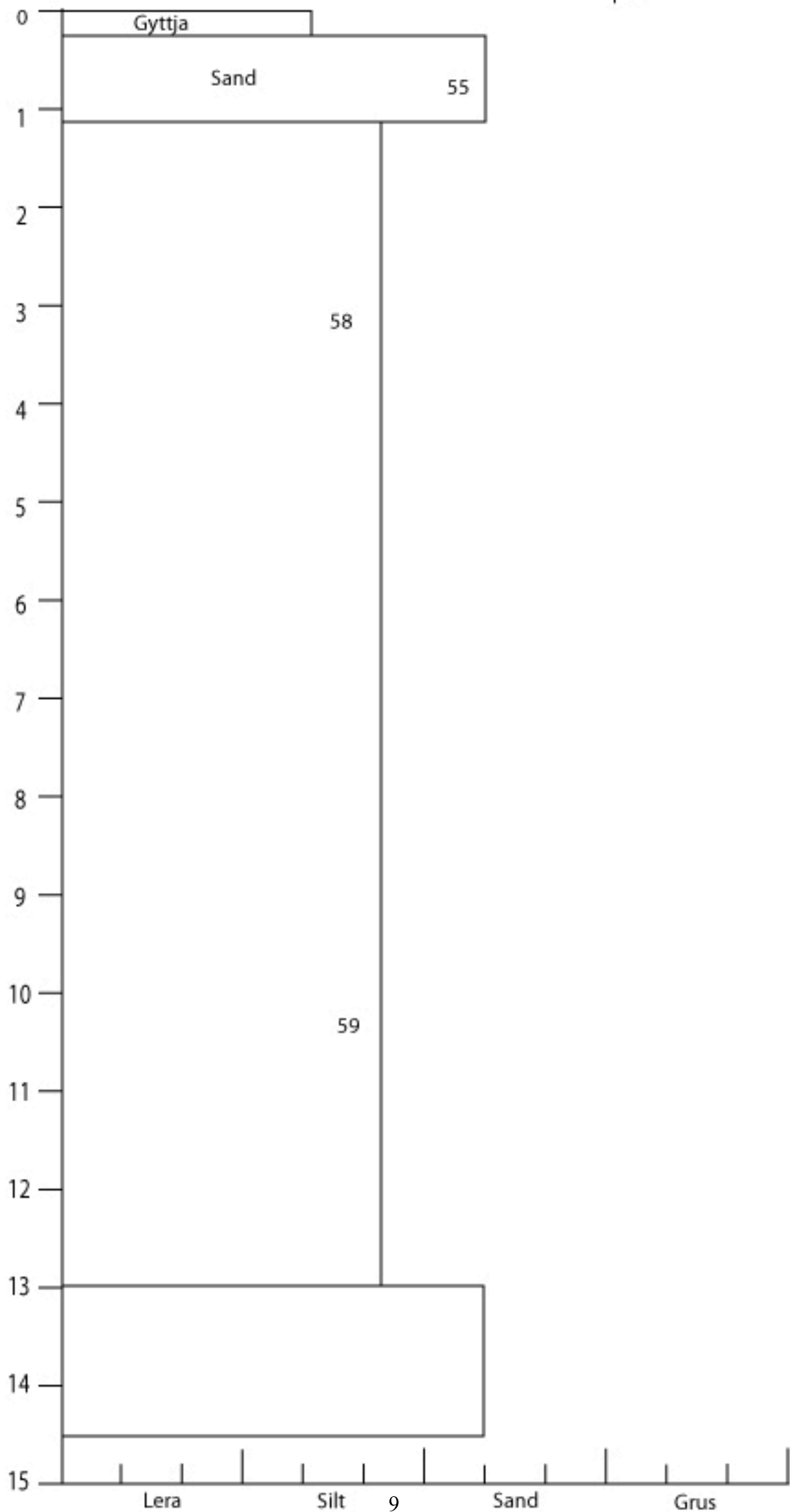


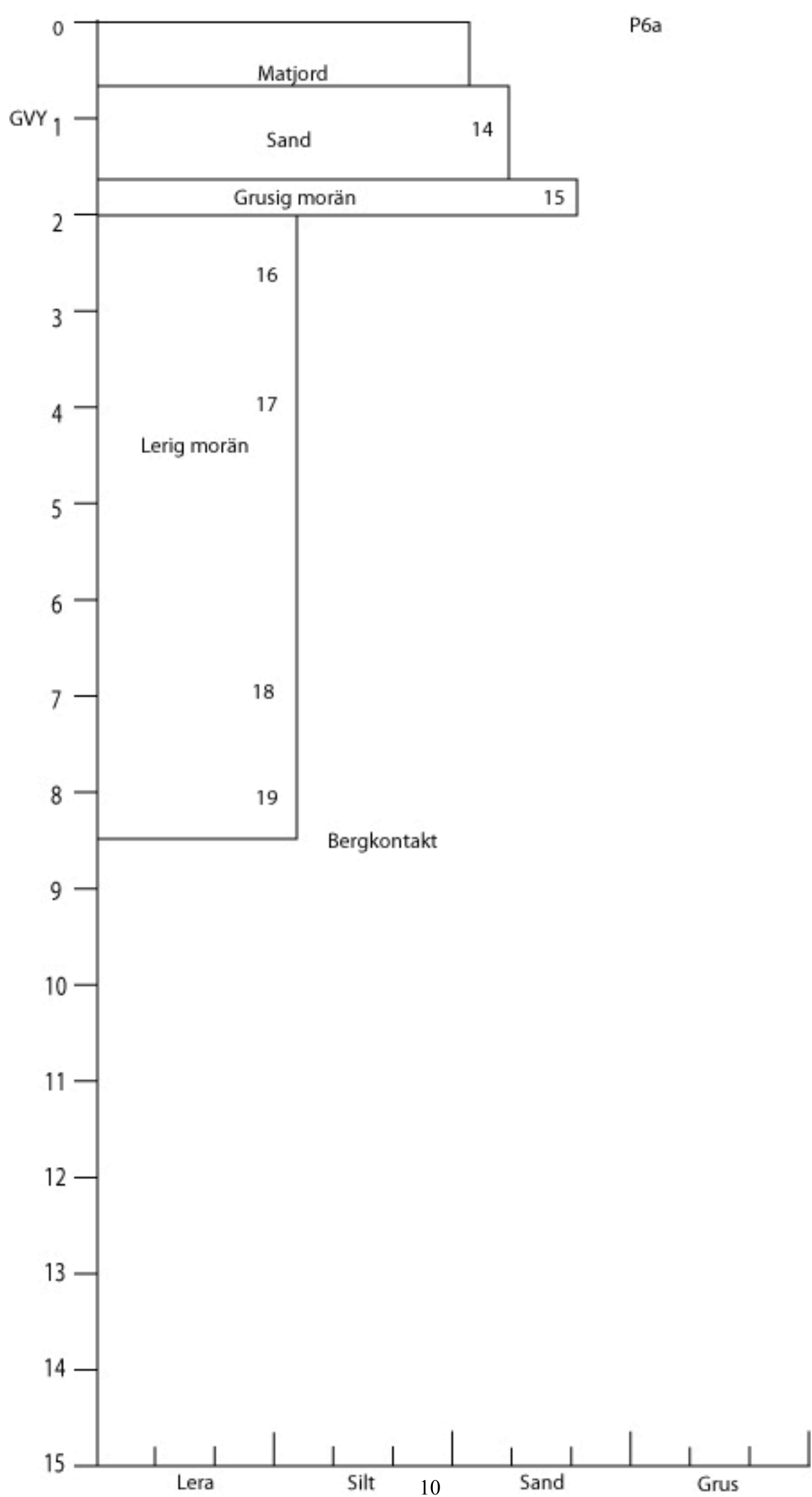


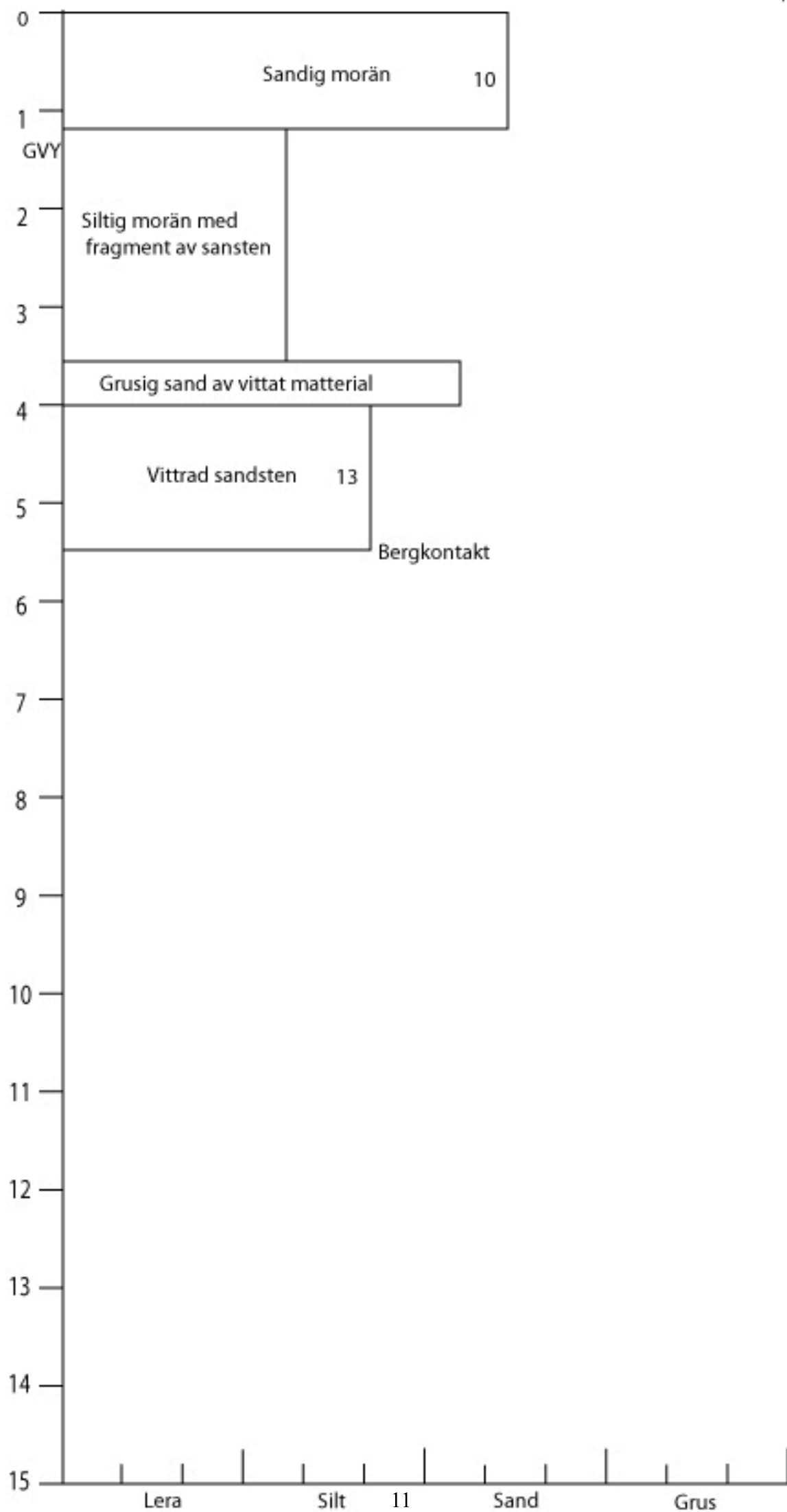


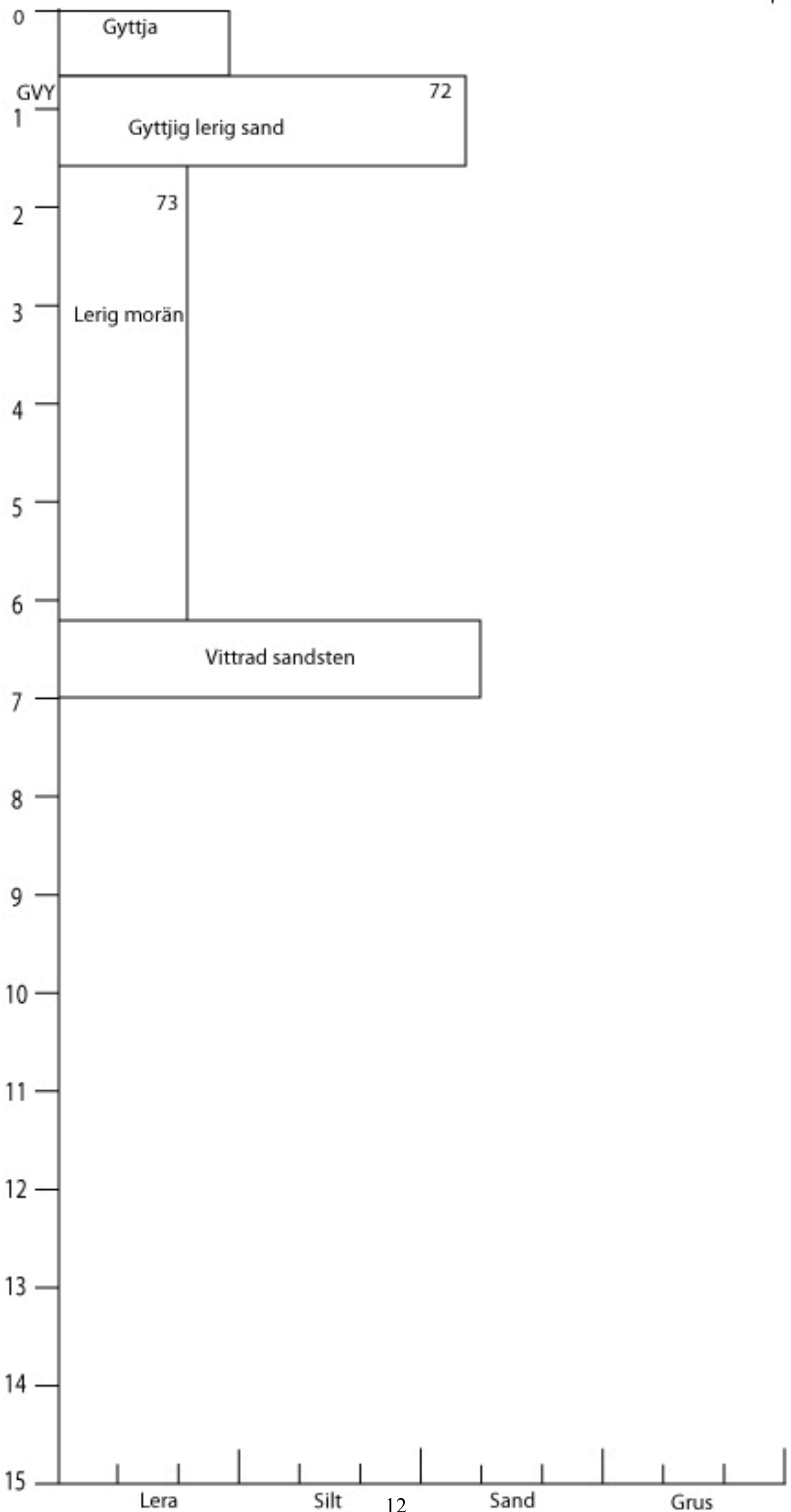


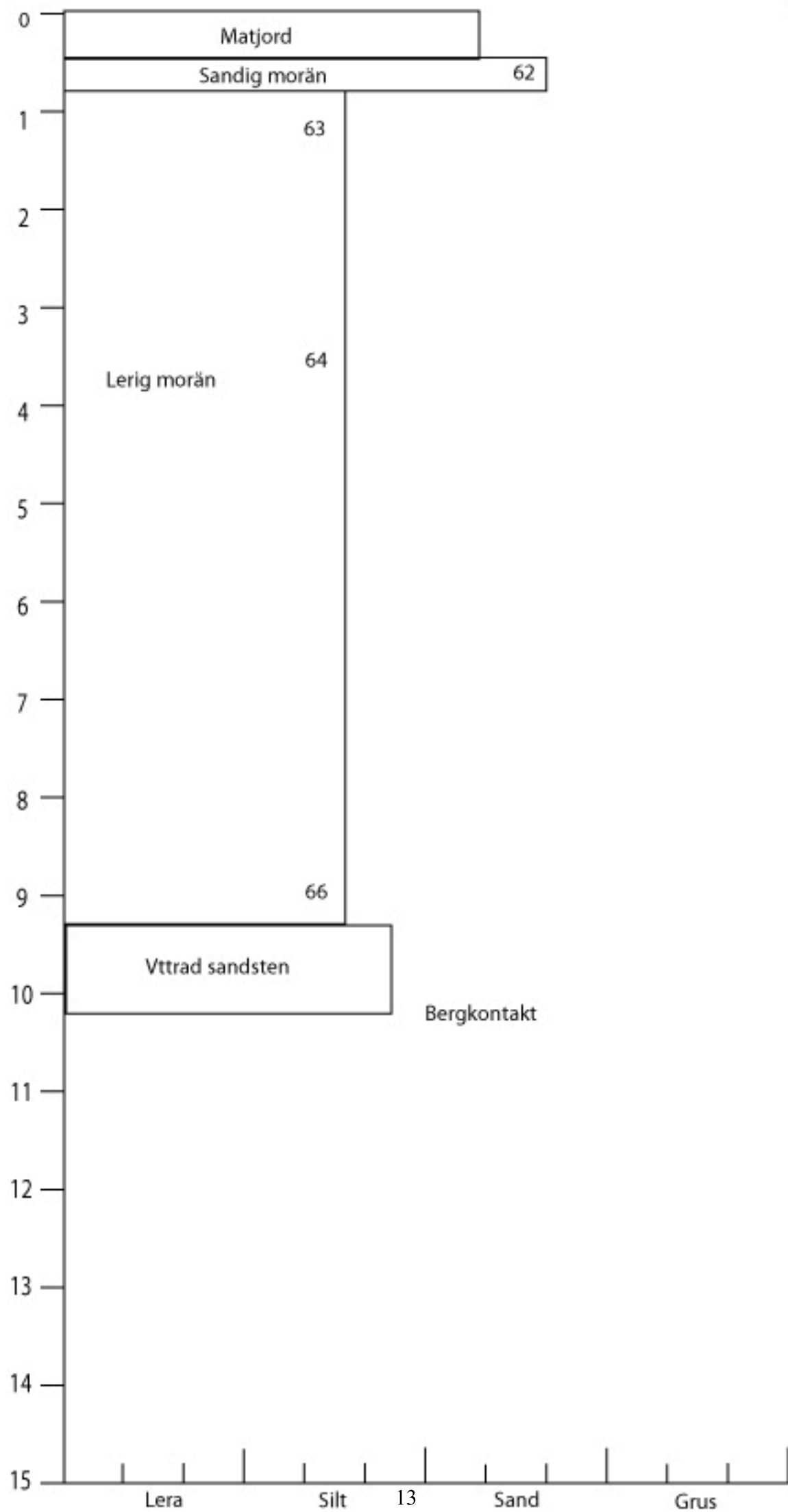


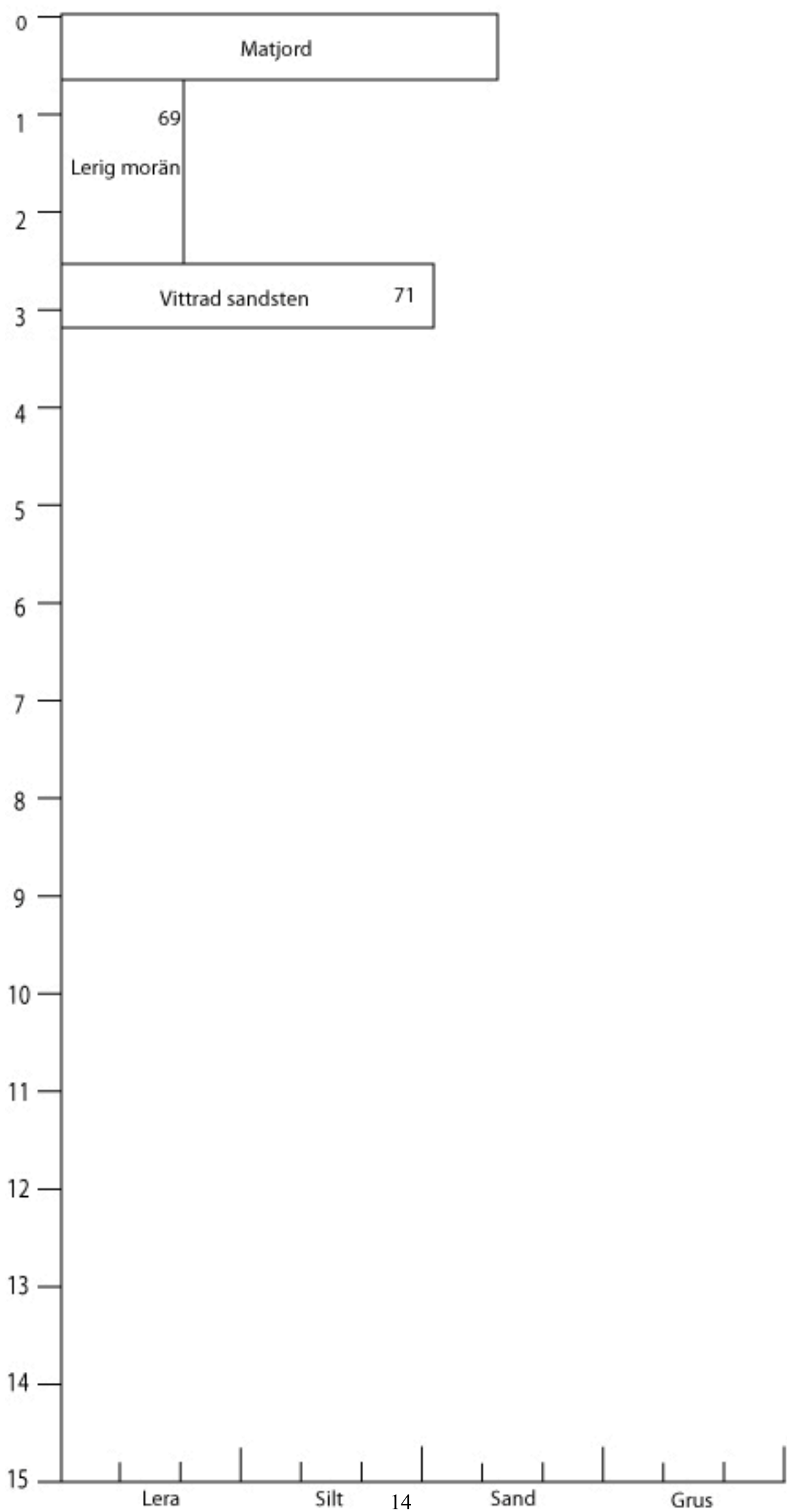












Geologisk profil för borrhypunkt Filb G17				
X-värde: 12871,089 Markyta: 42,48 m ö h				
Y-värde: 13839,184 Röröverkant: 43,32 m ö h				
Djup [m u.my]	Måktighet [m]	Petrografisk beskrivning	Lagerföljd/ Stratigrafi	Grundvatten- nivå [m ö h]
0,00-0,50	0,50	silt, lerig, något grovmoig, humos, rötter, mjuk, mörkbrun, lite fuktig	matjord (Holocen)	
0,50-1,10	0,60	ler (mårgel), siltig, något grovmoig, mjuk, stort kalkhaltig, mellanbrun till gulbrun, torr	LeMn (Weichselistiden)	
1,10-3,20	2,10	till 2,90 m kärnförlust, mycket mjuk, förmodligen såsom 0,50-1,10 m, därunder densamma	dens.	
3,20-3,55	0,35	grov sand, stort mellansandig, något fingrusig, luker, gråbrun, fuktig	grSaMn (Weichselistiden)	
3,55-3,70	0,15	ler (mårgel), siltig, något grovmoig, fast, stort kalkhaltig, gråbrun, torr	LeMn (Weichselistiden)	
3,70-4,20	0,50	grovmo, något siltig, lite kalkhaltig, ljusgrå, fuktig	SaMn (Weichselistiden)	
4,20-5,00	0,80	ler, stort fingrusig, siltig, ej kalkhaltig, mörkgrå till brungrå, fuktig	(gr)LeMn (Weichselistiden)	
5,00-6,30	1,30	ler, stort grovmoig, siltig, enstaka stenar, mjuk, ljusgrå, fuktig	LeMn (Weichselistiden)	
