

## PM GEOFYSIK

---

LÖVSTA KVV / MARK & VA

**UNDERLAG TILL SAMRÅD DETALJPLAN**



PM GEOFYSIK

2019-02-19

**HANDLÄGGARE: JOACHIM PLACE**

## Ändringsförteckning

VER.			GRANSKAD	GODKÄND
01		Erik Bäckman	2019-02-15	
02		Joacim Olsson	2019-02-18	

## PM GEOFYSIK

Uppdrag Lövsta Mark & VA	Uppdragsledare Katja Fedorova	Datum 2019-02-18
Uppdragsnummer 13005526	Upprättad av Joachim Place	Handlingstyp Underlag

### Sammanfattning

Sweco har utfört geofysiska undersökningar i närheten av Lövsta återvinningscentral, väster om Stockholm. Syftet var att kartlägga bergnivån vid planerad fabrik, kaj och tillhörande anläggningar. Tre geofysiska metoder har använts för att kunna skaffa information i en miljö med varierande förhållande såsom sjö och land. Varje metod har kunnat bidra till konturteckningen av bergöverytan med hjälp av borrhinar för kalibrering. Framgången är dock begränsad då berget endast har kunnat identifierats i en del av undersökningsområdet. Två faktorer har identifierats som anledningar för begränsningarna och lösningar för ev. framtida kompletterande undersökningar har föreslagits.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Underlag för undersökningen</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Teknisk beskrivning</b>	<b>2</b>
3.1	Princip av georadar	2
3.2	Georadar utrustning	2
3.3	Princip av refraktionsseismik	3
3.4	Refraktionsseismikutrustning	4
3.5	Princip av reflektionseismik	4
3.6	Reflektionsseismikutrustning	4
<b>4</b>	<b>Positionering</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Utförda undersökningar</b>	<b>6</b>
5.1	Georadar	6
5.2	Refraktionsseismik	6
5.3	Reflektionsseismik	6
<b>6</b>	<b>Resultat</b>	<b>7</b>
6.1	Georadar	7
6.2	Refraktionsseismik	7
6.3	Reflektionsseismik	7
<b>7</b>	<b>Diskussion och slutsats</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>9</b>

## Bilagor

Bilaga 1	Bilaga1_karta.pdf	Planritning av identifierat berg
Bilaga 2	Bilaga2_GPR170.pxy data (PXY format)	Koordinater av bergöverytan enligt GPR
Bilaga 3	Bilaga3_L1.pxy refraktionsseismik data (PXY format)	Koordinater av bergöverytan enligt
Bilaga 4	Bilaga4_L3.pxy refraktionsseismik data (PXY format)	Koordinater av bergöverytan enligt
Bilaga 5	Bilaga5_L4.pxy refraktionsseismik data (PXY format)	Koordinater av bergöverytan enligt
Bilaga 6	Bilaga6_L5.pxy refraktionsseismik data (PXY format)	Koordinater av bergöverytan enligt
Bilaga 7	Bilaga7_L6.pxy refraktionsseismik data (PXY format)	Koordinater av bergöverytan enligt
Bilaga 8	Bilaga8_Reflection.pxy refraktionsseismik data (PXY format)	Koordinater av bergöverytan enligt

## 1 Inledning

På uppdrag av Stockholm Exergi har Sweco utfört geofysiska undersökningar som komplement till de geotekniska undersökningarna i närheten av Lövsta återvinningscentral, väster om Stockholm. Syftet var att kartlägga bergnivån vid planerad fabrik, kaj och andra anläggningar. Utsträckningen av undersökningsområdet har bestått av land och sjö och har täckt olika alternativ på utbyggandet som var aktuella vid beställningen.

Befintlig information och tidigare sonderingar indikerade en stor mångfald av material (deponi och sitt täckningsmaterial, fyllningsmaterial etc.) och ett mycket varierande djup till berget från noll meter vid berghällar ner till några tiotal meter. Baserat på detta valdes tre geofysiska metoder:

- Georadar (land). Utförandet är snabbt vilket möjliggör att täcka ett stort område på kort tid. Detta för att minska tiden som behövs för att undersöka med mer tidkrävande metoder.
- Refraktionsseismik (land). Metoden har använts för att undersöka bergöverytan där georadarn har begränsats pga. egenskaperna hos materialet som finns mellan markytan och berget.
- Reflektionsseismik (sjö). Ett enkelt utlägg har använts för att undersöka samt tolka intresseområdet under vattnet.

