

# Integrering av geofysiska metoder i miljötekniska markundersökningar

- En litteratur- och intervjustudie om dess styrkor, svagheter och potentiella samhällsekonomiska nyttor

---

MIKAEL JAKOBSSON 2016  
MVEM12 EXAMENSARBETE FÖR MASTEREXAMEN 30 HP  
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET





**LUNDS**  
UNIVERSITET

[WWW.CEC.LU.SE](http://WWW.CEC.LU.SE)  
[WWW.LU.SE](http://WWW.LU.SE)

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning  
Centrum för miljö- och  
klimatforskning  
Ekologihuset  
223 62 Lund

# Integrering av geofysiska metoder i miljötekniska markundersökningar

En litteratur- och intervjustudie om dess styrkor, svagheter och potentiella samhällsekonomiska nyttor

Mikael Jakobsson

2016



**LUNDS**  
UNIVERSITET

Mikael Jakobsson

MVEM12 Examensarbete för masterexamen 30 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Håkan Rosqvist, Geologiska institutionen, Lunds universitet

Extern handledare: Mats Svensson, Tyréns AB

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2016



# Abstract

A central part of the risk assessment of contaminated sites is to conduct surveys of the area to assess the need for remediation. Through literature and interview studies this essay examined how geophysical methods can help to improve the environmental risk assessment of contaminated sites in Sweden. The results point to five main strengths in combining geophysical methods with the conventional method of trial pitting used today: 1) better definition of pollution propagation, 2) increased probability for localization of hot spots and pollutants, 3) better geological understanding, 4) additional information, which lead to 5) an improved risk assessment process. Together these five strengths create a number of environmental, financial and project-related benefits such as fewer soil degrading engagements, reduction of uncertainties and reduced risk of post-remediation.

This is important for the ongoing work of the Swedish environmental quality objective non-toxic environment which has proved to be one of our society's most costly and complex environmental problems. However, there are a number of weaknesses that limit the extent to which such integrated surveys can and should be done in order to be meaningful, for example higher proficiency in both geophysics and geology, inability to detect all types of contaminants and the higher initial cost which comes with the use of additional survey methods. By highlighting the strengths and weaknesses in combining geophysical methods with trial pit sampling this study form the basis for further research within the field of environmental geophysics for risk assessment of contaminated sites in order to enhance the efforts to achieve the goal of a non-toxic environment.



# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Inledning</b> .....	<b>9</b>
1.1 Syfte & frågeställningar .....	11
1.2 Avgränsningar .....	11
<b>2. Bakgrund</b> .....	<b>13</b>
2.1 Riskbedömningsprocessen .....	13
2.2 Miljötekniska markundersökningar .....	14
2.2.1 Tillförlitlighet i miljötekniska undersökningar .....	14
2.2.2 Angreppssätt vid markundersökning .....	15
2.3 Geofysiska undersökningsmetoder .....	17
2.4.1 Resistivitetsmätningar .....	17
2.4.2 IP-undersökningar .....	18
2.4.3 Stångslingram .....	18
2.2.3 Konventionell metod .....	19
<b>3. Metod</b> .....	<b>21</b>
3.1 Litteratur- och intervjustudier .....	21
3.2 Kvalitativ analys .....	23
<b>4. Resultat</b> .....	<b>25</b>
4.1 Styrkor integrerad undersökning .....	25
4.1.1 Bättre avgränsning föroreningsutbredning .....	27
4.1.2 Ökad sannolikhet lokalisering hot spots och föroreningar .....	29
4.1.3 Bättre geologisk förståelse .....	30
4.1.4 Kompletterande information .....	30
4.1.5 Effektivitet i riskbedömningsprocessen .....	31



4.2 Svagheter integrerad undersökning .....	31
4.2.1 Detektering föroreningstyper .....	32
4.2.2 Terräng, geologi och temperatur .....	33
4.2.3 Kunskapskrav .....	33
4.2.4 Kostnadsbild .....	33
4.2.5 Föroreningssituation .....	34
4.3 Samhällsekonomisk och miljömässig nytta .....	34
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>37</b>
5.1 Tillförlitlighet i miljötekniska markundersökningar .....	37
5.2 Angreppssätt i miljötekniska undersökningar .....	38
5.3 Samhällsekonomisk och miljömässig nytta .....	39
5.4 Riskbedömningsprocessen .....	41
5.5 Samlad bedömning .....	41
5.6 Studiens begränsningar .....	42
<b>6. Slutsats .....</b>	<b>43</b>
<b>7. Referenser .....</b>	<b>45</b>
<b>Bilaga .....</b>	<b>49</b>

# 1. Inledning

Förorenade områden anses vara ett av de mest komplexa och kostsamma miljöproblemen samhället har att lösa (Rosén, et al., 2014). Som svar på detta utgör efterbehandling av förorenade områden ett av delmålen i det nationella miljö kvalitetsmålet Giftfri miljö. Delmålet syftar till att minska mängden giftiga ämnen i omgivningen som riskerar att påverka människors hälsa, miljön eller naturresurser negativt, idag och i framtiden (Naturvårdsverket 2009a). Omkring 80 000 områden i Sverige har identifierats som misstänkt eller konstaterat förorenade (Rosén et al. 2014), och det fortsatta arbetet innebär att utreda hur dessa områden på bästa sätt ska hanteras för att nå acceptabla föroreningsnivåer (Naturvårdsverket 2009a).

Naturvårdsverket är den myndighet som samordnar arbetet med förorenade områden i Sverige, och har sedan 1999 fördelat statligt bidrag för efterbehandling av förorenade områden i de fall det saknas ansvariga verksamhetsutövare som kan bekosta åtgärderna. Bidragen fördelas utifrån en nationell prioritering till de objekt som anses vara i störst behov av åtgärder (Rosén et al. 2014). Vid år 2009 hade staten lagt ut omkring 1 miljard kronor på efterbehandlingsåtgärder och Naturvårdsverket uppskattade att det skulle krävas ytterligare 60 miljarder för att åtgärda bara de mest förorenade områdena (Rosén et al. 2009).

För att veta om ett förorenat område behöver efterbehandlas och hur omfattande efterbehandlingen behöver vara görs en miljöriskbedömning (Naturvårdsverket 2009a). Riskbedömningen uppskattar vilka risker som föroreningssituationen innebär inom det förorenade området samt dess omgivning och utgör en del av underlaget för beslut om efterbehandlingsåtgärd.

För att få ett så bra underlag som möjligt för riskbedömningen genomförs olika undersökningar och utredningar (Naturvårdsverket, 2009b), däribland miljötekniska undersökningar med exempelvis provtagning och analys av mark, grundvatten och andra relevanta medier (Naturvårdsverket, 1996). Detaljnivån vid sådana undersökningar varierar beroende på syftet med undersökningen, vilket i sin tur påverkar vilka kvalitetskrav som ställs på de data som samlas in och därmed också tillförlitligheten i riskbedömningarna och de beslut som tas till följd (Naturvårdsverket, 1996). Eftersom de miljömässiga, tekniska och ekonomiska konsekvenserna av en efterbehandling kan bli omfattande, spelar tillförlitligheten av en miljöteknisk undersökning en avgörande roll (Svenskt Näringsliv 2014; Naturvårdsverket, 1996).

Det finns många, ofta varandra kompletterande, metoder som syftar till att öka tillförlitligheten i undersökningarna och därmed förbättra riskbedömningen av ett förorenat område. Metoderna står ofta i konflikt med dessas effektivitet och nödvändighet gentemot ekonomiska intressen. Målet är att utföra så kostnadseffektiva och tillförlitliga undersökningar som möjligt som ändå leder fram till långsiktigt hållbara beslut om efterbehandlingsåtgärder (Naturvårdsverket, 2009b).

Den vanligaste undersökningsmetoden utgörs idag av så kallad punktvis provtagning, men en del forskare menar att geofysiska undersökningsmetoder borde övervägas i större utsträckning och framför allt kombineras med punktvisa provtagningar i de miljötekniska undersökningarna för att erhålla bättre och effektivare resultat (Doolittle & Brevik 2014; Reynolds, 2011; Greenhouse, 1991). Trots miljögeofysikens stora utvecklingsframsteg under de senaste 20 åren används geofysiska metoder vid undersökning av förorenade områden dock sällan i praktiken (Reynolds, 2011; pers. medd. Mats Svensson, Tyréns AB, 8 feb 2016).

Information om hur geofysiska metoder kan användas vid undersökning av förorenade områden i det vägledningsmaterial som tillhandahålls av Naturvårdsverket och Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) är mycket begränsad. Det material som finns att tillgå fokuserar nästan uteslutande på punktvis provtagning i kombination med statistiska metoder som förstahandsval vid miljötekniska undersökningar. Geofysiska metoder nämns, utan någon närmare beskrivning, som ett alternativ till den konventionella metoden om denna inte skulle vara tillräcklig. Det är således inte enkelt för vare sig verksamhetsutövare, tillsynsmyndigheter eller utförare av platsundersökningar att förhålla sig till och utvärdera de geofysiska metodernas applicerbarhet för undersökning av förorenade områden. Det är därför intressant att studera på vilket sätt en sådan integration skulle kunna bidra till att förbättra arbetet med miljöriskbedömningen av förorenade områden.

En bättre förståelse för hur geofysiska undersökningsmetoder på ett kostnadseffektivt sätt kan integreras med mer traditionella mätmetoder skulle kunna innebära en mer tillförlitlig kartläggning och riskbedömning av föroreningsituationen i ett potentiellt förorenat område. Säkrare beslutsunderlag minskar risken för att objekt som egentligen behöver efterbehandlas friskrivs till följd av otillräckliga undersökningar, eller att ett område efterbehandlas i onödan (Norrman, et al., 2009a; Naturvårdsverket 2009a). Om dessutom frånvaro eller begränsad förekomst av farliga ämnen kan bekräftas i ett tidigt skede med en enkel, snabb och miljövänlig undersökning kan miljöbelastning, tid och ytterligare kostnader undvikas. Resurser som i sådana fall kan allokeras till andra saneringsobjekt.

## 1.1 Syfte & frågeställningar

Syftet med denna studie är att undersöka hur geofysiska metoder i kombination med punktvis provtagning kan bidra till att förbättra riskbedömningen av förorenade områden ur ett samhällsekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Detta har gjorts genom att besvara följande frågeställningar:

- Vilka är de främsta styrkorna och svagheter med att kombinera geofysiska metoder med punktvisa provtagningar i miljötekniska markundersökningar?
- Vilka är de ekonomiska, miljö- och hälsomässiga samt projektmässiga nyttorna med integrerade miljötekniska markundersökningar?