6,30-7,30	1,00	grovmo, siltig, något fingrusig, ej kalkhaltig, grå till brungrå, fuktig	SaMn (Weichselistiden)	vattenyta påträffad vid 6,97 m u.my (97-05-03), stighöjd 1,00 m u.my (97-05-06)
7,30-8,35	1,05	ler, stort siltig, något grovmoig, enstaka stenar, lite kalkhaltig, brungrå, lite fuktig	sisaleMn (Weichselistiden)	
8,35-8,90	0,55	ler, stort fingrusig, siltig, något grovmoig, mjuk, ej kalkhaltig, gråbrun, lite fuktig	grLeMn (Weichselistiden)	
8,90-9,00	0,10	sandsten-skifferlera-växellagring, mycket skifferlera, mjuk, mörkgrå, torr	Sst/SL (Rät-Lias) deltabildning	
9,00-10,70	1,70	sandsten-skifferlera-växellagring, mycket skifferlera, till 9,55 fast, därunder mjuk, mörkgrå, torr	Sst/SL (Rät-Lias) deltabildning	
10,70-14,00	3,30	sandsten-skifferlera-växellagring (med ripplar), ej kalkhaltig, ljus- till mörkgrå, torr	Sst/SL (Rät-Lias) deltabildning	
		djup: 14,00 m		

Geologisk profil för borrhål Filb G30				
X-värde: 12957,219 Markyta: 41,49 m ö h				
Y-värde: 13593,865 Röröverkant: 42,38 m ö h				
Djup [m u.my]	Måktighet [m]	Petrografisk beskrivning	Lagerföljd/ Stratigrafi	Grundvatten- nivå [m ö h]
0,00-0,25	0,25	ler, siltig, enstaka förekomst av grovgrus, mycket humos, rötter, brunsvart, lite fuktig	dy (Holocen)	vattenyta påträffad vid 0,28 m u.my (97-04-22), stighöjd 0,40 m ö.my (97-04-19)
0,25-0,90	0,65	ler, siltig, mycket humös, svartgrå, lite fuktig	dy (Holocen)	
0,90-1,45	0,55	mellansand, moig, gul till gulbrun, lite fuktig	post glaciala finsediment	