Fältarbetet har utförts dagtid följande:

- den 2018-04-19 av Joachim Place och Fredrik Niva på Sweco (georadar).
- den 2018-05-10 av Joachim Place, Per Nilsson och Peder Dalin på Sweco (reflektionsseismik).
- fr.o.m. 2018-05-21 t.o.m. 2018-05-24 av Joachim Place och Per Nilsson på Sweco (refraktionsseismik).

## 2 Underlag för undersökningen

Följande underlag har använts:

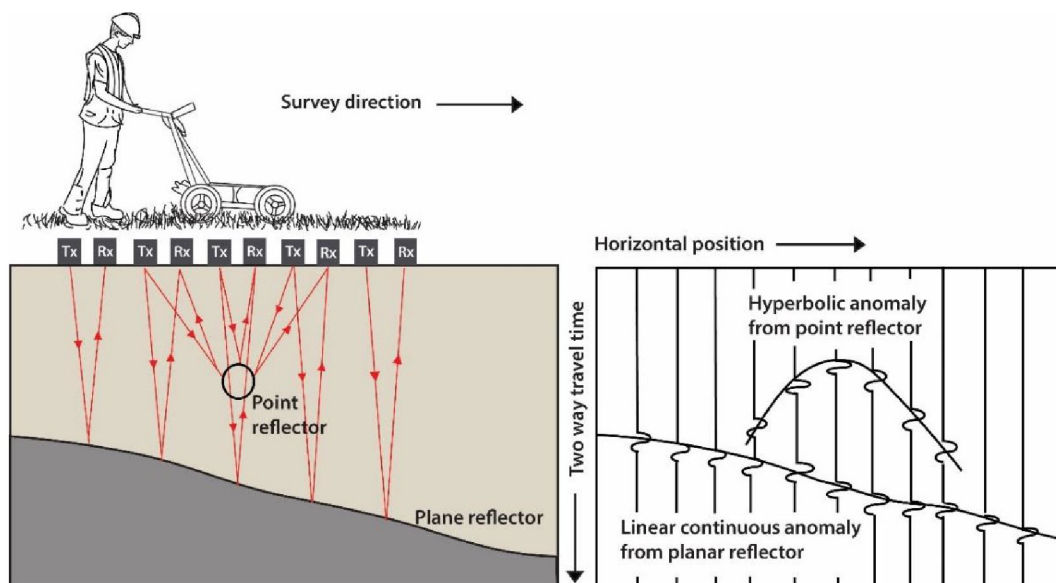
- Kartor av planerade infrastruktur
- Kartor av befintliga markanläggningar (enligt Ledningskollen)
- JB-sonderingsdata (se PM geoteknik)

## 3 Teknisk beskrivning

### 3.1 Princip av georadar

En georadar består av en sändare (Tx) som sänder en signal ned i marken (Fig. 1). Signalen reflekteras och registreras sedan av en mottagare (Rx, Fig. 1). Ett radarinstrument använder sig av en högfrekvent elektromagnetisk signal. På detta sätt kan alla objekt (sten, plast, metall) i marken, som uppvisar en kontrast i elektriska egenskaper till omgivande media, registreras och detekteras med hjälp av en georadar.

Genom reflektion av de elektromagnetiska vågorna mot olika geologiska gränser kan djupet till berg, torvdjup och mäktigheten av enskilda jordlager bestämmas. Allteftersom den elektromagnetiska signalen sprider sig i marken, kommer punktförmiga objekt att registreras med en hyperbolisk form, medan plana ytor behåller ett mer naturligt utseende (Fig. 1).



Figur 1: Principskiss av georadmätning.

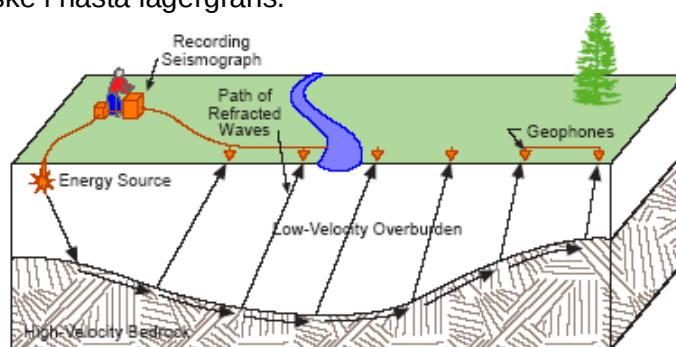
### 3.2 Georadar utrustning

- Malå system
- Antenn med centrumfrekvens på 160 MHz och 450 MHz

Analys och tolkning av georadar data har utförts med programmen "Reflexw" från Sandmeier Geophysical Research.