## 1.2 Avgränsningar

Fokus för den här studien har varit att studera de övergripande styrkorna och svagheter med integrerade miljötekniska markundersökningar (geofysik + punktvis provtagning), detaljnivån är därför begränsad. Geofysiska metoder syftar i den här uppsatsen på resistivitets-, IP- och stångslingramsmätningar som i nuläget är de metoder som fungerar särskilt bra för detektering av markföroreningar. Studien avser vidare endast att studera det praktiska arbetet med undersökning av förorenade områden utifrån konsultbranschens perspektiv i svensk kontext; applicering för till exempel akademiska ändamål har således inte beaktats då sådana projekt oftast skiljer sig åt gällande syfte med undersökningarna, resurstillgång (tid, budget, utrustning etc.) och resultatkrav. Litteraturen som studerats utgörs därför av rapporter och dokument som är koncentrerade till själva efterbehandlingsarbetet av förorenade områden. Dessutom har studien avgränsats till föroreningar i mark och inkluderar således inte föroreningar i exempelvis grundvatten och sediment. Vidare belyser den här uppsatsen endast erfarenheter från konsulter som arbetar eller har arbetat med att undersöka förorenade områden för att i ett första steg öka förståelsen för deras situation; exempelvis myndighetspersoner, problemägare och forskare rymms följaktligen inte inom dessa ramar.



## 2. Bakgrund

### 2.1 Riskbedömningsprocessen

Riskbedömningsprocessen utgörs av flera stegvisa bedömningsmoment för att avgöra om ett område är förorenat och om riskreducerande åtgärder är nödvändiga. Det är en dynamisk process som innebär att man kan behöva gå tillbaka till tidigare moment allt efter som ny information tillkommer och underlaget blir säkrare (Naturvårdsverket, 2009a). Till grund för bedömningarna ligger de undersökningar och utredningar som företas.

Om en förenklad eller fördjupad riskbedömning görs beror på områdesspecifika förutsättningar. Normalt inleds processen med en förenklad riskbedömning av området genom analys av uppmätta halter och annan relevant bakgrundsinformation för indikation på om området är förorenat. Resultaten leder fram till beslut om riskbedömningsprocessen ska fortsätta, avslutas på grund av låg risk, eller om en fördjupad riskbedömning med kompletterande undersökningar eller utredningar behövs för att bedöma riskerna med större säkerhet (Naturvårdsverket, 2009a).

En fördjupad riskbedömning genomförs till exempel när föroreningsituationen är omfattande, komplicerad, om flera olika medier är förorenade, riktvärden saknas, eller om osäkerheten runt riskerna är stora. Den fördjupade riskbedömningen har större fokus på att genom olika mätningar, modelleringar och beräkningar kvantifiera risken än den förenklade riskbedömningen (Naturvårdsverket, 2009a).

## 2.2 Miljötekniska markundersökningar

För att göra en miljöriskbedömning av ett förorenat område utförs vanligtvis miljötekniska markundersökningar (SGF 2013). Eftersom dessa undersökningar utgör underlag för riskbedömningen av området är det viktigt att informationen som samlas in är tillräcklig samt tillförlitlig för ett kostnadseffektivt och ändamålsenligt arbete (SGF 2013; Naturvårdsverket 2009b; 1996).

Den miljötekniska markundersökningen är uppdelad i flera arbetsmoment som kan påverka kvaliteten på de data som samlas in (SGF 2013), se figur 1. Varje delmoment har betydelse för slutresultatet där grunden för ett arbete av hög kvalitet är god planering av undersökningar samt att de utförs med rätt utrustning och med rätt metod (SGF 2013). Den här studien har fokuserat på momentet provtagningsmetod.



**Figur 1 Delmoment i miljötekniska markundersökningar.**

Delmoment som ingår i en miljöteknisk markundersökning. Rödmarkerade delar är i fokus för den här studien. Efter SGF (2013).

### 2.2.1 Tillförlitlighet i miljötekniska undersökningar

Tillförlitligheten i en miljöteknisk undersökning beror på dess nivå av datakvalitet. Datakvaliteten kan påverkas av en rad olika faktorer såsom tillgång till bakgrundsinformation, osäkerheter kring föroreningarnas utbredning och lokalisering, det undersökta mediets och föroreningarnas fysikaliska och kemiska egenskaper, provhantering, samt valda provtagnings-, analys- och utvärderingsmetoder (Naturvårdsverket, 1996).

Vilken datakvalitetsnivå som efterfrågas avgörs av syftet med undersökningen. Syftet sätter ramarna för vilka krav som ställs på resultatens tillförlitlighet från bland annat myndigheter, beställare och uppdragsgivare (Naturvårdsverket, 1996). Det ställs inte lika höga kvalitetskrav vid en inledande inventeringsfas där syftet är att bedöma om fortsatta undersökningar är motiverade. Vid val av efterbehandlingsmetod då kännedom om mängden och koncentrationen av en viss förorening är betydande ökar däremot kraven på både datavolym och datakvalitet (Naturvårdsverket, 1996).

Syftet med miljötekniska undersökningar är att bland annat att bedöma föroreningsituationen. Antingen över- eller underskattas föroreningsituationen där en överskattning kan leda till större ingrepp än vad som är miljömässigt och ekonomiskt motiverat, medan en underskattning kan leda till att inga åtgärder vidtas trots att människor och miljön hotas. När problemen eventuellt upptäcks kan kostnaderna för en sådan efterhandsåtgärd bli betydligt högre än vad som initialt hade varit fallet (Naturvårdsverket, 1996). Datakvaliteten i en undersökning är således av central betydelse. Den bör varken vara för hög eller för låg i förhållande till projektets syfte, då båda dessa avvikelser nästan alltid ökar projektkostnaden (Naturvårdsverket, 1996). Ju större konsekvenser en felbedömning av ett område kan få, desto större blir kraven på datakvaliteten i undersökningen (Naturvårdsverket 2009c). Här kan exempelvis storleken av det undersökta området spela roll för vilka osäkerheter som kan accepteras, eftersom en felbedömning av större områden i regel leder till större omkostnader (Naturvårdsverket 2009c).

### **2.2.2 Angreppssätt vid markundersökning**

Enligt SGF (2013) och Naturvårdsverket (2009c) finns i huvudsak tre angreppssätt att välja mellan vid markundersökningar: sökbaserat, sannolikhetsbaserat och bedömningsbaserat. Alternativa angreppssätt som börjat ta mer utrymme är datavärdesanalys och dynamisk provtagning (TRIAD-provtagning). Vilket angreppssätt som är lämpligast beror på syftet med undersökningen, den misstänkta föroreningens spridningsmönster samt hur tillförlitlig förhandskunskapen är (Naturvårdsverket 2009a).

*Sökbaserat angreppssätt* – syftar till att hitta föroreningskällor eller andra objekt med okänd eller osäker lokalisering, exempelvis hot spots (föroreningsansamling med begränsad utbredning) eller föroreningsplymer i mark eller grundvatten, där förhandskunskapen om området är begränsad.

Metodiken innebär att i förväg bestämma det antal provtagningspunkter som behövs för att hitta en föroreningskälla av en viss storlek samt att välja provtagningsmönster så att sannolikheten för att hitta objektet kan beräknas.



Provtagningsmönstren kan vara både systematiska eller slumpmässiga. Ju bättre förhandskunskap desto bättre träffsäkerhet. För att öka effektiviteten kan bland annat geofysiska undersökningsmetoder användas för att öka effektiviteten (Naturvårdsverket 2009c; SFG 2013), till exempel för att möjliggöra en riktad provtagning.

*Sannolikhetsbaserat angreppssätt* – utgår från statistiska beräkningar och bedömningar. Metodiken baseras på teorin att varje delvolym jord har en känd sannolikhet att väljas vid provtagningen. Metoden används vanligtvis när kännedom om föroreningar och föroreningskällor är liten, eller om representativ statistik efterfrågas. Till exempel kan representativ statistik ligga till grund för beräkning av representativa halter, föroreningsmängder och mängd förorenad jord. Provtagningspunkterna sker antingen slumpmässigt, systematiskt, eller systematiskt slumpmässigt. Oftast lämpligare i senare projektskeden, exempelvis för riskbedömningar, avgränsningar och volymberäkningar. Ett sannolikhetsbaserat angreppssätt möjliggör beräkningar för det antal prover som krävs för att nå en viss säkerhet i resultatet åtföljt av osäkerheten i resultatet (Naturvårdsverket 2009c; SFG 2013).

*Bedömningsbaserat angreppssätt* – så kallad riktad provtagning som innebär att antalet prover och provpunkternas placering beror på subjektiva bedömningar utifrån den förhandskunskap som finns om föroreningssituationen för området (Naturvårdsverket 2009c).

*Datavärdesanalys* – nyttan av att göra ytterligare en provtagning vägs mot kostnaden för provtagningen. Idén går ut på att försöka beräkna det ekonomiska värdet av den nya informationen. Detta görs genom att analysera hur stora osäkerheterna är eftersom osäkerheter kan leda till felbedömningar som kan leda till olika typer av kostnader. På samma sätt innebär korrekta bedömningar olika typer av nyttor i form av minskade miljö- och hälsorisker. När nya prover tas så minskar osäkerheterna och därmed risken för den potentiella kostnaden, eller tvärtom, den miljö- och hälsomässiga nyttan ökar till följd av säkrare bedömning. Svårigheten i en datavärdesanalys är dock att värdera den miljö- och hälsomässiga nyttan (Naturvårdsverket 2009c).

*Dynamisk provtagning (TRIAD)* – innebär att mätningar utförs och utvärderas direkt på plats för att avgöra om fler undersökningar är nödvändiga och i sådana fall var de ska utföras. Fördelen med detta angreppssätt är man får svar på sin frågeställning, exempelvis avgränsning av en förorening, inom ramen för

## 2.3 Geofysiska undersökningsmetoder

Geofysiska undersökningar används främst för att differentiera litologiska (jord- och bergarter) enheter i marken, men har under senare år kommit att tillämpas även för många andra ändamål (Doolittle & Brevik 2014; Martens & Walraevens 2009). De geofysiska metoderna mäter olika fysikaliska egenskaper såsom elektriskt ledningsförmåga, densitet och magnetisk susceptibilitet (förmåga att bli magnetiserad) hos ett underjordiskt medium, vilket kan utgöras av till exempel bergarter, sediment, vatten, tomrum och olika typer av föroreningar (Reynolds 2011). Förutsatt att föroreningarna innehåller vissa fysikaliska egenskaper som uppvisar tydliga avvikelser gentemot omgivande material är det möjligt att detektera, kartlägga och övervaka dessa (Martens & Walraevens 2009). Vilken undersökningsmetod som är lämpligast är beroende av hur välutvecklad metoden är, själva syftet med undersökningen och vilken typ av fysikalisk egenskap som ska mätas (Reynolds 2011).