1,45-3,50	2,05	finmo, siltig-lerig, enstaka förekomst av grovgrus, enstaka stenar (20-80 mm d), grå till blågrå, fuktig	saLeMn (Weichselistiden)	
3,50-4,50	1,00	ler (mårgel), siltig, kalkhaltig, grå, torr	LeMn (Weichselistiden)	
4,50-6,35	1,85	ler (mårgel), mycket siltig till moig, något grovgrusig, lite rullstenar, kalkhaltig, grå till gråbrun, fuktig	sisaleMn (Weichselistiden)	
6,35-6,65	0,30	ler (mårgel), siltig, mycket kalkhaltig, grå, lite fuktig till torr	LeMn (Weichselistiden)	
6,65-7,40	0,75	grovmo till mellansand, enstaka förekomst av grovgrus, kalkhaltig, gråbrun, fuktig	(gr)SaMn (Weichselistiden)	
7,40-8,50	1,10	ler (mårgel), siltig, något grovmoig, kalkhaltig, grå, torr	LeMn (Weichselistiden)	
8,50-10,15	1,65	fingrus, grovsandig, något grovgrusig, gråbrun, från 9,30 m något lerig, våt	grsaMn (Weichselistiden)	
10,15-10,85	0,70	ler, siltig, något fingrusig, lite kalkhaltig, enstaka förekomst av rullstenar (20-50 mm d), fuktig	LeMn (Weichselistiden)	
10,85-11,80	0,95	ler, siltig, något moig, enstaka förekomst av rullstenar (20-60 mm d), torr	LeMn (Weichselistiden)	
11,80-19,30	7,50	stenar (rullstenar, 20-100 mm d; i medeltal 50-60 mm d), något grovgrusig, består av granit, gnejs och lite sandsten), rödbrun, fuktig	glacifluviala grovsediment	
19,30-20,00	0,70	sandsten, fast, med kolstrimor (1-2 mm tjocka), från 19,80 m lerstenstrimor (ca. 2 mm tjocka)	Sst (Rät-Lias) deltabildning	
		djup: 20,00 m		

