

Huvudstudie
fd AB Malmens Metallfabrik, Hovmantorp Lessebo
kommun

Fördjupad riskbedömning och åtgärdsutredning



För
Länsstyrelsen i Kronobergs län

Upprättad: 2014-02-26
Uppdrag: 712-078

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	4
1 BAKGRUND OCH SYFTE.....	5
2 ARBETSMETODIK OCH AVGRÄNSNINGAR	5
3 ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV FASTIGHETEN.....	6
3.1 ALLMÄNT	6
3.2 GEOLOGI OCH HYDROGEOLOGI.....	7
3.3 SKYDDSVÄRDEN I NÄROMRÅDET.....	8
3.4 HISTORIK.....	9
4 SAMMANFATTNING AV GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	11
4.1 GEOLOGI OCH HYDROGEOLOGI.....	11
4.2 FÖRORENINGSSITUATION INOM FASTIGHETEN	11
4.3 SPRIDNING TILL NÄRLIGGANDE FASTIGHETER	14
4.4 SPRIDNING I BERGGRUNDEN	15
5 RISKBEDÖMNING	16
5.1 SKYDDSOBJEKT	16
5.2 DIMENSIONERANDE FÖRORENINGAR OCH EGENSKAPER	17
5.3 EXPONERINGSANALYS	18
5.4 HÄLSORISKER VID NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN	19
5.5 FRAMTIDA HÄLSORISKER.....	20
5.6 SPRIDNINGSRISKER OCH FÖRORENINGAR I BERGGRUNDEN.....	22
5.7 MARKMILJÖ	22
6 SAMLAD RISKBEDÖMNING OCH BEHOV AV RISKREDUKTION	22
7 FÖRSLAG TILL ÖVERGRIPANDE ÅTGÄRDSMÅL.....	23
8 ÅTGÄRDSUTREDNING	23
8.1 ALLMÄNT	23
8.2 ÅTGÄRDER I YTLIG JORD FÖRORENAD MED METALLER/OLJA.....	23
8.3 ÅTGÄRDER I OMRÅDEN FÖRORENADE MED KLORERADE LÖSNINGSMEDEL	23
8.4 PRINCIPIELLA ÖVERVÄGANDEN FÖR ÅTGÄRDER INOM FD. MALMEN.....	25
8.5 GEOLOGISKA, HYDROGEOLOGISKA OCH PRAKTISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	26
8.6 KALKYLANTAGANDEN.....	27
8.7 UTREDDA ÅTGÄRDSALTERNATIV	27
8.8 ALTERNATIV 1 - ÜRSCHAKTNING AV KÄLLOMRÅDE OCH IN-SITU ÅTGÄRD I BERG.....	28
8.9 ALTERNATIV 2 - IN-SITU INJEKTERING I JORD OCH BERG	30
8.10 ALTERNATIV 3 – TERMISK BEHANDLING.....	31
8.11 SAMMANFATTNING OCH UTVÄRDERING AV ÅTGÄRDSALTERNATIVEN	33
9 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	33

Sammanfattning

Geosigma AB och Structor Miljö Göteborg AB har på uppdrag av länsstyrelsens i Kronoberg genomfört en huvudstudie av f d AB Malmen på fastigheten Ekebacken 3 Hovmantorp i Lessebo kommun. På fastigheten har det tidigare bedrivits ytbehandlingsverksamhet med användning av trikloreten. Utifrån resultaten av de omfattande provtagningar som utförts på området kan det konstateras att det finns en litet källområde på fastigheten med höga halter av trikloreten i jord och berg. Källområdet uppskattas vara maximalt 100 m² och sträcka sig ca 3 m i jord och ytterligare ca 5 m ned i berget. Ett litet område finns även med tungmetaller i ytlig jord (ca 200 m² och ner till 0,5 m) samt en mindre oljeskada (ca 10 m³).

Mängden klorerade lösningsmedel bedöms vara begränsad och knappast överstiga 10 kg. För närvarande utgör föroreningen främst en risk vid markarbeten och en risk för spridning till omgivningen eftersom föroreningar kan transporteras snabbt med berggrundvatten vid vattenuttag.

Inom ramen för en åtgärdsutredning har olika åtgärdsalternativ utretts för att sanera föroreningen med urschaktning eller in-situ (biologiskt/kemiskt). Kostnaderna inklusive förberedelser beräknas till 2 – 4 miljoner kr. En termisk sanering av jord och berg uppgår till ca 7 Mkr, se även tabellen nedan.

Tabell med sammanfattning av åtgärdsalternativen avseende klorerade lösningsmedel.