### 2.4.1 Resistivitetsmätningar

Resistivitetsmätningar är en så kallad geoelektrisk metod som undersöker olika elektriska egenskaper i marken och används bland annat för att bedöma bergegenskaper, transportvägar för föroreningar i berg, undersökning av jordlager och direkt detektering av föroreningar (Reynolds 2011).

Resistivitetsundersökningar mäter markens förmåga att fungera som isolator, det vill säga markens motstånd till att leda ström. Material med hög konduktivitet (dålig isolator) ger låg resistivitet och vice versa..

Eftersom olika material och media uppvisar olika resistivitet kan kartläggning av resistivitetsvariationer under marken ge underlag för geologiska och miljömässiga tolkningar och modeller (Reynolds 2011).

Ett geologiskt materials förmåga att leda, eller inte leda, elektrisk ström beror på materialets uppbyggnad. Föroreningar från exempelvis deponier, vägsaltning och avlopp kan ge upphov till låga resistiviteter och därför detekteras med hjälp av resistivitetsmätningar. Även grundvatten och fossilt saltvatten innehåller ofta förhöjda kloridhalter jämfört med omgivande media och kan därför också i många fall urskiljas.

Mätningarna utförs genom att en likström med känd strömstyrka leds ned i marken via två elektroder samtidigt som potentialskillnaden över två andra elektroder mäts, varpå resistiviteten kan beräknas. Genom att flytta och variera avståndet mellan elektroderna studeras markens resistivitet i olika punkter och på olika djup, vanligtvis längs en profil (tvådimensionell mätning), notera att även då

kontinuerlig information erhålls längs profilen sker interpolation mellan linjerna (Reynolds 2011).

### **2.4.2 IP-undersökningar**

Vid IP-undersökningar mäts markens förmåga till elektrisk polarisation, vilket innebär att markens förmåga att lagra elektrisk laddning studeras. Det finns två typer av IP-mätningar: tidsdomänmätning och frekvensdomänmätning (Reynolds 2011).

Vid tidsdomänmätning leds en likström ned i marken som sedan bryts, varpå spänningens avklingningsförlopp registreras under någon sekund. Vid frekvensdomänmätning mäts markens resistivitet när växelström med olika frekvens leds ned i marken, det vill säga att resistivitetens frekvensberoende studeras. Spänningens avklingningsförlopp och resistivitetens frekvensberoende kan härledas till markens polarisationsförmåga (Reynolds 2011).

Material som har ett långt avklingningsförlopp och/eller en tydlig frekvensberoende resistivitet sägs uppvisa IP-effekt. Material som kan uppvisa IP-effekt är exempelvis lermineral, olika malmmineral såsom sulfider samt olika typer av avfall och föroreningar. Ett vanligt användningsområde är därför att avgränsa deponier (Reynolds 2011).

Resistivitets- och IP-mätningar brukar vanligtvis utföras tillsammans eftersom det är samma utrustning och i princip samma metodik som används. Förfarandet brukar då benämnas DCIP-mätningar (Direct Current Induced Polarisation).

### **2.4.3 Stångslingram**

Stångslingramen är en elektromagnetisk metod som mäter den elektriska ledningsförmågan i marken genom att en sändare skickar ut en primärvåg varpå en mottagare i instrumentet mäter den sekundärvåg som uppstår i marken. Stångslingramen har ingen direktkontakt med marken, är mellan 1-3 långa och relativt enkel att bära på (Doolittle & Brevik 2014; Reynolds 2011). Den har ett nedträngningsdjup på 1- 6 m och lämpar sig därför för undersökningar av ytliga lager för kartläggning av bland annat nedgrävt avfall och metallföremål så som cisterner och tomfat (Naturvårdsverket 1999).

### **2.2.3 Konventionell metod**

Konventionell metodik, här även kallad punktvis provtagning, syftar i huvudsak på provtagning där marken penetreras med hjälp av en borrhandsvagn genom olika borrhandsmetoder såsom skruvborr, foderrörsborrning och sonicborrning (SGF 2013).

Metoden går ut på att lokalisera och identifiera föroreningar inom ett område genom att utföra ett antal provtagningar av marken som sedan analyseras. Utifrån förhandskunskapen om området utarbetas en provtagningsstrategi för placering av provtagningspunkter för att få en så korrekt bild av föroreningsituationen och geologin som möjligt. Eftersom provtagningarna endast visar information i den punkt den är tagen, och inte vad som finns mellan punkterna, används statistiska metoder för att interpolera resultaten och göra en bedömning av säkerheten i dem (SGF 2013). Beroende på syftet med undersökningen, erfarenheter och tillgänglig bakgrundsinformation finns olika sätt att utföra undersökningarna på.

fältarbetet. Efterbehandlingen kan då ske parallellt med provtagningen. Ett sådant tillvägagångssätt ställer dock höga krav på projektplaneringen, att ett flexibelt arbetssätt kan tillämpas och att mätningarna kan ge resultat i realtid (Naturvårdsverket 2009c).



## 3. Metod

Datainsamlingen i denna uppsats utgick ifrån en så kallad deduktiv strategi ("från teori till empiri") för att se om förväntningarna i teorin – att integrering av geofysiska metoder med konventionell undersökningsmetodik vid miljötekniska markundersökningar har övervägande styrkor än svagheter – stämde överens med hur riskbedömning i efterbehandlingsprojekt av förorenade områden fungerar i praktiken (Jacobsen 2000/2002).

Det empiriska materialet för att studera en sådan integrering på verkliga fall var mycket begränsad då det ännu inte gjorts särskilt många miljötekniska markundersökningar som kombinerats med geofysiska metoder, och i de fall det gjorts var det svårt och tidskrävande att få tag i relevant material. Bland annat eftersom det ofta är många olika aktörer involverade i ett efterbehandlingsprojekt, där varje aktör vanligtvis bara har tillgång till information från sin egen insats. Dessutom är materialet många gånger inte offentligt vilket försvårar insamlandet ytterligare. För att få in tillräckligt med empiriskt material för en meningsfull studie genomfördes därför en litteraturstudie kombinerat med intervjustudier.

Från det insamlade materialet extraherades information om integrerade undersökningars styrkor och svagheter jämfört med konventionell metodik. Fokus har varit att studera just den integrerade metodens styrkor och svagheter för att ta få en förståelse för på vilket sätt geofysiska metoder kan bidra till att förbättra miljöriskbedömningen av förorenade områden.

### 3.1 Litteratur- och intervjustudier

Litteraturen utgjordes av många olika typer av källor såsom vägledningsmaterial för arbete med förorenade områden och kunskapsprogrammet hållbar sanering från Naturvårdsverket, utvärderingar av efterbehandlingsprojekt gjorda av Naturvårdsverket och Svenskt Näringsliv, fackböcker och vetenskapliga artiklar om tillämpad geofysik för miljömässiga ändamål samt miljötekniska markundersökningsrapporter där geofysik använts. Mångfalden berodde på att litteratur som sammanställt, beskrivit och explicit fokuserat på styrkor och svagheter med integrering av geofysiska metoder i miljötekniska markundersökningar inte gick att finna. Syftet med litteraturstudien var att

identifiera en lista på de främsta styrkorna och svagheter med geofysiska metoderna i kombination med punktvis provtagning för undersökning av förorenade områden.

Intervjuerna genomfördes på två olika sätt: genom fyra öppna individuella intervjuer och en gruppintervju. För exempel på intervjufrågor se bilaga. Samtliga intervjuer skedde via personliga möten. Syftet med intervjuerna var dels att bekräfta om de identifierade styrkorna och svagheter stämde överens med litteraturens beskrivningar samt att få input om ytterligare faktorer som har betydelse för det praktiska arbetet med miljötekniska markundersökningar och efterbehandlingsprojekt. Studien genomfördes i tre steg med fokus på tre olika nivåer:

**Steg 1.** I detta steg studerades vetenskapliga artiklar och facklitteratur för att få en översiktlig bild av geofysiska metoders styrkor och svagheter vid tillämpning på miljövetenskapliga frågeställningar rörande underjordiska markundersökningar. Endast ett fåtal källor av översiktlig karaktär valdes ut. Insamlingen av vetenskapliga artiklar skedde genom sökning i olika databaser med olika sökord enligt följande:

- LUBSearch
  - (geophysical AND methods) AND (pollution) AND (soil)
  - Förorenad AND mark OR förorenade AND områden AND geofys\*
  - mark\* AND geofys\*
  - geo-electrical AND pollution AND soil
- Web of Science
  - Environmental geophysics AND contamin\*
  - Geophys\* AND (contamin\* OR pollute\*) AND environment\* AND (effective OR cost)
  - Geophys\* AND application AND pollution

**Steg 2.** I detta steg studerades branschrelaterade rapporter och dokument som används och produceras av de aktörer som arbetar med efterbehandling av förorenade områden.

*Steg 2a.* I detta steg studerades rapporter och vägledningsmaterial specifikt utgivet för arbete med förorenade områden för att erhålla information som berör det praktiska arbetet med förorenade områden i sin helhet. Litteraturen utgjordes av myndighetsrapporter, näringslivsrapporter och branschrapporter från Naturvårdsverket, Svenskt näringsliv respektive Svenska Geotekniska Föreningen (SGF). Insamlingen av materialet gjordes via respektive organisations hemsida.

*Steg 2b.* I detta steg studerades fem miljötekniska markundersökningsrapporter där geofysiska metoder använts för att utläsa vilka positiva och negativa erfarenheter som påträffats med de geofysiska metoderna i praktiken vid undersökning av förorenade områden. Rapporterna har producerats av och inhämtats från samhällsbyggnadsföretagen Tyréns AB, WSP och Ramböll.

*Steg 3.* I detta steg intervjuades personer som på olika sätt haft erfarenheter av integrerade miljötekniska markundersökningar.

*De öppna individuella intervjuerna* genomfördes i form av diskussioner och samtal med fyra experter inom förorenad mark med erfarenhet av att tillämpa geofysiska metoder vid miljötekniska markundersökningar. Tre av dessa arbetade på Tyréns AB och en på WSP, alla stationerade i Malmö.

*Grupptervjun (gruppdiskussionen)* genomfördes med fem konsulter från Tyréns AB som arbetar med undersökning och riskbedömning av förorenad mark med viss erfarenhet av tillämpning av geofysiska metoder vid miljötekniska markundersökningar. Den homogena grupsammansättningen valdes med syftet att få en uppfattning om hur konsulter som utför miljötekniska markundersökningar ser på integrerade undersökningar; vilka begränsningar som finns och vilka positiva erfarenheter de haft .