Geologisk profil för borrhypunkt Filb G31				
X-värde: 12918,777 Markyta: 41,20 m ö h				
Y-värde: 13501,674 Röröverkant: 42,30 m ö h				
Djup [m u.my]	Måktighet [m]	Petrografisk beskrivning	Lagerföljd/ Stratigrafi	Grundvatten- nivå [m ö h]
0,00-0,08	0,08	ler, grovmoig, humos, rötter, brunsvart, lite fuktig	matjord (Holocen)	vattenyta påträffad vid 0,20 m u.my (97-04-22), stighöjd 0,70 m ö.my (97-04-26)
0,08-1,10	1,02	mellansand, stort siltig, grovmoig, enstaka fingrus, ej kalkhaltig, mellanbrun, lite fuktig	postglaciala finsediment	
1,10-1,75	0,65	grovmo, stort lerig-siltig, enstaka grovgrus, blågrå, lite fuktig	dens.	
1,75-2,00	0,25	mellansand, grovmoig, mellanbrun, fuktig	dens.	
2,00-3,15	1,15	grovmo, stort lerig, siltig, gråblå, lite fuktig	dens.	
3,15-3,70	0,55	ler (mārgel), siltig, något grovmoig, enstaka stenar, gråblå, torr	LeMn (Weichselistiden)	
3,70-4,65	0,95	ler (mārgel), siltig, enstaka rullstenar, kalkhaltig, ljusgrå, torr	dens.	
4,65-5,00	0,35	grovmo, stort siltig-lerig, något grovgrusig, enstaka stenar, gråbrun till brun, fuktig	(gr)SaMn (Weichselistiden)	
5,00-5,50	0,50	ler, siltig, grovmoig, enstaka rullstenar (50-70 mm d), mellanbrun, torr	saLeMn (Weichselistiden)	
5,50-6,00	0,50	ler, siltig, enstaka rullstenar, lite kalkhaltig, gråbrun, torr	LeMn (Weichselistiden)	
6,00-6,40	0,40	ler (mārgel), stort grovmoig, siltig, något fingrusig, enstaka stenar, kalkhaltig, gråbrun, fuktig	(gr)saLeMn (Weichselistiden)	
6,40-8,50	1,90	ler (styv), siltig, lite rullstenar, lite kalkhaltig, mellanbrun till gråbrun, torr	LeMn (Weichselistiden)	
8,50-9,00	0,50	ler (mārgel), stort siltig-grovmoig, kalkhaltig, mellanbrun, torr	sisaLeMn (Weichselistiden)	
9,00-10,35	1,35	grovmo, lerig-siltig, flinta (ca. 10,00 m u.my.), mellanbrun, fuktig	SaMn (Weichselistiden)	
10,35-11,50	1,15	ler (mārgel), stort siltig-grovmoig, enstaka fingrus och rullstenar (100 mm d), kalkhaltig, mellanbrun, fuktig	sasiLeMn (Weichselistiden)	
11,50-12,40	0,90	ler (mārgel), siltig, något grovmoig, enstaka rullstenar (ca. 90 mm d), kalkhaltig, gråbrun, torr	LeMn (Weichselistiden)	
12,40-13,05	0,65	silt, stort grovmoig, lerig (mārglig), stort kalkhaltig, fuktig	sisaMn (Weichselisiden)	
13,05-14,00	0,95	ler (mārgel), siltig, kalkhaltig, grå till gråbrun, torr	LeMn (Weichselisiden)	
14,00-17,50	3,50	grovgrus, fingrusig, mycket stenar (90-100 mm d, bl.a. granit, basalt), lerig, ljusgrå till brungrå, våt	glacifluviala grovsediment	
17,50-20,00	2,50	sandsten (fin- till mellansandsten), ljusgrå, fuktig	Sst (Rāt-Lias) deltabildning	
		djup: 20,00 m		

Geologisk profil för borrhål G21				
X-värde: 13132,871 Markyta: 42,51 m ö h				
Y-värde: 13227,979 Röröverkant: 43,31 m ö h				
Djup [m u.my]	Måktighet [m]	Petrografisk beskrivning	Lagerföljd/ Stratigrafi	Grundvatten- nivå [m ö h]
0,00-0,20	0,20	ler, stort siltig, grovmoig, lite humos, rötter, mellanbrun, lite fuktig	matjord över fyllning	
0,20-1,00	0,80	ler, stort siltig, något grovmoig, mörkbrun, torr	fyllning	
1,00-1,70	0,70	högförmultnad torv, lite växtrester (rester av vassrör), ej kalkhaltig, mörkbrun, fuktig	Th (Holocen)	
1,70-2,25	0,55	grovmo till mellansand, siltig, gulbrun, lite fuktig	postglaciala finsediment	
2,25-2,90	0,65	ler, siltig, enstaka flintor, ej kalkhaltig, gråbrun, fuktig	siLeMn (Weichselistiden)	vattenyta påträffad vid 7,21 m u.my (97-04-30), stighöjd 0,89 m u.my (97-05-04)
2,90-3,20	0,30	grovmo, stort siltig, något kalkhaltig, gulbrun, fuktig	SaMn (Weichselistiden)	
3,20-9,20	6,00	silt, stort grovmoig, lerig, kalkhaltig, gråblå till gråbrun, fuktig	sisaleMn (Weichselistiden)	
9,20-9,40	0,20	fingrus, stort grovsandig, grovgrusig, stenar till 90 mm d, mellanbrun, fuktig	grSaMn (Weichselistiden)	
9,40-10,00	0,60	ler (märgel), siltig, något grovmoig, enstaka stenar, stort kalkhaltig, torr	LeMn (Weichselistiden)	
10,00-10,45	0,45	grovmo, lerig (märglig), kalkhaltig, mörkbrun, fuktig	SaMn (Weichselistiden)	
10,45-11,00	0,55	grovsand, stort fingrusig, något lerig, enstaka grovgrus, grå, våt	grSaMn (Weichselistiden)	
11,00-11,25	0,25	ler, siltig, enstaka grovgrus, fast, gråbrun, torr	LeMn (Weichselistiden)	
11,25-14,00	2,75	grovmo, siltig, något lerig, något kalkhaltig, mellanbrun, fuktig	SaMn (Weichselistiden)	
14,00-14,70	0,70	grovsand, något fingrusig, enstaka grovgrus, mellanbrun, fuktig	(gr)SaMn (Weichselistiden)	
14,70-15,50	0,80	ler, siltig, enstaka fingrus, lite stenar, lite kalkhaltig, brunrå, torr	LeMn (Weichselistiden)	
15,50-16,40	0,90	grovmo, siltig, kalkhaltig, mellanbrun, fuktig	siSaMn (Weichselistiden)	
16,40-17,40	1,00	grovsand, lerig (märglig), något fingrusig, stort kalkhaltig, gråbrun, fuktig	SaMn (Weichselistiden)	
17,40-18,00	0,60	ler (märgel), siltig, enstaka fingrus och stenar, stort kalkhaltig, grå, torr	LeMn (Weichselistiden)	
18,00-23,70	5,70	fingrus, stort grovgrusig, något grovsandig, mycket stenar (bl.a. granit, gnejs och kvartsit), rödbrun, våt från 23,00 m - grovgrus, något fingrusig, stort stenig, grågrön till gråbrun	glacifluviala grovsediment	

fortsättning av geologisk profil för borrhypunkt Filb G21:

Djup [m u.my]	Måktighet [m]	Petrografisk beskrivning	Lagerföljd/ Stratigrafi	Grundvatten- nivå [m ö h]
23,70-25,45	1,75	sandsten-skifferlera-växellagring (med rippar), fast, övervägande skifferlera, ljus- till mörkgrå, torr	Sst/SL (Rät-Lias) deltabildning	
25,45-25,55	0,10	skifferlera, mjuk, mörkgrå, torr	SL (Rät-Lias) deltabildning	
25,55-29,30	3,75	sandsten-skifferlera-växellagring, övervä- gande finsandsten, fast, ljusgrå (sandsten) till mörkgrå (skifferlera), lite fuktig	Sst/SL (Rät-Lias) deltabildning	
29,30-32,00	2,70	skifferlera med lite sandsten, mjuk, mörkgrå, fuktig, från 30,00 m fast	SL (Rät-Lias) deltabildning	
		djup: 32,00 m		