### 3.3 Princip av refraktionsseismik

Refraktionsseismik baseras på bestämning av elastiska vågors utbredning i marken. I traditionell refraktionsseismik utnyttjas kompressionsvågen, kallad P-våg, som är den snabbaste av de olika vågtyper som alstras vid till exempel en explosion eller stöt i marken. När en P-våg utbreder sig i marken utför varje partikelsvängning i en riktning som ligger parallellt med vågens utbredningsriktning. När P-vågsfronten träffar ett underliggande lager kan refraction inträffa, som är det fysikaliska fenomen som gett metoden dess namn (Fig. 2). Den refrakterade vågstrålen skapar nya vågfronter som sänds tillbaka upp mot markytan, där ankomsten kan registreras av geofoner känsliga för rörelser och tryck. Delar av energin kan fortsätta nedåt i lagerserien där ny refraction kan ske i nästa lagergräns.



Figur 2: Principskiss refraktionsseismik.

Seismiska undersökningar används ofta för att erhålla data om geologiska strukturer under markytan, stratigrafi, berg, grundvattennivån, olja och gas. Den utrustning som används innefattar en energikälla (t.ex. plåt och slägga, sprängmedel, fallande vikt eller vibrator), geofoner (som mäter markhastighet) och en seismograf (som registrerar och bearbetar data). Data består av uppmätta hastigheter hos den mekaniska energi som fortplantas under markytan. Eftersom de seismiska vågorna träffar en gräns mellan bergpartier med olika mekaniska egenskaper, kommer delar av energin att brytas längs gränsen och sändas tillbaka till markytan. Genom att mäta tiden, sträckan och amplituden hos den returnerade energin, kan skiktets geometri uttolkas.



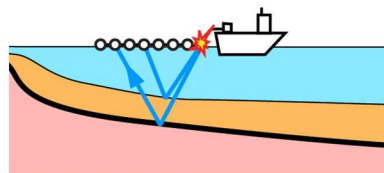
### 3.4 Refraktionsseismikutrustning

- Seismograf: 24 kanals Geode från Geometrics
- Energikälla: slägga och släggplatta eller laddning (20 till 50g) beroende på förutsättningar
- Geofonavstånd: 5m
- Geofoner: 10 Hz, vertikala

Analys och tolkning av refraktionsseismiska data har utförts med programmen "Pickwin" och "Plotrefa" från Geometrics.

### 3.5 Princip av reflektionseismik

För att erhålla information om djup till berg på sjön har boomer-mätningar utförts. Både källan och sensorer ligger strax under vattenytan och manövreras av en båt där tillhörande utrustning och dator finns (Fig. 3). De ljudvågorna som genereras nedåt från boomern reflekteras uppåt mot hydrofonerna när kontraster i densitet och mekaniska egenskaper påträffas. Havsbotten syns därför som en tydlig reflektion. Reflektioner därunder kan tolkas som sedimentlager och andra geologiska material såsom berget (Fig. 3). Antropogent material såsom anläggningar kan också identifieras. Metoden kan synas som ett ekolod dock med betydligt större penetrationsförmåga. I de fall som sedimenten innehåller stora mängder gas begränsas penetrationen i sedimenten under gasen kraftigt, och i vissa fall slås ut helt. I sådana fall kan en lösning på problemet vara att använda sig av en utrustning med en kraftigare stötvåg med lägre frekvens.



Figur 3: Principskiss reflektionsseismik vid sjömätning.

### 3.6 Reflektionsseismikutrustning

Utrustningen har hyrts från Meridata och bestod av (Fig. 4):

- Källa: "C-Boom" katamaran med centrumfrekvens på 1760 Hz, energi per puls 100 J och akustisk uteffekt 200 dB.

- Sensor: C-phone som består av 8 hydrofoner vilkens signaler har stackats.
- Programvara: MDCS

Positionering hanterades med GNSS på båten. Boomern och hydrofonen har dragits resp. 6 m och 14 m bakom båten (Arronet 18c) och mättningspunkt beräknades emellan i efterhand.



Figur 4: Reflektionsseismik utlägg under mätning

Data samlades in på internt format. Det konverterades av Meridata till SEG-Y format med SWEREF koordinatsystem för analys och tolkning med programmen "Reflexw" från Sandmeier Geophysical Research.