## 3.2 Kvalitativ analys

Den information som samlades in utvärderades kvalitativt för att få en nyanserad bild av problematiken då riskbedömning och efterbehandling av förorenade områden är en komplex process där varje efterbehandlingsprojekt i någon mening är unik och karaktäriseras av områdes- och situationsspecifika egenskaper som många gånger är svåra att generalisera.

Presentation av resultat och analys har gjorts parallellt genom att 1) Identifiera, beskriva och kategorisera de fem främsta styrkorna och svagheter för integrerade markundersökningar, 2) Koppla styrkorna och svagheter till ekonomiska, miljö- och hälsomässiga samt projektmässiga nyttor.

I intervjuerna förklarades styrkorna och svagheter relativt specifikt, medan det i litteraturen var mer blandat; ibland förekom direkta kommentarer om för- och nackdelarna, men i de flesta fallen fick mina egna tolkningar och bedömningar av texten ligga till grund för att extrahera styrkorna och svagheter genom att utgå ifrån vilket sammanhang texten var skriven och för vilket syfte:



- *I den facklitterära och vetenskapliga litteraturen* uttrycktes styrkor och svagheter dels specifikt för den särskilda metod som använts i studien, men ofta också mer allmänt om geofysiska metoder.
- *I vägledningsmaterialet från Naturvårdsverket och SGF* kunde styrkorna utläsas via bland annat diskussioner om vilket angreppssätt som kunde vara mest lämpligt för olika föroreningssituationer med tillhörande förslag och motiveringar på passande metoder för valt angreppssätt.
- *I de miljötekniska markundersökningsrapporterna* kunde syftet med och resultaten och slutsatserna från undersökningarna avslöja vilka styrkor som fanns med att kombinera geofysik med punktvis provtagning.

## 4. Resultat

### 4.1 Styrkor integrerad undersökning

Från intervjuer och litteratur har fem övergripande kategorier av styrkor identifierats enligt tabell 1 nedan. Med utgångspunkt från dessa kategorier presenteras de resonemang som förts i intervjuerna och i litteraturen om vilka styrkorna med integrerade undersökningar är.

**Tabell 1 Identifierade styrkor vid integrerade undersökningar.**

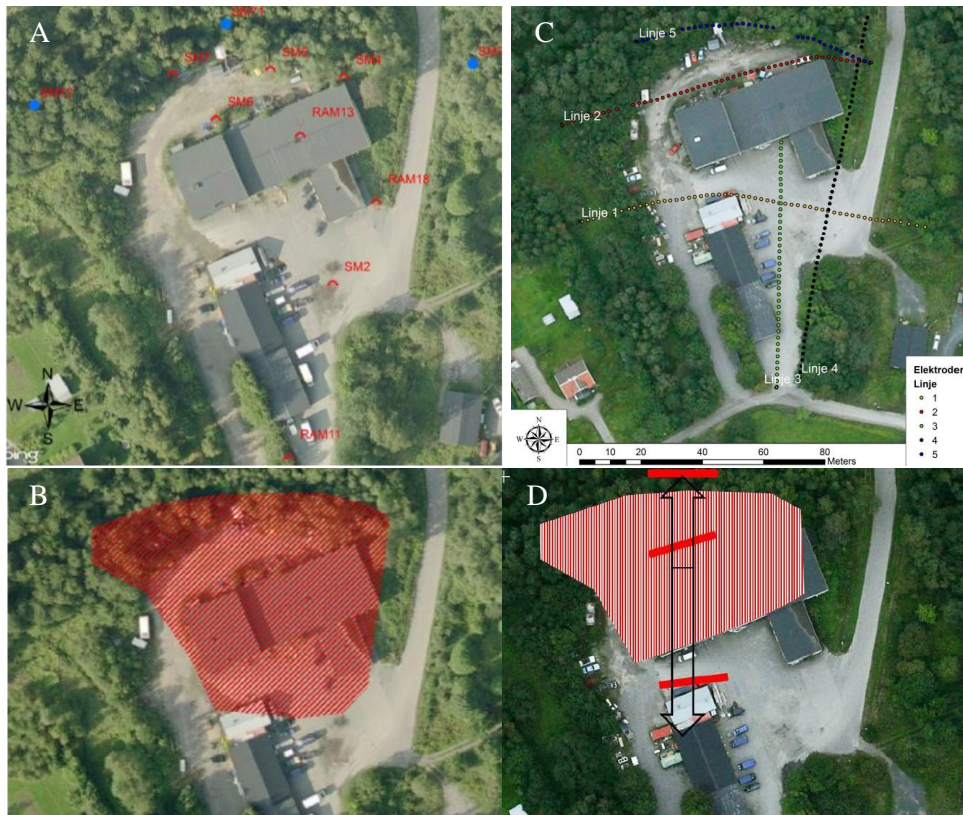
Styrkorna med integrerade miljötekniska markundersökningar med referenser till varifrån dessa styrkor har identifierats.

Styrka	Referenser	
<b>1) Bättre avgränsning föroreningsutbredning</b>	<u>Intervjuer</u> Samtal: 1, 2, 3, 4  <u>Bransch- och konsultrapporter</u> Tyréns (2015); WSP (2010a; 2010b)	<u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Doolittle & Brevik (2014) Reynolds (2011); Martens & Walraevens (2009)
<b>2) Ökad sannolikhet lokalisering hotspots och föroreningar</b>	<u>Intervjuer</u> Samtal: 1, 2, 3, 4, gruppintervju  <u>Bransch- och konsultrapporter</u> Tyréns (2015); WSP (2010a; 2010b)	<u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Doolittle & Brevik (2014) Rosales et al. (2012); Reynolds (2011); Martens & Walraevens (2009); Godio & Naldi (2009)
<b>3) Bättre geologisk förståelse</b>	<u>Intervjuer</u> Samtal: 1, 2, 3, 4, gruppintervju  <u>Bransch- och konsultrapporter</u> Tyréns (2011; 2015)	<u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Reynolds (2011); Doolittle & Brevik (2014)
<b>4) Kompletterande information</b>	<u>Intervjuer</u> Samtal: 1, 2, 3  <u>Bransch- och konsultrapporter</u> Tyréns (2011; 2015); WSP (2009; 2010a; 2010b); Naturvårdsverket (2009a)	<u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Doolittle & Brevik (2014); Reynolds (2011)
<b>5) Effektivare riskbedömningsprocess</b>	<u>Intervjuer</u> Uppgiftslämnare: 1, 2, 3  <u>Bransch- och konsultrapporter</u> Rosén et al. (2014); WSP (2010b)	<u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Rosales et al. (2012); Doolittle & Brevik (2014); Reynolds (2011); Martens & Walraevens (2009)

#### 4.1.1 Bättre avgränsning föroreningsutbredning

Geofysiska undersökningar är ett miljövänligt och användbart verktyg för att spåra och avgränsa föroreningar samtidigt som de är förhållandevis snabba och billiga (Doolittle & Brevik 2014; Reynolds 2011; WSP 2010a; 2010b; Martens & Walraevens 2009). Genom att först kartlägga ett område med hjälp av geofysiska mätningar kan riktade provtagningar i de områden som uppvisar tillräckligt starka avvikande fysikaliska egenskaper gentemot omgivningen göras för att verifiera om det rör sig om en förorening eller inte (samtal 1,2; Martens & Walraevens 2009). På så sätt kan jämförelser mellan geofysisk data och provtagningar göras för att korrelera vilka områden som troligtvis är förorenade och i vilken utsträckning, för att på så sätt göra en bättre avgränsning av föroreningsutbredningen jämfört med om endast punktvis provtagning skulle användas (samtal 1,2,3, 4; Martens & Walraevens 2009). Avgränsningen av föroreningarna bygger vid punktvis provtagning istället på interpolerad data som kan vara behäftad med höga osäkerheter mellan de punkter som analyserats (samtal 1; Engelke 2009). Detta eftersom provtagningar endast visar information från den specifika punkt i vilken borrhningen gjordes (Engelke 2009).

Att avgränsningen kan bli bättre med hjälp av geofysiska undersökningar illustreras i en miljöteknisk markundersökning som utfördes av Tyréns (2015) på en före detta deponi på fastigheten Valhalla 3:8, Eskilstuna, se figur 2 nedan. Syftet var att avgränsa utbredningen av klorerade lösningsmedel (som frigör ledande kloridjoner vid nedbrytning). Utifrån data från både resistivitets- och IP-mätningar och provtagningar gjordes en snävare avgränsning av deponin jämfört med den initiala avgränsningen som endast baserades på information från ett antal provtagningspunkter och grundvattenrör.



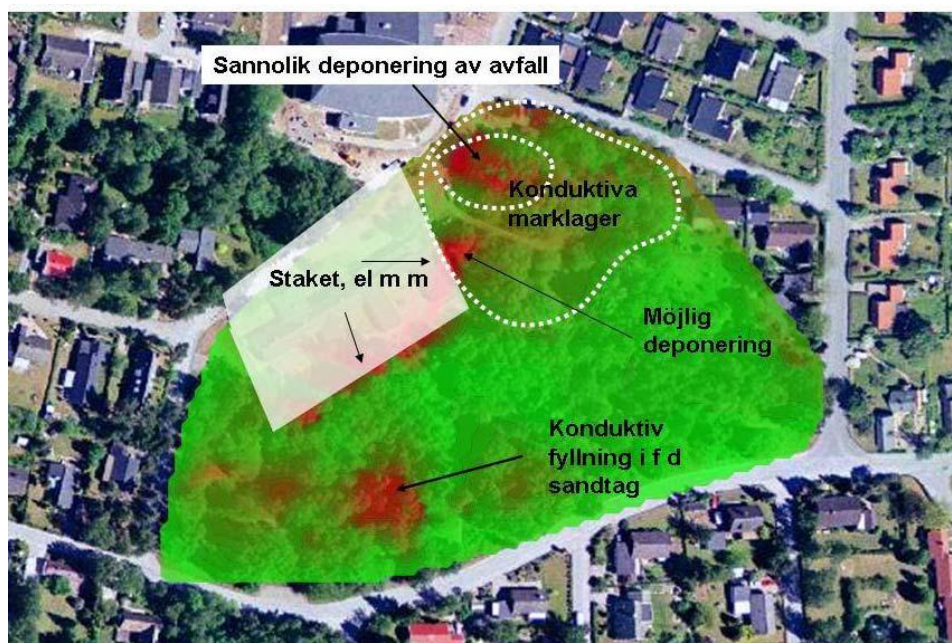
**Figur 2 Avgränsning föroreningsutbredning.**

Avgränsning av en deponis föroreningsutbredning före och efter geofysiska mätningar. Fastigheten är cirka 7000 m<sup>2</sup>. A: provtagningsplan grundvattenrör och borrpunkter, B: bedömd föroreningsutbredning baserat på analys av provtagnningar, C: kompletterande resistivitets- och IP-mätningar (notera att även då kontinuerlig information erhålls längs profilen sker interpolation mellan linjerna), D: bedömd föroreningsutbredning baserat på tolkning och analys av data från både provtagning och geofysik, föroreningsutbredningen har avgränsats mer norrut än tidigare. Figurer hämtade med tillstånd, från Tyréns (2015).