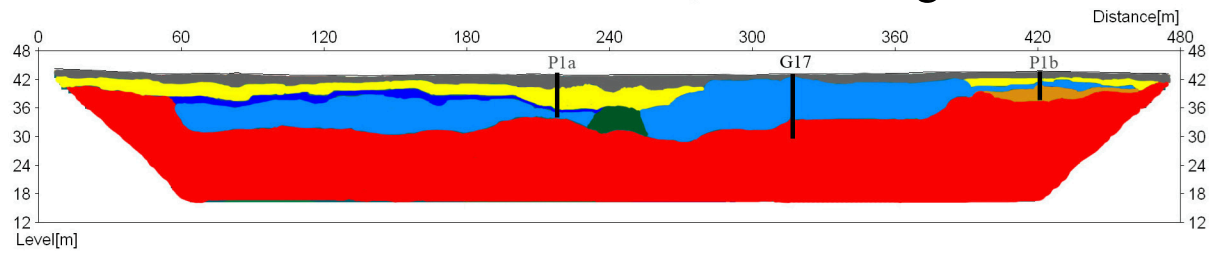
Bilaga 5

Kornstorleksfördelning

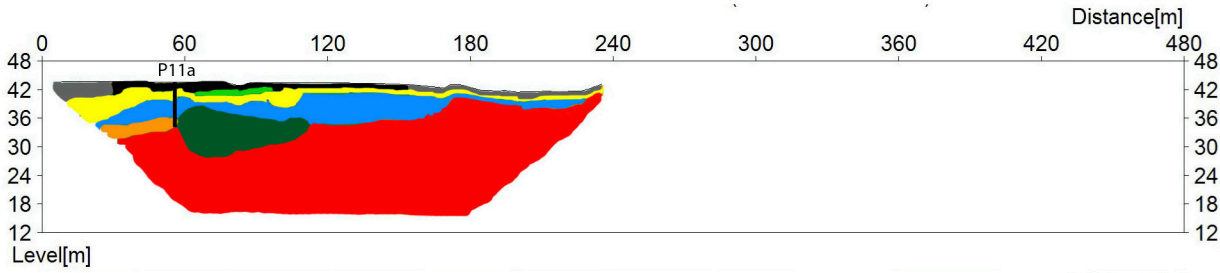
Borrning	Nummer	Grushalt %	Sandhalt %	Silthalt %	Lerhalt %
P1b	1	1	90	10	0
	2	7	54	39	0
	3	0	92	8	0
P1a	4	2	80	9	9
	5	0	79	7	15
	6	0	50	39	12
	8	8	43	50	0
P6b	10	14	53	33	0
	12	11	40	49	0
	13	5	50	46	0
P6a	14	0	91	9	0
	15	16	39	33	12
	16	24	53	23	0
	17	11	41	33	15
P9b	19	18	55	13	14
	20	13	45	28	14
	21	27	59	14	0
	22	3	81	16	0
P10a	23	23	58	18	0
	24	14	43	43	0
	25	0	86	8	6
	26	7	45	35	13
	27	10	78	8	4
	28	5	76	15	4
P11a	29	14	47	33	6
	31	6	49	45	0
P8a	35	22	51	17	10
	36	2	62	30	7
	36	0	42	58	0
	37	1	32	49	18
	38	7	47	29	16
	39	7	50	43	0
	40	12	42	31	15
P9a	42	0	87	10	3
	43	19	70	11	0
	44	4	41	55	0
	45	21	53	26	0
	46	12	37	50	0
	47	6	46	48	0
	48	16	41	43	0
P7a	49	0	94	5	0
	50	0	74	19	7
	51	0	75	25	0
	52	8	81	11	0

Borrning	Nummer	Grushalt %	Sandhalt %	Silthalt %	Lerhalt %
P7b	55	0	89	11	0
	56	6	48	46	0
	57	10	39	44	7
	58	15	37	50	-3
	59	8	43	33	16
	59	5	40	38	18
P5a	62	2	72	26	0
	63	11	40	34	14
	64	3	41	56	0
	65	26	37	37	0
	66	9	37	29	25
P4a	68	6	45	32	16
	70	23	28	48	0
	71	15	29	57	0
P13a	72	0	62	30	8
	73	7	41	52	0
	74	8	39	52	0