## 4 Positionering

Inmätning har utförts med följande geodetiska referenssystem:

- Referenssystem i plan är SWEREF 99 18 00
- Referenssystem i höjd är RH2000

## 5 Utförda undersökningar

Undersökningarna på land har utförts på ett tidigt skede i projektet. Koordinering med tomtägarna samt ansvarig personal hos olika organisationer på plats (t.ex. Stockholm Vatten och Avfall) var inte klart vilket begränsade utförandet av den initiala undersökningsplanen.

### 5.1 Georadar

Mätning har utförts på ett flertal profiler med varierande längd beroende på markåtkomst. Undersökningsområdet inkluderar positionen av de planerade byggnader och kaj, samt de planerade anläggningarna emellan. Profilerna består av 20 mätningar per meter (5 cm avstånd mellan två successiva mätningar).

### 5.2 Refraktionsseismik

Mätning har utförts på 5 profiler med 5 meters geofonavstånd. De flesta profilerna består av flera utlägg med överlappning. Undersökningsområdet inkluderar positionen av de planerade byggnader och kaj, samt de planerade anläggningarna emellan. Valet av seismiska källa har berott på förutsättningarna. Laddning användes i jord och gräsmattan. Känsligare miljöer (asfalt, anläggningar i närheten enligt Ledningskollen) har undersökts med hjälp av slägga och plattan, som dessvärre erbjuder svagare signal.

### 5.3 Reflektionsseismik

Mätning har utförts i två riktningar. En riktning (6 linjer) har gått ungefär längs med kustlinjen med olika avstånd ifrån denna. Den andra (7 linjer) har placerats ungefär ortogonalt till kustlinjen. Dessa böjda och strålande linjer har erhållit ett rutnät.

Eftersom deponin kan innehålla gas, och slänten är täckt av sprängsten undervattnet var det en risk att metoden skulle begränsas pga. dämpning och utspridning av ljudvågor. Därför valdes ett stort område att undersöka för att öka chansen att identifiera bergöverytan med förtroende utanför den potentiellt begränsade zon och sedan kunna följa bergöverytan mot deponin där signalen skulle vara svagare.

Mätningen har utförts med 1,5 - 2 knot för hastighet vilket var tillämpligt för att minska falska vågor och bruset på data. Detta i kombination med tidtriggern har skaffat data med c. 25 cm avstånd mellan två successiva mätningar (5 mätningar per m).

## 6 Resultat

Resultatet från mätningarna består av koordinater av bergöverytan och har levererats till geoteknikgruppen som har sammanslaget bergmodellen med resultat av olika undersökningsmetoder. Resultatet finns också redovisad i bilagorna till denna rapport.

### 6.1 Georadar

En profil i det norra området innehåller en reflektion som har tolkats som bergöverytan med hjälp av en JB-sondering (se PM Geoteknik). Ingen andra liknande reflektion identifierades med säkerhet i andra profiler. Inga tydliga förbättringar erhöles efter databearbetning på kontoret, och strategin var då att fokusera på de seismiska mätningarna som gav bättre resultat. Potentialen hos datat är dock stor gällande kartläggningen av anläggningar under markytan och enhetligheten av täckningsmaterial (bentonit) ovan deponin vilket kan utnyttjas vid kommande projektering och schaktning.

### 6.2 Refraktionsseismik

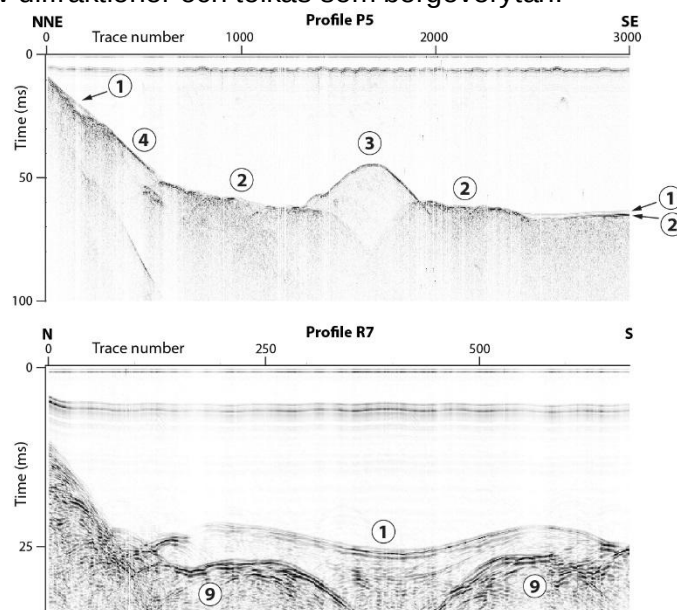
Aktiviteten på angränsade industri och återvinningscentral (inkl. flistugg) var betydande. Detta i kombination med svagare signaler än vanligt (slägga eller grund sättning av laddning med hänsyn till enhetligheten av täckningsmaterial) och djupa bergnivåer har gjort att datakvaliteten har varit mycket varierande. Koordinering med geoteknik möjliggjorde att borra där det seismiska resultatet har varit sämst.