Nyttorna med en bättre avgränsning anses bland annat vara att det blir enklare att planera för och begränsa saneringsinsatsen eftersom bättre uppskattningar om föroreningsmängden kan göras till följd av det ökade informationsunderlaget (samtal 1). En bättre avgränsning ger också en tydligare bild av föroreningssituationen och därmed säkrare riskbedömningar (samtal 2).

#### 4.1.2 Ökad sannolikhet lokalisering hot spots och föroreningar

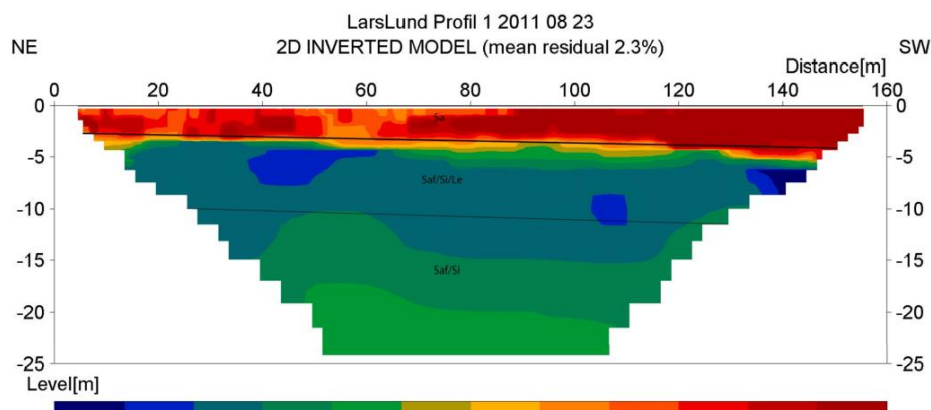
Geofysiska metoder ger enligt Reynolds (2011) betydligt högre täckningsgrad av ett område jämfört med om endast punktvisa provtagningar utförs. Sannolikheten för att lokalisera ett objekt eller en hot spot kan vara över 90 % med geofysiska mätningar att jämföra med mindre än 10 % för punktvisa provtagningar, beroende på antal provpunkter, intervall mellan provpunkterna och den sökta enhetens storlek (Reynolds 2011). De geofysiska metoderna ger således ökade möjligheter att upptäcka föroreningar som annars hade varit enkla att missa med användning av endast konventionella metoder (samtal 1,2, 3; Rosales et al. 2012; Reynolds 2011; WSP 2010a; Martens & Walraevens 2009; Godio & Naldi 2009). En annan fördel är att antalet provtagningspunkter och markförstörande ingrepp kan reduceras eftersom provtagningen kan riktas mot de områden där avvikelser detekterats (samtal 1,2; Reynolds 2011; Doolittle & Brevik 2014; WSP 2010a; 2010b; Martens & Walraevens 2009). Figur 3 nedan illustrerar hur potentiella hot spots kunde lokaliseras med hjälp av stängslingrammätningar vid en äldre deponi på Juteväven 1, Genarp, Lund. Under en dag utfördes mätningar i 38 000 punkter (WSP 2010a).



**Figur 3 Kartläggning av föroreningar och hot spots kring en äldre deponi och dess omgivning.** Kartan visar ett flertal (röda) områden med förhöjd ledningsförmåga med tillhörande tolkningar. I de norra delarna där den äldre deponin legat syns tydligt förhöjda värden, men även i de södra delarna där tidigare deponering inte fanns dokumenterad påträffades förhöjda värden. Det föreslagna provtagningsprogrammet inkluderade samtliga områden. Figur hämtad med tillstånd, från WSP (2010a).

### 4.1.3 Bättre geologisk förståelse

Geofysiska metoder kan utföra ett stort antal mätningar under relativt kort tid, i storleksordningen 10 000 punkter per timme för exempelvis stångslingrammätningar (samtal 3). Den höga provtagningstätheten och geofysikens förmåga att detektera varierande fysikaliska egenskaper i marken gör att modeller som ger en kontinuerlig och därmed bättre beskrivning av geologin och geokemin inom ett område kan skapas med hjälp av kompletterande provtagningar (samtal 1, 2, 3; Doolittle & Brevik 2014; Tyréns 2011; 2015). Figur 4 nedan visar en geologisk tolkning längs en profil Tyréns (2011) gjorde i samband med resistivitetsmätningar på en plantskola i Nyköping. En god geologisk förståelse för ett område förbättrar bland annat bedömningen av föroreningarnas spridningsförutsättningar och om känsliga recipienter kan vara i fara (samtal 1,2,3,4; Doolittle & Brevik 2014; Reynolds 2011).



**Figur 4**

Vid tolkningen har utöver geofysiska mätresultat även borrhningar och grundvattenobservationer utförda av Tyréns använts. Ett övre högresistivt lager (rött lager) tolkas som sand, vilket underlagras av ett lågresistivt lager (blågrönt) bestående av huvudsakligen silt och finsand med inslag av icke-sammanhängande lera (blå markeringar). Vid cirka 10 meters djup ökar resistiviteten något (grönt lager) vilket indikerar lägre lerinnehåll än ovanliggande lager. Figur inklusive tolkningar hämtad med tillstånd, från Tyréns (2011).

### 4.1.4 Kompletterande information

Genom kompletterande och platsanpassade undersökningar höjs nivån på datakvaliteten och därmed reduceras en del av de osäkerhetsfaktorer som ingår i riskbedömningarna (samtal 1, 2, 3; Tyréns 2015; Doolittle & Brevik 2014; Reynolds 2011; WSP 2009; 2010a; 2010b; Naturvårdsverket 2009a).



#### **4.1.5 Effektivitet i riskbedömningsprocessen**

Att riskbedömningsprocessen blir effektivare syftar både på att tid och kostnader kan minimeras och att bedömningarna blir säkrare. De totala kostnaderna för efterbehandlingsprojekt tros kunna minimeras till följd av ett grundligt förundersökningsarbete som minskar risken för att projektet förlängs genom oplanerade (eller planerade) extraundersökningar, att efterhandssanering måste utföras till följd av missade föroreningar och att föroreningsmängden har underskattats (samtal 1, 2; Rosén et al. 2014; Rosales et al. 2012). Till följd av bättre underlag blir också riskbedömningen mer tillförlitlig, vilket i sin tur kan leda till att budgetering och tidsplan för projektet stämmer bättre överens med verkligheten samt att de lämpligaste efterbehandlingsåtgärderna väljs. Genom att i ett tidigt skede av riskbedömningsprocessen kartlägga området med geofysiska mätningar för att sedan rikta provtagningen mot de områden som indikerar föroreningar kan en snabbare riskbedömning av området göras som dessutom kräver färre antal provtagningar, vilket sparar in på tid, kostnader och markförstörande ingrepp (samtal 1,2,3; Doolittle & Brevik 2014; Rosales et al. 2012; WSP 2010b; Martens & Walraevens 2009).

## **4.2 Svagheter integrerad undersökning**

Från intervjuer och litteratur har fem övergripande kategorier av svagheter identifierats enligt tabell 2 nedan. Med utgångspunkt från dessa kategoriseringar presenteras de resonemang som förts i intervjuerna och i litteraturen om vilka svagheter med integrerade undersökningar är.



**Tabell 2 Svagheter med integrerade undersökningar**

Svagheterna anges i förhållande till konventionell undersökningsmetodik med en sammanställning av referenser för respektive svaghet till varifrån de har identifierats.

Svaghet	Referens
<b>1) Kan ej detektera alla typer av föroreningar</b>	<p><u>Intervjuer</u> Uppgiftslämnare: 1, 2, 3, 4, gruppintervju</p> <p><u>Bransch- och konsultrapporter</u> Tyréns (2015)</p> <p><u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Reynolds (2011); Martens &amp; Walraevens (2009)</p>
<b>2) Krav på rätt temperatur, terräng och geologiska förutsättningar för bra resultat</b>	<p><u>Intervjuer</u> Samtal: 1, 2, 3, gruppintervju</p> <p><u>Bransch- och konsultrapporter</u> Tyréns (2015)</p> <p><u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Reynolds (2011); Godio &amp; Naldi (2009)</p>
<b>3) Högre kunskapskrav för rimliga tolkningar av data</b>	<p><u>Intervjuer</u> Samtal: 1,2,3,4, gruppdiskussion</p> <p><u>Bransch- och konsultrapporter</u> Tyréns (2015; 2011)</p> <p><u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Reynolds (2011)</p>
<b>4) Högre initial undersökningskostnad</b>	<p><u>Intervjuer</u> Samtal: 1,2,3,4, gruppdiskussion</p> <p><u>Bransch- och konsultrapporter</u> Utvärderingsrapport NV Rosén</p> <p><u>Facklitteratur och vetenskapliga artiklar</u> Reynolds (2011)</p>
<b>5) Bereoende av föroreningssituationen</b>	<p><u>Intervjuer</u> Samtal: gruppdiskussion</p>

#### 4.2.1 Detektering föroreningstyper

Under gruppdiskussionen och samtliga samtal uppges att en av svagheterna med ett integrerat tillvägagångssätt är att de geofysiska metoderna inte kan detektera alla typer av föroreningar eftersom de metoder som huvudsakligen används idag mäter egenskaper som alla föroreningar inte innehar. Att endast förlita sig på geofysisk data för riktad provtagning och bedömning av föroreningssituationen kan ge en felaktig bild och leda till att riskerna i området underskattas varför

tolkningarna bör verifieras med exempelvis provtagning (samtal 1, 2; Tyréns 2015; Doolittle & Brevik 2014; Reynolds 2011; Martens & Walraevens).