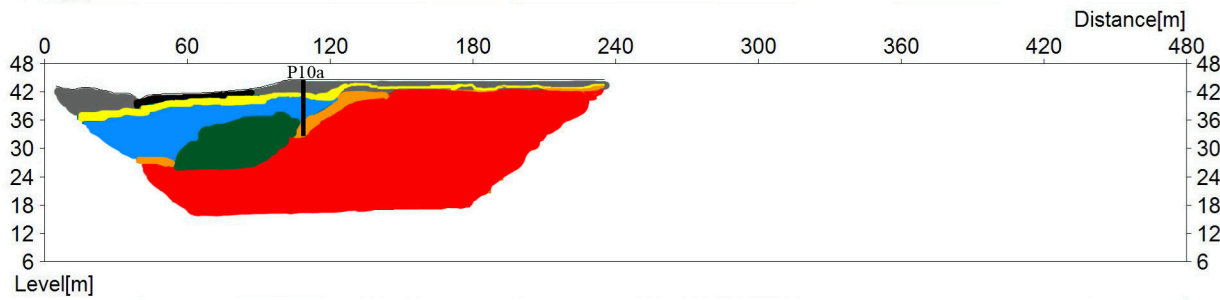
Bilaga 6 Geologisk modell



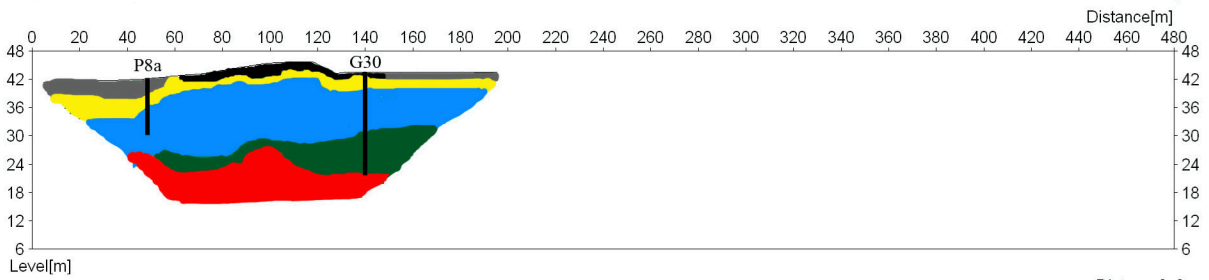
P1



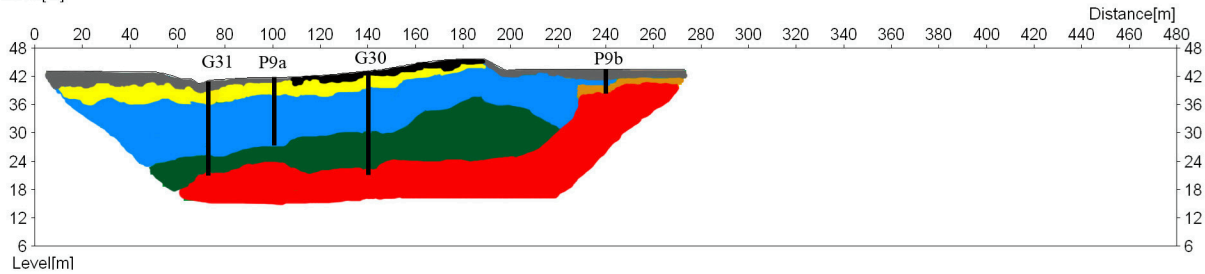
P11



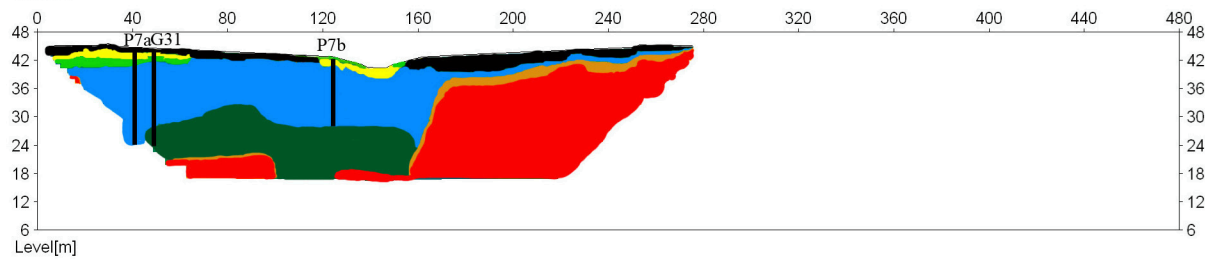
P10



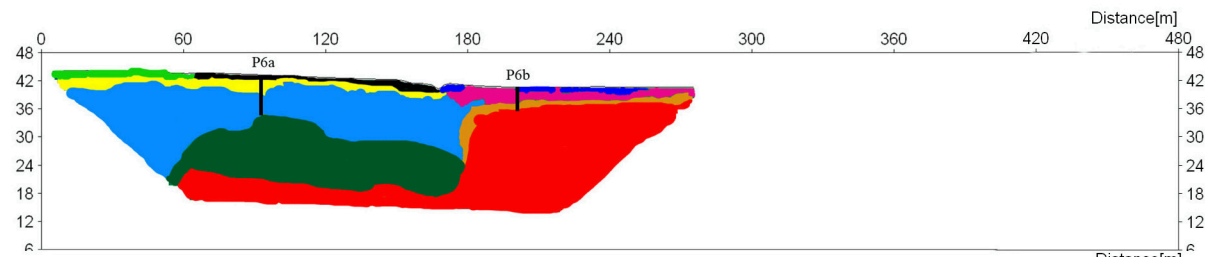
P8



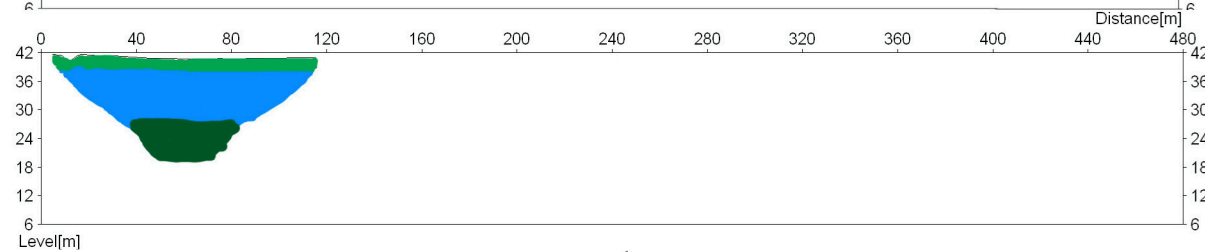
P9



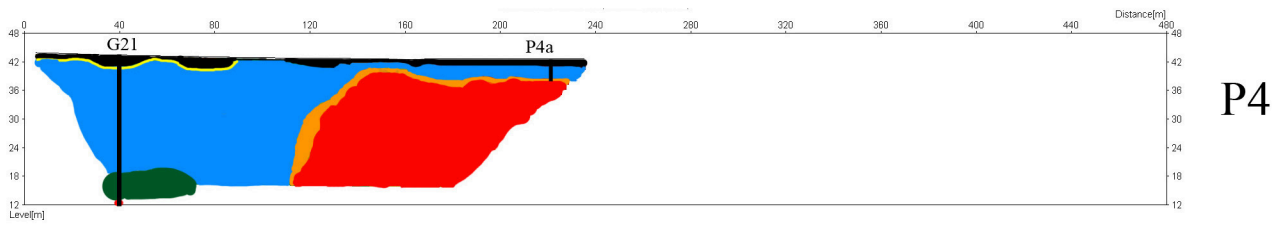
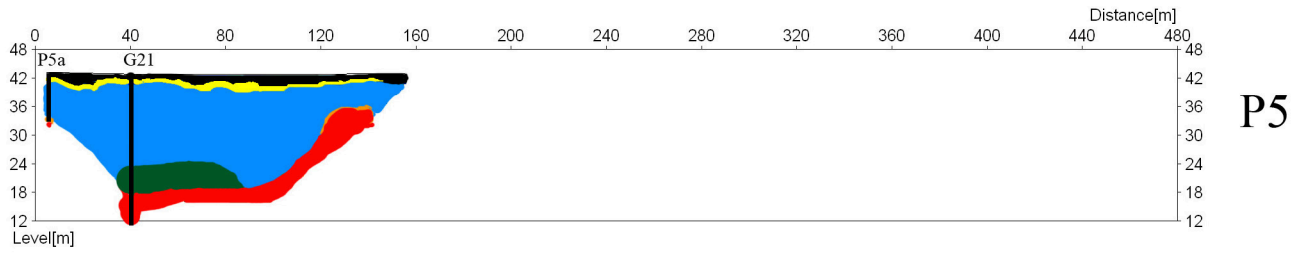
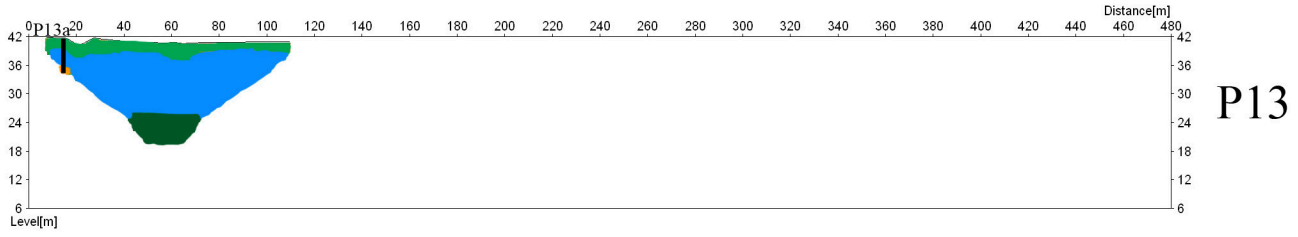
P7



P6

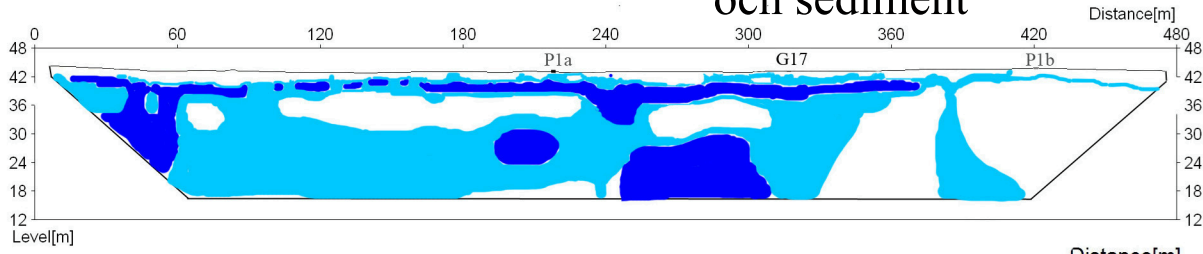


P12

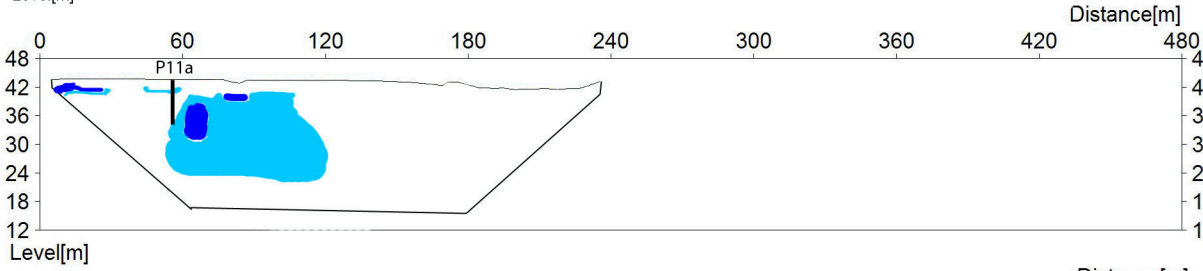


- | | | | |
|---|--|---|----------------------------|
|  | Sandstensberggrund |  | Sandig gyttja |
|  | Vittrad sandsten |  | Grusig morän |
|  | Morän medels lorig, grusiga skikt förekommer |  | Sandig morän |
|  | Gyttig lorig sand |  | Glacifluviala grovsediment |
|  | Sand | | |
|  | Fyllnadsmaterial | | |
|  | Matjord | | |

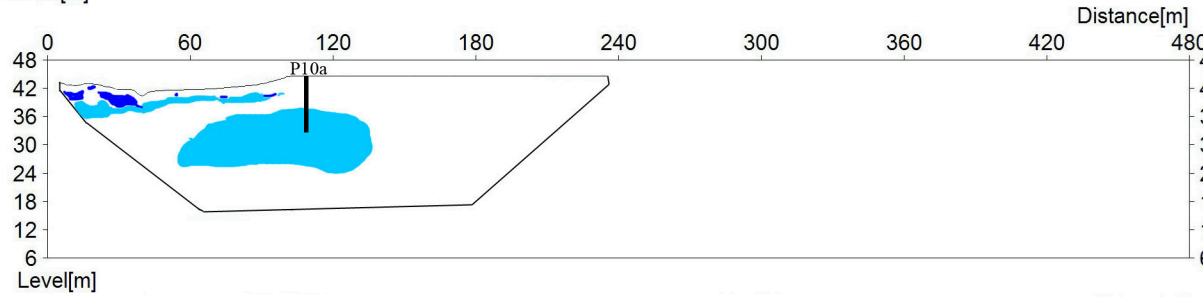
Bilaga 7 Föroreningsspredning i grundvatten och sediment