P-vågornas hastighet hos berget bedömdes till 5000 upp till 5600 m.s<sup>-1</sup>, vilket karakteriserar bra bergkvalité. Ett genomsnittligt hastighetsvärde på 800 upp till 1000 m.s<sup>-1</sup> användes för P-vågorna i olika fyllningsmaterial som breddes över och ev. sediment. "Travel-time inversion" har utförts för att uppskatta djup till berg och sedan exportera höjdkurvorna. JB-sonderingsdata (se PM Geoteknik) har använts för kalibrering med hjälp av 3D-ritning.

### 6.3 Reflektionsseismik

Datakvaliteten har möjliggjort identifieringen av olika reflektioner med följande egenskaper (Fig. 5). Reflektion antecknat 4 är brant och visar ojämn yta. Den har påträffats längs kusten och därför tolkas som slanten av deponin. Reflektion 2 karakteriseras av en relativt hög amplitud och en ojämn yta. Den är mer horisontell än reflektion 4 och påträffas i nästan hela området. Relationen mellan 4 och 2 är otydlig. Än så länge tolkas reflektion 2 som en ev. blandning av antropogena och naturliga material. Reflection 3 visar prominent morfologi och

har lokal utsträckning och tolkas som slump, vilket stämmer överens med befintlig batymetri data (Cato och Kjellin, 2012). I område där reflektion 1 syns kommer den alltid tidigast i jämförelse med andra reflektioner. Reflektionen är jämn och sin amplitud är låg. Detta ledde till att tolka reflektionen som överkanten av dy lager eller yngste sediment i stort. Reflektion 9 beskrivs av en relativt hög amplitud, särskild när den utformar sjöbotten. Den påträffas också under andra reflektioner. Signalen kan beskrivas som en aggregation av diffraktioner och tolkas som bergöverytan.



Figur 5: Exempel på de fem typer av reflektion som identifierades.

Berget har identifierats tydligt på sjöbotten och under vissa sedimentmaterial särskilt i sydöstra och västra delen av undersökningsområdet. Dessvärre har det blivit omöjligt att följa bergöverytan mot deponin och de två alternativen för kaj. Signal med lägre frekvens och starkare energi skulle behövas för att penetrera igenom tjocka och förmodligen dämpande material.

Tiden av de fem reflektionerna har konverterats i djup med hjälp av sonderingar för kalibrering (se PM Geoteknik). Eftersom den identifierade bergöverytan inte är brant ingen migration har utförts.

## 7 Diskussion och slutsats

Tre geofysiska metoder har använts för att kunna skaffa information om bergöverytan i en miljö med mycket varierande förhållande. Sjö och land har undersökts. Varje metod har kunnat bidra till konturteckningen av bergöverytan med hjälp av borrhinar för kalibrering. Framgången är dock begränsad då berget har kunnat identifieras i en del av datasättet. Två faktorer kan förklara dessa begränsningar:

1. Undersökningsområdet är en aktivitetsrik miljö som innehåller ett industriområde, en återvinningscentral, en båtklubb och deras tillhörande trafik. Fotgängare och hästridare utnyttjar också jordbanken. Betydligt mer noggranna tidsplan och samordning med de olika aktörerna på plats skulle behövas för att kunna beträda visa område med omtanke.
2. En stor variation av material har påträffats (asfalt, gräsmattor, täckningsmaterial ovan deponi, fyllningsmaterial, sediment) och djup till berget varierar kraftigt i området, från noll meter till några tiotals meter. Strategier finns för att förstärka signalen kontra bruset samt bekämpa dämpning/utspridning (t.ex. lägre frekvens/kraftigare källor, nattarbete, större utlägg). Detta behöver ytterligare noggrann planering med hänsyn till punkt 1.

## 8 Referenser

Cato I. och Kjellin B., 2012. Undersökningar av Mälarens botten utanför Lövsta gamla deponiområde, Hässelby, Stockholms kommun. SGU rapport 2012:6, s. 69.