#### **4.2.2 Terräng, geologi och temperatur**

Geofysiska metoder kan vara känsliga för olika typer av objekt som stör signalerna till de geofysiska instrumenten, till exempel elektromagnetiska fält från kraftledningar under marken, vilket försämrar kvaliteten och försvårar tolkningarna på den data som samlats in (samtal 1, 2; Tyréns 2015; Doolittle & Brevik 2014; Godio & Naldi 2009). Hinder i form av byggnader och tät vegetation kan också försvåra insamlandet av data (gruppdiskussion; Reynolds 2011). Det kan också vara så att föroreningarna inte uppvisar tillräckligt starka kontraster gentemot omgivande medium och blir därför svåra att detektera (samtal: 1, 2, 3; Reynolds 2011). Dessutom är de geoelektriska metoderna inte användbara i frusen mark eftersom den elektriska ledningsförmågan som mäts förändras till följd av att vattnet i marken fryser (samtal 2).

#### **4.2.3 Kunskapskrav**

För att kunna göra korrekta och tillförlitliga tolkningar av insamlad data ställs krav på både geofysisk och geologisk kunskap (Samtal 1, 2, 3; Tyréns 2015; 2011; Reynolds 2011). Den geofysiska data som inhämtats kan nämligen stämma in på många olika modeller, varför det är viktigt med både geologiska och geofysiska kunskaper för att bedöma den geologiska rimligheten i resultaten. För ett meningsfullt resultat bör geofysiken kompletteras med provtagningar för att bekräfta eller utesluta tolkningarna.

#### **4.2.4 Kostnadsbild**

Risken finns att onödigt många undersökningar utförs som inte kan motiveras varken ekonomiskt eller miljömässigt (gruppdiskussion). Därför anses det vara vid stora eller komplexa efterbehandlingsprojekt som det är optimalt med flera metoder som kan komplettera varandra. Faktorer som kan öka komplexiteten i området kan bero på geologin, antalet föroreningar och vilken typ av förorening det rör sig om (då olika föroreningar har olika kemiska och fysikaliska egenskaper som är mer eller mindre lätta att hantera).

Grovt uppskattat kostar integrerade miljötekniska markundersökningar dubbelt så mycket jämfört med att endast använda sig av konventionella metoder (samtal 1, 3). Att till exempel utföra stängslingrammätningar under 1,5 dag (en

dag för undersökningar och en halv dag för tolkning) kostar cirka 15 000 kr med instrument- och personalkostnad inräknat. Då kan mätningar med 10 000 punkter i timmen göras. Att utföra fyra provtagningar med skruvborr under en dag kostar mellan 10 000 – 15 000 kr, instrument och personalkostnad inräknat (samtal 3). Hur många provtagningspunkter som kan göras kan dock variera eftersom det beror bland annat på geologiska och vädermässiga förutsättningar; det kan göras både fler och färre provtagningar under en dag (samtal 3).

#### **4.2.5 Föroreningssituation**

I gruppdiskussionen uppges det att oftast bara är motiverat att utföra geofysiska undersökningar på områden som har en omfattande eller komplex föroreningssituation. Är det mindre områden eller saneringsobjekt som vanligtvis brukar följa samma föroreningsmönster är det oftast inte kostnadsmässigt försvarbart att utföra mer omfattande undersökningar. De osäkerheter som reduceras till följd av den extra informationen överväger inte nyttorna som informationen ger.

Enligt en rapport från Svenskt Näringsliv (2014) varierade kostnaderna för de efterbehandlingsprojekt som hade studerats med mellan cirka en miljon kronor upp till 300 miljoner kronor, med ett medeltal på 51 miljoner kronor och en mediankostnad på cirka 13 miljoner kronor.

### **4.3 Samhällsekonomisk och miljömässig nytta**

I tabell 3 nedan presenteras hur de identifierade styrkorna med integrerade undersökningar kan kopplas till de miljömässiga, projektmässiga och ekonomiska nyttorna av en miljöteknisk markundersökning. Eftersom den enda kostnaden med integrerade undersökningar är kostnaden för de geofysiska undersökningarna har denna inte inkluderats. Kopplingen är baserad på resultaten från de intervjuer och den litteratur som presenterats i avsnitt 4.1 ovan. Gränserna mellan de olika nyttorna är glidande då resultatet av en nytta oftast leder till att en annan nytta uppstår. Till exempel får de projektmässiga nyttorna stor påverkan på de ekonomiska. Likaså innebär många av de styrkor som identifierats samma nytta.

**Tabell 3 Nyttor med integrerade miljötekniska markundersökningar**

Effekten av styrkorna med integrerade miljötekniska markundersökningar som leder fram till de miljömässiga, ekonomiska och projektmässiga nyttorna med en integrering.

<b>Nytta</b> <b>Styrka</b>	<b>Miljö och hälsa</b> Minskade miljö- och hälsorisker	<b>Projekt</b> Minskade projektrisker	<b>Ekonomi</b> Minskade kostnader
<b>Bättre avgränsning föroreningsutbredning</b>	Bättre föroreningsbild	Bättre uppskattning föroreningsmängd o bedömning av föroreningsutbredning → Projekt enligt tidsplan → Åtgärdsinsatser enligt plan	Begränsad saneringsinsats
<b>Ökad sannolikhet lokalisering hot spots och föroreningar</b>	Bättre föroreningsbild → Korrekt beslut m.a.p. friskrivning eller sanering → Färre markförstörende ingrepp → Färre oupptäckta föroreningar	Färre överraskningar → Minskad risk att projektet förlängs	Färre kompletterande undersökningar  Minskad risk för efterhandssanering
<b>Bättre geologisk förståelse</b>	Säkrare modellering spridningsrisker	Säkrare och bättre projektplanering	Färre kompletterande undersökningar  Budget och åtgärder enligt plan
<b>Kompletterande information</b>	Bättre föroreningsbild	Reducera osäkerheter	Snabbare beslutsprocess → Kortare projekt



## 5. Diskussion

Många studier har gjorts för att kartlägga vilka olika föroreningstyper och för vilka olika miljöfarliga verksamheter de geofysiska metoderna kan användas för att få en bättre uppfattning om föroreningsituationen inom ett område (bland andra Van De Vijver et al. 2015; Ramalho et al. 2015; Doolittle & Brevik 2014; Knight 2011; Ferrier, Frostick & Splajt 2009; Karlık & Kaya 2001). Däremot verkar det inte som att några studier har gjorts för att ta reda på hur dessa resultat kan länkas till det praktiska arbetet med att riskbedöma ett förorenat område utifrån den svenska konsultbranschens erfarenheter och förutsättningar.

### 5.1 Tillförlitlighet i miljötekniska markundersökningar

Två av de styrkor som lyfts fram med integrerade undersökningar (bättre avgränsning föroreningsutbredning; bättre geologisk förståelse) är resultatet av att nivån på datakvaliteten har höjts med hjälp av de geofysiska undersökningarna. Detta bidrar till att de bedömningar som görs också blir mer tillförlitliga. Två andra styrkor (kompletterande information; ökad sannolikhet lokalisering hot spots och föroreningar) är snarare faktorer som höjer nivån på datakvaliteten.

Syftet med miljötekniska markundersökningar är bland annat att bedöma föroreningsituationen. Det anges tydligt att nivån på datakvaliteten ska stå i proportion till syftet med själva undersökningen – t.ex. om det rör sig om en förenklad eller fördjupad riskbedömning – för att inte projektkostnaden ska bli för hög. Risken med ett sådant förhållningssätt är att det kan läggas för stort fokus på att inte öka kostnaderna för själva undersökningsfasen, istället för att göra en uppskattning om de ekonomiska konsekvenserna för projektet som helhet om datakvalitetsnivån från början är för låg. Det svåra är att på förhand avgöra vad som är rätt nivå, men en utgångspunkt borde vara att hellre ha lite för hög nivå på datakvaliteten eftersom de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna av otillräcklig information kan leda till omfattande miljömässiga och ekonomiska kostnader i ett senare skede, vilket bland andra Naturvårdsverket (1996), Rosén et al. (2014) och Svenskt Näringsliv (2014) konstaterat i sina rapporter. Den

besparing som kan göras till följd av enklare undersökningar står många gånger inte proportion till de totala besparingar som kan göras med mer utförliga undersökningar. Ännu en faktor som borde ingå vid val av datakvalitetsnivå bör därför också vara att bedöma vilka ekonomiska, projektmässiga och miljömässiga risker man är villig att acceptera med avseende på felaktiga bedömningar, kompletterande undersökningar och efterhandsåtgärder till följd av för låg datakvalitetsnivå.

Samtidigt innebär inte kompletterande eller inledande geofysiska undersökningar att datakvalitetsnivån automatiskt höjs. Det ställs krav på att rätt utrustning används, att rätt kunskap finns och att förutsättningar med avseende på väder, geologi och terräng också är goda för att erhålla användbara resultat.

## 5.2 Angreppssätt i miljötekniska undersökningar

Det finns i huvudsak tre tillvägagångssätt Naturvårdsverket och SGF förespråkar vid markundersökningar för att utvärdera föroreningsituationen inom ett område: sökbaserat, sannolikhetsbaserat och bedömningsbaserat. Förhandskunskapen, spridningsförutsättningarna och syftet med undersökningarna styr vilket angreppssätt som är lämpligast. Viktigt att notera är att samtliga angreppssätt utgår från att undersökningarna sker med punktvisa provtagningar.

Det sökbaserade och sannolikhetsbaserade angreppssättet utgår från statistiska beräkningar på hur många provtagningspunkter som behövs för att med en viss sannolikhet hitta respektive avgränsa olika föroreningar. Med ökat antal provpunkter ökar säkerheten i de bedömningar som görs. Frågan är hur många punkter som är praktiskt, ekonomiskt och miljömässigt rimliga att göra. Ett exempel får illustrera problematiken.

Förutsatt att förhandskunskapen är låg och syftet är att hitta en cirkulär hot spot (impregneringssalt) med radien 1 m (area 3,14 m<sup>2</sup>) med 90 % säkerhet, kräver ett sökområde på 5 500m<sup>2</sup> cirka 1 600 provpunkter om ett sökbaserat angreppssätt väljs, enligt beräkningar i datorprogrammet VSP utförda av Naturvårdsverket (2009c). Om en provpunkt i snitt kostar 1 000 kr blir den totala undersökningskostnaden 1,6 miljoner kronor. Då är dessutom sannolikheten 10 % att föroreningen inte hittas. Detta är naturligtvis inte ekonomiskt rimligt, och Naturvårdsverket (2009c) föreslår istället att alternativa metoder som geofysik används vid sådana situationer. De föreslår även i samma rapport att kraven på säkerhet för de olika angreppssätten kan sänkas för att få en rimligare avvägning mot provtagningskostnaderna, med ökad risk för att felaktiga slutsatser dras till följd av den större osäkerheten det innebär.