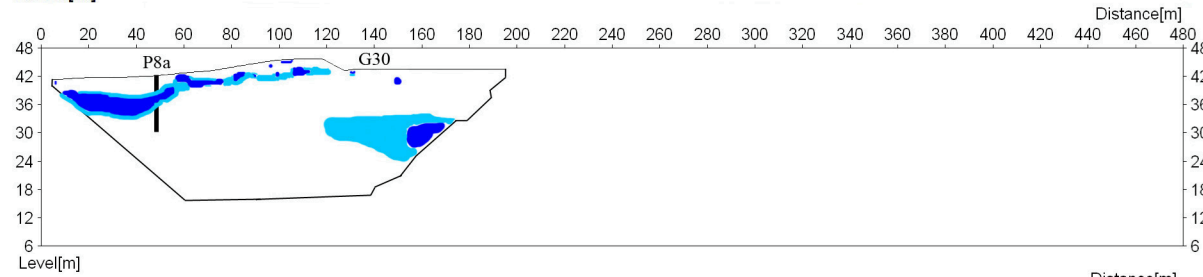
P1



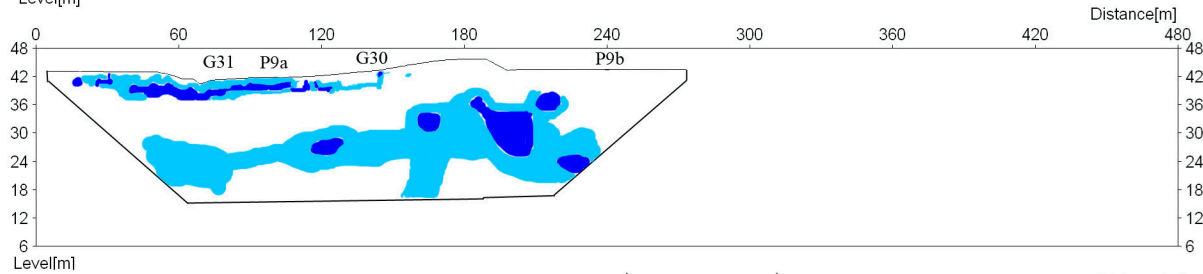
P11



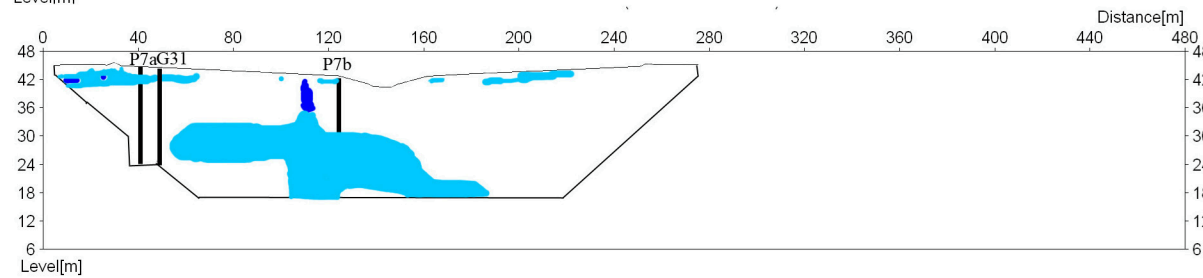
P10



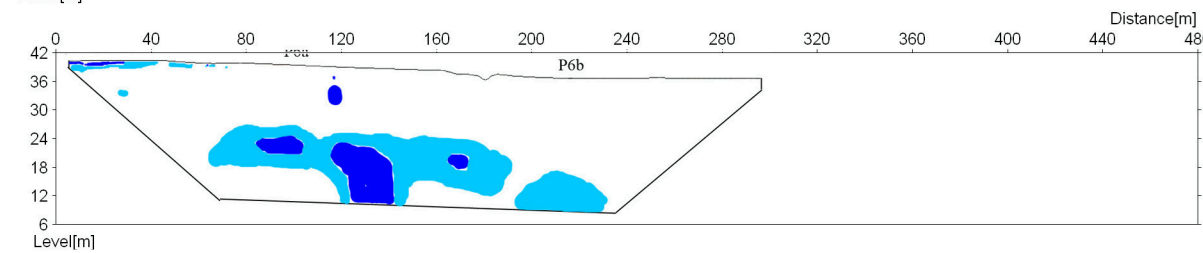
P8



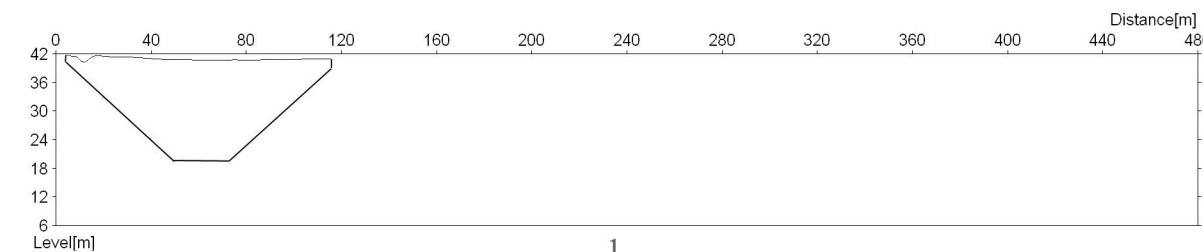
P9



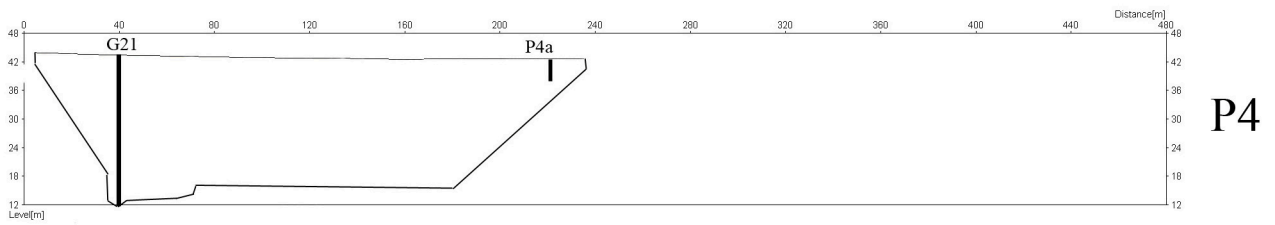
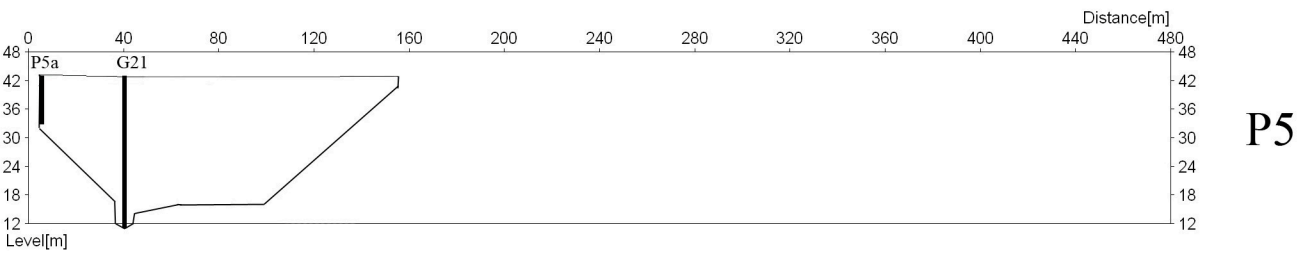
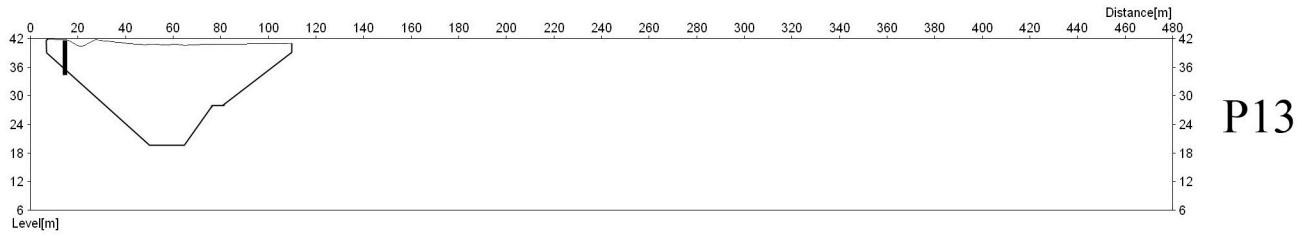
P7



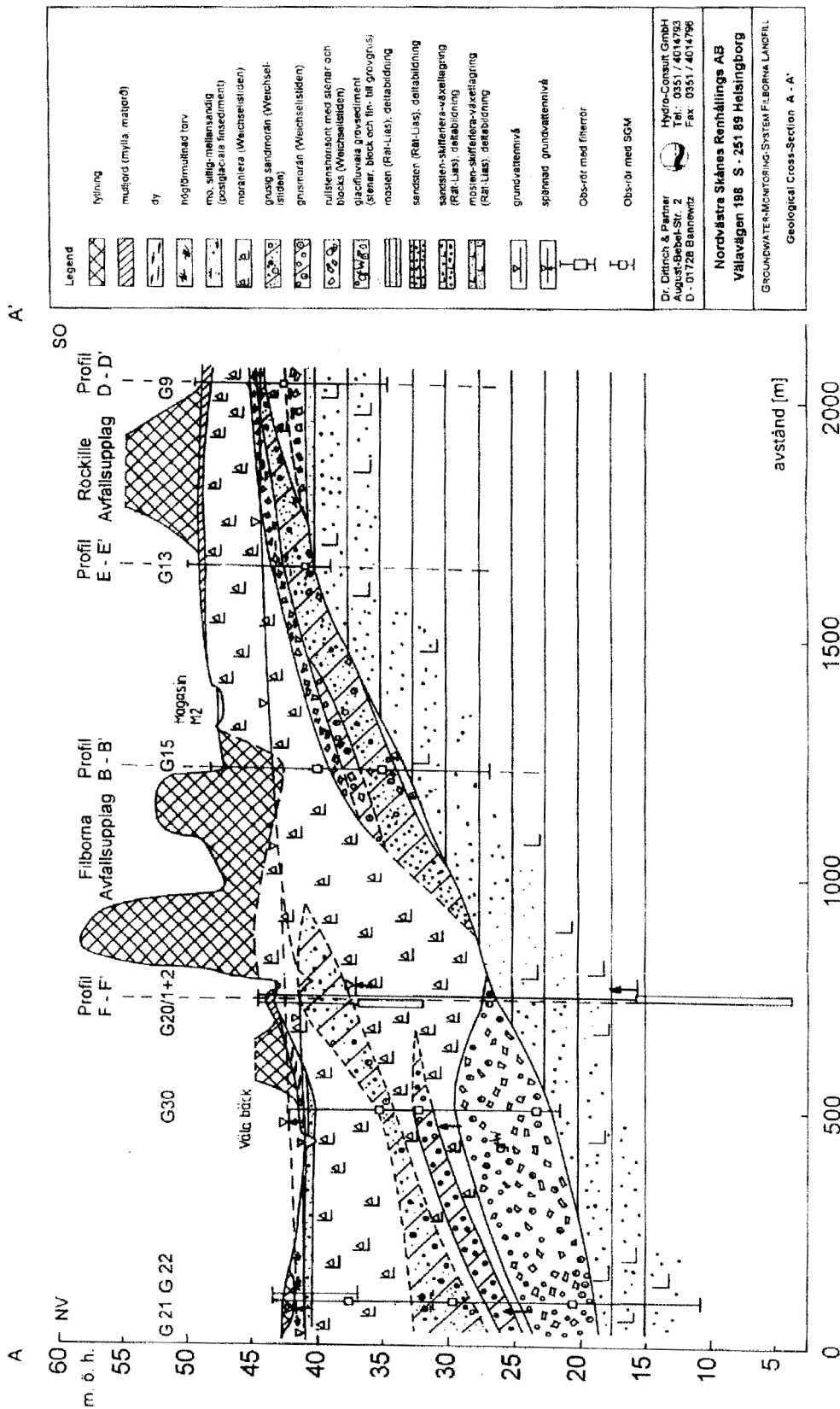
P6



P12



Svagt förorenat grundvatten
 Kraftigt förorenat grundvatten

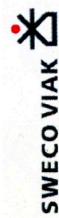


(Dr Dittrich & Partnes 1997)