Exemplet ovan belyser ett viktigt problem; det är svårt att riskbedöma ett förorenat område med tillfredsställande säkerhet utan någon förhandskunskap och med endast en metod när avvägningar mot både ekonomiska och miljömässiga konsekvenser måste göras. Oavsett om syftet är att endast hitta en förorening, eller avgränsa en förorening för att uppskatta föroreningsmängden, innebär den konventionella metoden att orimligt många provpunkter (kostnadsmässigt) ibland behövs för att nå en tillräckligt hög säkerhet.

Datavärdesanalys – som väger nyttan av ytterligare en provtagning mot provtagningskostnaden för densamma – är ett intressant alternativ som skulle kunna appliceras i ett tidigt skede av ett efterbehandlingsprojekt där geofysiska undersökningar kan vara applicerbara.

Eftersom geofysiska metoder har betydligt fler informationspunkter jämfört med enstaka provtagningar och i princip ger kontinuerlig geologisk information kan det vara meningsfullt att göra en sådan utvärdering. Resultaten i den här studien visar att de geofysiska metoderna på grund av den höga provtagningsstätheten skulle kunna – om rätt metod används och utförs på rätt sätt – bidra till att sänka kostnaderna för en given informationsmängd, eftersom antalet provtagningspunkter kan reduceras samtidigt som dataunderlaget blir större samtidigt som kostnaderna blir förhållandevis låga. Annorlunda uttryckt, för att erhålla samma information som integrerade markundersökningar kan producera genom att endast använda konventionell metodik krävs mer ekonomiska resurser. Kostnaden för varje informationsenhet kan alltså bli billigare genom att kombinera geofysik med punktviss provtagning. Det hade varit intressant att göra statistiska beräkningar och ekonomiska kalkyler på om så är fallet och var brytpunkten för när detta scenario skulle börja gälla.

Problemet tycks inte vara angreppssätten i sig, utan snarare att angreppssätten i huvudsak är inriktade på en specifik undersökningsmetod, nämligen punktviss provtagning. I praktiken bör en kombination av de tre angreppssätten användas och kompletteras med bakgrundsinformation för att kunna göra riktade provtagningar som reducerar antal provpunkter. Ett bedömningsbaserat angreppssätt är också den metod som oftast används, åtminstone i översiktliga miljötekniska markundersökningar enligt Skytt (2013).

### 5.3 Samhällsekonomisk och miljömässig nytta

I flera fall är det staten och därmed också samhället som bekostar många av de efterbehandlingsprojekt som utförs i Sverige. Summorna för dessa saneringar uppgår till flera miljarder. I regel är det själva åtgärdsbehandlingen, det vill säga saneringen som är den största utgiftsposten (Rosén et al. 2014). Som resultaten i den här studien visar finns det många nyttor med att kombinera geofysiska



metoder med nuvarande metodik för att optimera informationsunderlag och förbättra riskbedömningen av ett förorenat område. Den extra kostnad som de geofysiska undersökningarna innebär kan antas vara nästan obetydlig i förhållande till de miljömässiga och ekonomiska kostnaderna som kan uppstå till följd av otillräcklig information. Med tanke på den utveckling som skett inom geofysik de senaste åren är det anmärkningsvärt att inte fler efterbehandlingsprojekt använder dessa metoder.

Enligt de intervjuer som gjordes och den litteratur som studerats framkommer att ökad kunskap om geofysiska metoder är en nödvändighet för att nå effektiva resultat. Låg kunskapsnivå och liten erfarenhet från både beslutsfattare och undersökare kan därför vara en av anledningarna till att geofysiska metoder inte används i större utsträckning.

En annan del av förklaringen kan ligga i vem det är som bekostar undersökningarna och de eventuella saneringsåtgärderna. Enligt Svenskt Näringsliv (2014) bekostas nämligen 90 procent av saneringarna med privata medel. Samtliga miljötekniska markundersökningsrapporter som studerats i den här studien där syftet varit att kartlägga föroreningar i marken har finansierats med offentliga medel. I den rapport som behandlade en privat planskola i Nyköping var syftet med de geofysiska undersökningarna att kartlägga geologin. Samtidigt som bättre undersökningsmetoder ger en bättre föroreningsbild och därmed mer tillförlitlig riskbedömning av ett område kan det diskuteras hur önskvärdt det är att faktiskt hitta föroreningar, särskilt för privata aktörer, då det kan medföra betydande extrakostnader om området bedöms vara i behov av sanering.

Riskerna för att göra felaktiga bedömningar borde därför riktas större uppmärksamhet, vilket innebär att såväl de ekonomiska som miljömässiga riskerna bör värderas högre än de görs idag. Eftersom syftet med miljö kvalitetsmålet giftfri miljö och delmålet efterbehandling av förorenade områden är att minska mängden giftiga ämnen i omgivningen som riskerar att påverka människors hälsa, miljön eller naturresurser negativt, inte bara idag utan också på lång sikt, bör kraven på de undersökningar som utförs stå i proportion till de miljömässiga risker som finns. Detta för att undvika att felaktiga friskrivningar görs, som borde väga tyngre än att något fler undersökningar görs än vad som hade varit nödvändigt. Dessutom visar utredningar från Naturvårdsverket (Rosén et al. 2014) och Svenskt Näringsliv (2014) att kostnaderna majoriteten av gångerna blir betydligt högre än beräknat, bland annat på grund av otillräckliga undersökningar. Om branschen tillåts att ta genvägar, är risken stor för att så också sker, vilket redan har konstaterats.

## 5.4 Riskbedömningsprocessen

En del av riskbedömningsprocessen innebär att ett antal provtagningar utförs och analyseras i syfte att bedöma föroreningsituationen för att besluta om vidare undersökningar är nödvändiga. Eftersom provtagningarna endast ger information i den specifika punkt i vilken den är tagen är risken vid ett sådant förfarande att föroreningar kan undgå att upptäckas, vilket i värsta fall leder till att en felaktig friskrivning av området sker. Eftersom geofysiska metoder snabbt och enkelt kan kartlägga stora områden som ger både kontinuerlig geologisk och geokemisk information erhålls ett betydligt större och säkrare informationsunderlag jämfört med punktvisa provtagningar, vilket minimerar risken för att en felaktig friskrivning görs. I detta avseende kan det därför vara motiverat att inleda den förenklade riskbedömningen med geofysiska metoder. Detta förutsätter dock att de geofysiska mätningarna kan att detektera föroreningarna, vilket ställer krav på att bakgrundsinformationen om vilka föroreningstyper man kan förvänta sig på området är tillräcklig.

Å andra sidan finns risken för att onödigt omfattande undersökningar görs om det visar sig att området inte bedöms vara i behov av några saneringsåtgärder. Där måste en avvägning göras om den initialt högre undersökningskostnaden kan vara motiverad ur ett totalkostnadsperspektiv, det vill säga att de inledande grundligare undersökningarna kan bidra till att sänka de totala kostnaderna för ett efterbehandlingsprojekt. Detta är viktigt eftersom utvärderingar av olika efterbehandlingsprojekt har visat att kostnaden för många projekt kan bli mycket höga, där otillräckliga förstudier tros vara en av orsakerna (Rosén et al. 2014). Skytt (2013) har till exempel påvisat i sin studie att bedömningar av föroreningsmängden vid översiktliga miljötekniska markundersökningar ofta underskattas och att områden ibland felaktigt bedöms som icke förorenade. Detta innebär både en direkt extrakostnad i form av tillkommande saneringsinsatser men också en risk för negativa konsekvenser för miljön och människors hälsa.

## 5.5 Samlad bedömning

Baserat på erfarenheterna från de som arbetar med riskbedömningar av förorenade områden har den här studien visat på vilket sätt geofysiska undersökningar i kombination med konventionell undersökningsmetodik skulle kunna bidra till att förbättra miljöriskbedömningen, men också vilka utmaningar som finns med ett sådant tillvägagångssätt.

## 5.6 Studiens begränsningar

Ett visst överlapp kan förekomma mellan intervjuer och litteratur då några personer varit involverade i de miljötekniska markundersökningar som utgör underlag i denna studie. Samtidigt erhålls mer detaljerad information och nyanserad bild från intervjuerna än vad en rapport kan erbjuda. För att verifiera resultaten hölls en intervju med en utomstående konsult, som i hög grad bekräftade de resultat som redan erhållits från de andra samtalen, vilket höjer trovärdigheten något och bidrar till att resultaten kan anses vara relevanta.

Ett större underlag hade varit önskvärt både i litteratur och intervjuer för att stärka resultaten och analysen. Olika typer av personer så som problemägare, beslutsfattare och forskare hade till exempel kunnat intervjuas för att få en mer heltäckande bild om styrkorna och svagheter och hur branschen som helhet fungerar. Bland annat för att försöka ta reda på varför de geofysiska metoderna inte används i särskilt stor utsträckning. Vidare innebär en kvalitativ studie att många tolkningar av text och samtal görs av uppsatsförfattaren där analysen delvis utgörs av egna bedömningar om vad som är relevant. Det kan därför inte helt uteslutas att viktiga resultat och mönster har utelämnats vid bearbetningen av materialet. Dock minskas risken för detta till viss del genom att intervjuer kompletterats med både branschspecifik och vetenskaplig litteratur.

Materialet för denna studie har varit begränsad vilket gör att några generella eller säkra slutsatser är svåra att göra, men ett första steg för att göra förbättringar inom nya forskningsområden är att belysa problematiken. Förhoppningsvis kan den här studien och dess resultat utgöra en grund för den fortsatta forskningen inom området.

## 6. Slutsats

Den här studien har på ett övergripande plan visat att en kombination av geofysiska metoder och punktvis provtagning skulle kunna bidra till att förbättra riskbedömningen av förorenad mark genom att göra den mer tillförlitlig och kostnadseffektiv. Studiens begränsade omfattning och underlag möjliggör dock inga säkra slutsatser för att så faktiskt är fallet. Det finns ett antal svagheter som begränsar i vilken utsträckning integrerade undersökningar kan och bör ske. Efterbehandlingsprojekt är i många fall både unika och komplexa. Det är därför inte givet vilken eller vilka metoder som är de lämpligaste att använda. Det är en bedömning som måste göras för varje efterbehandlingsprojekt utifrån dess syfte, vilka resurser som står till förfogande samt vilka miljömässiga och ekonomiska risker som kan accepteras. Det finns emellertid några viktiga slutsatser som kan dras av den här studien:

- Kunskapsnivån om och erfarenheterna av att använda geofysiska metoder i kombination med provtagningar vid riskbedömning av förorenad mark är mycket begränsad.
- Det finns indikationer på att det i mer omfattande och komplexa efterbehandlingsprojekt kan vara meningsfullt med integrerade miljötekniska markundersökningar för att förbättra riskbedömningen, förutsatt att hänsyn tas till de geofysiska metodernas begränsningar.
- Studien indikerar att en kombination av geofysiska metoder och punktvisa provtagningar skulle kunna bidra till en effektivare riskbedömningsprocess och säkrare riskbedömningar. Detta borde testas i flera fallstudier för att få en bättre förståelse för de risker, styrkor och svagheter som tagits upp i den här studien genom att till exempel jämföra kostnadsutvecklingen för likartade projekt där integrerade miljötekniska markundersökningar utförts med projekt där endast konventionell metodik använts.
- Mycket arbete har lagts ned på att utveckla och förbättra provtagningsstrategier för den dominerande undersökningsmetoden punktvis provtagning. Nästa steg skulle kunna vara att göra det även för de geofysiska metoderna genom att till exempel inkludera dessa i fler efterbehandlingsprojekt för att öka förståelsen för metoderna och hur de

bäst kan användas för riskbedömning av förorenade områden. En utmaning är att provtagning oftast är kvantitativ och relativt enkel att beskriva och kommunicera medan geofysiska metoder är kvalitativa vars framgång beror på de tolkningar som görs. Att utveckla en strategi för de geofysiska metoderna kräver således ett mer tolkningsbaserat angreppssätt.

## 7. Referenser

Engelke, F. Norrman, J. Starzec, P. Andersen, L. Grøn, C. Overgaard, J. & Refsgaard, A. 2009. *Inventering av provtagningsstrategier för jord, grundvatten och porgas*. Rapport 5894, Naturvårdsverket, Stockholm.

Ferrier, G. Frostick, L.E. & Splajt T. 2009. Application of geophysical monitoring techniques as aids to probabilistic risk-based management of landfill sites. *The Geographical Journal*, 175 (4): 301-314.

Godio, A. & Naldi, M. 2009. Integration of Electrical and Electromagnetic Investigation for Contaminated Site. *American Journal of Environmental Sciences*, 5 (4): 562-569.

Greenhouse, J.P. 1991. Environmental geophysics: it's about time. *Geophysics: The Leading Edge*, 10: 32-34.

Jacobsen, D.I. 2000/2002. *Vad, hur och varför: Om metodval i företagsekonomi och andra samhällsvetenskapliga ämnen* (G. Sandin, övers.). Lund: Studentlitteratur AB. 503 s. [Originaltitel: Hvordan gjennomføre undersøkelser].

Karlık, G & Kaya, M.A. 2001. Investigation of groundwater contamination using electric and electromagnetic methods at an open waste-disposal site: a case study from Isparta, Turkey. *Environmental Geology*, 40 (6): 725-731.

Knight, R. 2001. Ground penetrating radar for environmental applications. *Annual Review Earth Planet Science*, 2001 (29): 229–255.

Lardo, E. Arous, A. Palese, A.M. Nuzzo, V. & Celano, G. 2016. Electromagnetic induction: A support tool for the evaluation of soil CO<sub>2</sub> emissions and soil organic carbon content in olive orchards under semi-arid conditions. *Geoderma*, 2016 (264): 188–194.

Martens, K. & Walraevens, K. 2009. Tracing Soil and Groundwater Pollution with Electromagnetic Profiling and Geo-Electrical Investigations. *Criminal & Environmental Soil Forensics*. p.181-194.

- Naturvårdsverket. 1996. *Rätt datakvalitet: Vägledning i kvalitetssäkring vid miljötekniska undersökningar*. Rapport 4667, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 1999. *Metodik för inventering av förorenade områden*. Rapport 4918, Värnamo.
- Naturvårdsverket. 2009a. *Riskbedömning av förorenade områden: En vägledning från förenklad till fördjupad riskbedömning*. Rapport 5977, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2009b. *Att välja efterbehandlingsåtgärd: En vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål*. Rapport 5978, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2009c. *Provtagningsstrategier för förorenad jord*. Rapport 5888, Stockholm.
- Norrman, J. Purucker, T. Back, P-E. Engelke, F. & Stewart, R. 2009a. *Metodik för statistisk utvärdering av miljötekniska undersökningar i jord*. Rapport 5932, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Norrman, J. Back, P-E. Engelke, F. Segó, L. & Wik, O. 2009b. *Provtagningsstrategier för förorenad jord*. Rapport 5888, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Ramalho, E.C. Khalil, M.A. Fernandes, J. Amaral, H. & Monteiro Santos, F. 2015. Geophysical assessment of contamination due to explosives in an abandoned facility towards its hydrogeological characterization. *Environmental Earth Science*, 2015 (74): 649–663.
- Reynolds, J. M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Chichester, United Kingdom. John Wiley and Sons Inc. 712s.
- Rosales, R.M. Martinez-Pagan, P. Faz, A. & Moreno-Cornejo, J. 2012. Environmental Monitoring Using Electrical Resistivity Tomography (ERT) in the Subsoil of Three Former Petrol Stations in SE of Spain. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2012 (223): 3757-3773.
- Doolittle, J.A. & Brevik, E.C. 2014. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma*, 223–225: 33–45.
- Rosén, L. Back, P.E. Soutukorva, Å. Söderqvist, T. Brodd, P. & Grahn, L. 2008. *Kostnads-nyttanalyt som verktyg för prioritering av efterbehandlingsinsatser*:

*Metodutveckling och exempel på tillämpning*. Rapport 5836, Naturvårdsverket, Stockholm.

Rosén, L. Back, P.E. Söderqvist, T. Soutukorva, Å. Brodd, P. & Grahn, L. 2009. *Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling av förorenade områden: Metodutveckling och exempel på tillämpning*. Rapport 5891, Naturvårdsverket, Stockholm.

Rosén, L. Törneman, N. Kinell, G. Söderqvist, T. Soutukorva, Å. Forssman, I. & Thureson, C. 2014. *Utvärdering av efterbehandling av förorenade områden*. Rapport 6601, Naturvårdsverket, Stockholm.

SGF. 2013. *Fälthandbok: Undersökningar av förorenade områden*. Rapport 2:2013, Svenska Geotekniska Föreningen.

Skytt, Åsa. 2013. *Bedömningar av föroreningars utbredning i mark med punktkällor: Utvärdering och erfarenheter från riktad provtagning vid nedlagda bensinstationer*. Masteruppsats. Lunds universitet, CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning.

Svenskt Näringsliv. 2014. Effektivitet i statliga saneringar slutförda år 2008 till 2013 av användningen av statens bidragsmedel för sanering av förorenade områden. *Svenskt Näringsliv*. Red., Nicklas Skår, Stockholm, 96s.

Tyréns. 2011. *Teknisk PM Geofysik Plantskola Larslund, Nyköping*. Uppdrag 225173. Tyréns AB.

Tyréns. 2015. *DCIP-sondering av Valhalla 3:8, Eskilstuna*. Uppdrag 263152, DCIP Valhalla 3:8, Eskilstuna. Lund: Tyréns AB.

Van De Vijver, E. Van Meirvenne, M. Vandenhaute, L. Delefortrie, S. De Smedt, P. Saey, T. & Seuntjens, P. 2015. Urban soil exploration through multi-receiver electromagnetic induction and stepped-frequency ground penetrating radar. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2015 (17): 1271–1281.

WSP. 2009. *Geofysisk undersökning för kompletterande provtagning kring Sommarro, Kristianstad*. Malmö: WSP Environmental.

WSP. 2010a. *Geofysisk undersökning Juteväven 1, Genarp, Lund*. Malmö: WSP Environmental.



WSP. 2010b. *Avgränsning av deponerat avfall med geofysisk undersökning, Malören 1, Malmö*. Malmö: WSP Environmental.

# Bilaga

## Intervjufrågor

### Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka hur geofysiska metoder i kombination med punktvis provtagning kan bidra till att förbättra riskbedömningen av förorenade områden ur ett samhällsekonomiskt och miljömässigt perspektiv.

### Fokus i intervjun

Är identifierade kostnader och nyttor relevanta? Saknas det något? Hur stor roll spelar respektive faktor?

1. Vilka nyttor (positiva konsekvenser) har geofysiska metoder vid undersökning av förorenade områden med avseende på hälsa och miljön, ekonomi och teknik? Ur ett samhällsekonomiskt och miljömässigt perspektiv.
2. Vilka tekniska egenskaper är kopplade till geofysikens nyttor?
3. Vilka kostnader är förknippade med geofysiska undersökningar av förorenade områden?
4. Vilka begränsningar har geofysik?

5. Vilka svårigheter ser du med användandet av geofysik jämfört med konventionella metoder?
6. Vilka fördelar ser du med geofysik jämfört med konventionella metoder?
7. Vilka utmaningar ser du med att integrera geofysik med konventionella metoder? Borde det överhuvudtaget göras?
8. Vilka begränsningar har konventionella metoder?
9. När borde geofysiska undersökningar användas, dvs. i vilket skede av riskbedömningsprocessen? I den inledande förundersökningen, den förenklade riskbedömningen eller i den fördjupade riskbedömningen?
10. I vilken ordning borde geofysik användas tillsammans med punktviss provtagning? Före, tillsammans, efter? Varför?
11. Förutsatt att rätt geofysisk metod används vilka nyttor ser du med geofysik jämfört med konventionella metoder?
12. Hur tycker du att informationen och vägledning för användning av geofysik förmedlas inom branschen och på marknaden? Undermålig, tillräckligt, för mycket?
13. Varför ska man använda geofysik?
14. Varför ska man inte använda geofysik?

15. Tycker du att geofysik borde få större utrymme/fokus i det vägledningsmaterial som branschen erbjuder för undersökning av förorenade områden?
  
16. Är följande identifierade kostnader och nyttor relevanta? Saknas det något? Hur stor roll (hur mycket väger/viktas) spelar respektive faktor?

#### **Uppgiftslämnare intervjuer/samtal**

1. Mats Svensson, Tyréns Malmö
2. Håkan Rosqvist, Tyréns Malmö
3. Hans Jeppsson, WSP Malmö
4. David Hagerberg , Tyréns Malmö

#### **Deltagare gruppdiskussion**

- Anneli Palm – Miljögeotekniker Förorenade områden, Tyréns Malmö
- Karin Kockum – Geolog Förorenade områden, Tyréns Malmö
- Elisabet Hammarlund – Hydrogeolog, Tyréns Malmö
- Maria Åkesson – Hydrogeolog, Tyréns Malmö