Förklaringar

- Befintligt vattendrag
- - - Väla bäcks gamla lopp
- Observationsbrunnar, NSR
- Geoteknisk undersökningspunkt
- Intermoränt sediment
- Isälvsmaterial
- Tolkat jorddjup



Nordvästra Skånes Renhållnings AB

Geologisk Modell
Filborna

Jordlagerförhållanden, detalj

Karta, skala 1:12 000

Malmö 2004-12-17

Rev 2005-07-04

Uppdragsnr: 1270071.000

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
Universitet”:**

203. Jansson, Ida-Maria, 2006: An Early Jurassic conifer-dominated assemblage of the Clarence-Moreton Basin, eastern Australia.
204. Striberger, Johan, 2006: En lito- och biostratigrafisk studie av senglaciala sediment från Skuremåla, Blekinge.
205. Bergelin, Ingemar, 2006: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of basalts in Scania, S Sweden: evidence for two pulses at 191-178 Ma and 110 Ma, and their relation to the break-up of Pangea.
206. Edvarsson, Johannes, 2006: Dendrokronologisk undersökning av tallbestånds etablering, tillväxtdynamik och degenerering orsakat av klimatrelaterade hydrologiska variationer på Viss mosse och Åbuamossen, Skåne, södra Sverige, 7300-3200 cal. BP.
207. Stenfeldt, Fredrik, 2006: Litostratigrafiska studier av en plåtåformad sand- och grusavlagring i Skuremåla, Blekinge.
208. Dahlenborg, Lars, 2007: A Rock Magnetic Study of the Åkerberg Gold Deposit, Northern Sweden.
209. Olsson, Johan, 2007: Två svekofenniska graniter i Bottniska bassängen; utbredning, U-Pb zirkondatering och test av olika abrasionstekniker.
210. Erlandsson, Maria, 2007: Den geologiska utvecklingen av västra Hamrängesyntinalens suprakrustalbergarter, centrala Sverige.
211. Nilsson, Pernilla, 2007: Kvidingedeltat – bildningsprocesser och arkitektonisk uppbyggnadsmodell av ett glacifluvialt Gilbertdelta.
212. Ellingsgaard, Óluva, 2007: Evaluation of wireline well logs from the borehole Kyrkheddinge-4 by comparison to measured core data.
213. Åkerman, Jonas, 2007. Borrkärnekartering av en Zn-Ag-Pb-mineralisering vid Stenbrånet, Västerbotten.
214. Kurlovich, Dzmitry, 2007: The Polotsk-Kurzeme and the Småland-Blekinge Deformation Zones of the East European Craton: geomorphology, architecture of the sedimentary cover and the crystalline basement.
215. Mikkelsen, Angelica, 2007: Relationer mellan grundvattenmagasin och geologiska strukturer i samband med tunnelborrning genom Hallandsås, Skåne.
216. Trondman, Anna-Kari, 2007: Stratigraphic studies of a Holocene sequence from Taniente Palet bog, Isla de los Estados, South America.
217. Månsson, Carl-Henrik & Siikanen, Jonas, 2007: Measuring techniques of Induced Polarization regarding data quality with an application on a test-site in Aarhus, Denmark and the tunnel construction at the Hallandsås Horst, Sweden.
218. Ohlsson, Erika, 2007: Classification of stony meteorites from north-west Africa and the Dhofar desert region in Oman.
219. Åkesson, Maria, 2008: Mud volcanoes - a review. (15 hskp)
220. Randsalu, Linda, 2008: Holocene relative sea-level changes in the Tasiusaq area, southern Greenland, with focus on the Ta1 and Ta3 basins. (30 hskp)
221. Fredh, Daniel, 2008: Holocene relative sea-level changes in the Tasiusaq area, southern Greenland, with focus on the Ta4 basin. (30 hskp)
222. Anjar, Johanna, 2008: A sedimentological and stratigraphical study of Weichselian sediments in the Tvärkroken gravel pit, Idre, west-central Sweden. (30 hskp)
223. Stefanowicz, Sissa, 2008: Palynostratigraphy and palaeoclimatic analysis of the Lower - Middle Jurassic (Pliensbachian - Bathonian) of the Inner Hebrides, NW Scotland. (15 hskp)
224. Holm, Sanna, 2008: Variations in impactor flux to the Moon and Earth after 3.85 Ga. (15 hskp)
225. Bjärnberg, Karolina, 2008: Internal structures in detrital zircons from Hamråde: a study of cathodoluminescence and back-scattered electron images. (15 hskp)
226. Noresten, Barbro, 2008: A reconstruction of subglacial processes based on a classification of erosional forms at Ramsvikslandet, SW Sweden. (30 hskp)
227. Mehlqvist, Kristina, 2008: En mellanjurassisk flora från Bagå-formationen, Bornholm. (15 hskp)
228. Lindvall, Hanna, 2008: Kortvariga effekter

- av tefranedfall i lakustrin och terrestrisk miljö. (15 hskp)
229. Löfroth, Elin, 2008: Are solar activity and cosmic rays important factors behind climate change? (15 hskp)
230. Damberg, Lisa, 2008: Pyrit som källa för spårämnen – kalkstenar från övre och mellersta Danien, Skåne. (15 hskp)
331. Cegrell, Miriam & Mårtensson, Jimmy, 2008: Resistivity and IP measurements at the Bolmen Tunnel and Ådalsbanan, Sweden. (30 hskp)
232. Vang, Ina, 2008: Skarn minerals and geological structures at Kalkheia, Kristiansand, southern Norway. (15 hskp)
233. Arvidsson, Kristina, 2008: Vegetationen i Skandinavien under Eem och Weichsel samt fallstudie i submoräna organiska avlagringar från Nybygget, Småland. (15 hskp)
234. Persson, Jonas, 2008: An environmental magnetic study of a marine sediment core from Disko Bugt, West Greenland: implications for ocean current variability. (30 hskp)
235. Holm, Sanna, 2008: Titanium- and chromium-rich opaque minerals in condensed sediments: chondritic, lunar and terrestrial origins. (30 hskp)
236. Bohlin, Erik & Landen, Ludvig, 2008: Geofysiska mätmetoder för prospektering till ballastmaterial. (30 hskp)
237. Brodén, Olof, 2008: Primär och sekundär migration av hydrokarboner. (15 hskp)
238. Bergman, Bo, 2009: Geofysiska analyser (stångslingram, CVES och IP) av lagerföljd och lakvattenrörelser vid Albäcksdeponin, Trelleborg. (30 hskp)
239. Mehlqvist, Kristina, 2009: The spore record of early land plants from upper Silurian strata in Klinta 1 well, Skåne, Sweden. (45 hskp)
239. Mehlqvist, Kristina, 2009: The spore record of early land plants from upper Silurian strata in Klinta 1 well, Skåne, Sweden. (45 hskp)
240. Bjärnborg, Karolina, 2009: The copper sulphide mineralization of the Zinkgruvan deposit, Bergslagen, Sweden. (45 hskp)
241. Stenberg, Li, 2009: Historiska kartor som hjälp vid jordartsgeologisk kartering – en pilotstudie från Vångs by i Blekinge. (15 hskp)
242. Nilsson, Mimmi, 2009: Robust U-Pb baddeleyite ages of mafic dykes and intrusions in southern West Greenland: constraints on the coherency of crustal blocks of the North Atlantic Craton. (30 hskp)
243. Hult, Elin, 2009: Oligocene to middle Miocene sediments from ODP leg 159, site 959 offshore Ivory Coast, equatorial West Africa. (15 hskp)
244. Olsson, Håkan, 2009: Climate archives and the Late Ordovician Boda Event. (15 hskp)
245. Wolle Waldetoft, Kristofer, 2009: Svekofennisk granit från olika metamorfa miljöer. (15 hskp)
246. Månsby, Urban, 2009: Late Cretaceous coprolites from the Kristianstad Basin, southern Sweden. (15 hskp)
247. MacGimpsey, I., 2008: Petroleum Geology of the Barents Sea. (15 hskp)
248. Jäckel, O., 2009: Comparison between two sediment X-ray Fluorescence records of the Late Holocene from Disko Bugt, West Greenland; Paleoclimatic and methodological implications. (45 hskp)
249. Andersen, Christine, 2009: The mineral composition of the Burkland Cu-sulphide deposit at Zinkgruvan, Sweden – a supplementary study. (15 hskp)
250. Riebe, My, 2009: Spinel group minerals in carbonaceous and ordinary chondrites. (15 hskp)
251. Nilsson, Filip, 2009: Föreningsspridning och geologi vid Filborna i Helsingborg. (30 hskp)
252. Peetz, Romina, 2009: A geochemical characterization of the lower part of the Miocene shield-building lavas on Gran Canaria. (45 hskp)



LUNDS UNIVERSITET