	Alt. 1 Schakt och injektering in-situ i berg	Alt. 2 Injektering in-situ i jord och berg	Alt. 3 Termisk in-situ, i jord och berg
Beskrivning	Schaktsanering av jord i källområdet ner till berg, injektering i berg samt ev. en mindre injektering i jord.	Injektering i jord och berg inom källområde samt område med förorenat gv på stort djup. Byggnad behålls.	Termisk uppvärmning av jord och berg.
Förväntad effekt	Källområdet i jord schaktas. Spridning med berggrundvatten minskar väsentligt.	Minskade halter i källområdet i jord och berg. Spridning med berggrundvatten minskar väsentligt.	Spridning med berggrundvatten minskar väsentligt.
Kvarlämnade föroreningar	I berget kommer restföroreningar sannolikt att finnas kvar.	Restföroreningar kommer sannolikt att finnas kvar i jord och berg.	Mindre restföroreningar kan finnas kvar i jord och berg.
Genomförandetid, aktiv fas	Rivning, schakt, installation av brunnar ca 1-2 mån. Mätning och ev. återinjektering i berg under 1-3 år.	Installation av brunnar och första injektering, <1 mån mån. Mätning och ev. återinjektering 1-3 år.	Installation och utförande 1-3 mån.
Kostnadsuppskattning	Ca 3,5 Mkr	Ca 2,5 Mkr	Ca 7 Mkr

Samtliga alternativ avseende klorerade lösningsmedel kan kombineras med en grävsanering av ytlig metallförorenad jord samt den mindre oljeskada som påträffats. Om denna åtgärd utförs i samband med övriga åtgärder uppskattas merkostnaden till ca 300 000 kr.

Med hänsyn till de ringa föroreningsmängderna och begränsade risker som föroreningen utgör rekommenderas att källområdet åtgärdas med en biologisk eller kemisk in-situ metod. Kostnaderna för en sådan uppskattas till ca 2,5 miljoner kr inklusive förberedelser. I det fall moränen visar sig vara för tät för att kunna utföra en bra injektering kan istället urschaktning av jorden i källområdet ske. Detta alternativ blir något dyrare, ca 3,5 Mkr.

1 Bakgrund och syfte

På uppdrag av länsstyrelsen i Kronobergs län har Geosigma tillsammans med Structor Miljö Göteborg AB utfört en Huvudstudie av f.d. Malmens metallfabrik i Hovmantorp ("Malmen"). Bearbetning och ytbehandling av metaller har orsakat en förorening i mark och grundvatten av främst klorerade lösningsmedel, men även metaller och olja.

Föroreningarna påvisades i en Mifo Fas 2 undersökning i juni 2010 där mycket höga halter av klorerade alifater i grundvattnet påträffades i en punkt. Föroreningssituationen föranledde kompletterande undersökningar inom ramen för en förstudie under 2011 med syfte att utreda föroreningens utbredning samt översiktligt bedöma miljö- och hälsorisker. Efter förstudien föreslogs undersökningar motsvarande en huvudstudie med syfte att utföra en fördjupad riskbedömning samt utreda och kalkylera möjliga åtgärdsalternativ. Huvudstudien inleddes med fältarbeten i oktober 2012 och kompletterande provtagningar under april 2013.

Denna riskbedömning är utförd enligt Naturvårdsverkets vägledning för riskbedömningar (rapport NV5977) och görs dels för nuvarande förhållanden och dels för framtida förhållanden i det fall inga sanerings- eller skyddsåtgärder utförs. Baserat på riskbedömningen och behovet av riskreduktion utreds ett antal principiella åtgärdsalternativ ur tekniska och ekonomiska aspekter.

Syftet med riskbedömning och åtgärdsutredning är att den skall vara ett säkert beslutsunderlag för en eventuell ansökan om statliga bidrag för att vidta saneringsåtgärder.

2 Arbetsmetodik och avgränsningar

Riskbedömningen baseras på resultaten från följande undersökningar:

- Miljöteknisk undersökning enligt MIFO fas 2, Fd AB Malmens Metallfabrik, Hovmantorp, Structor Miljö Göteborg AB, 2010-06-29 rev 2010-07-05
- Förstudie Fd AB Malmens Metallfabrik i Hovmantorp, Geosigma AB 2011-11-18
- Resultatrapport avseende nu utförda provtagningar inom ramen för denna huvudstudie, se resultatrapport Geosigma AB, juli 2013.

Riskbedömningen är genomförd för två scenarier:

1. Miljö - och hälsorisker för **nuvarande förhållanden** med rådande markanvändning inom och kring fastigheten. Fastigheten är idag industrimark med huvudsakligen hårdgjorda och asfalterade ytor. Befintliga byggnader används till uppställning av fordon mm, men

det finns idag ingen produktion i lokalerna. Fastigheten angränsar till bostäder i sydväst och öster.

2. Miljö- och hälsorisker för **framtida förhållanden** i det fall inga efterbehandlingsåtgärder genomförs. Markanvändningen inom fastigheten bedöms under överskådlig framtid vara mindre känslig där människor (främst vuxna) vistas endast under arbetstid. Bostäder är inte aktuellt inom området. I det fall bostäder eller annan mer känslig markanvändning planeras inom fastigheten bör en förnyad riskbedömning utföras.

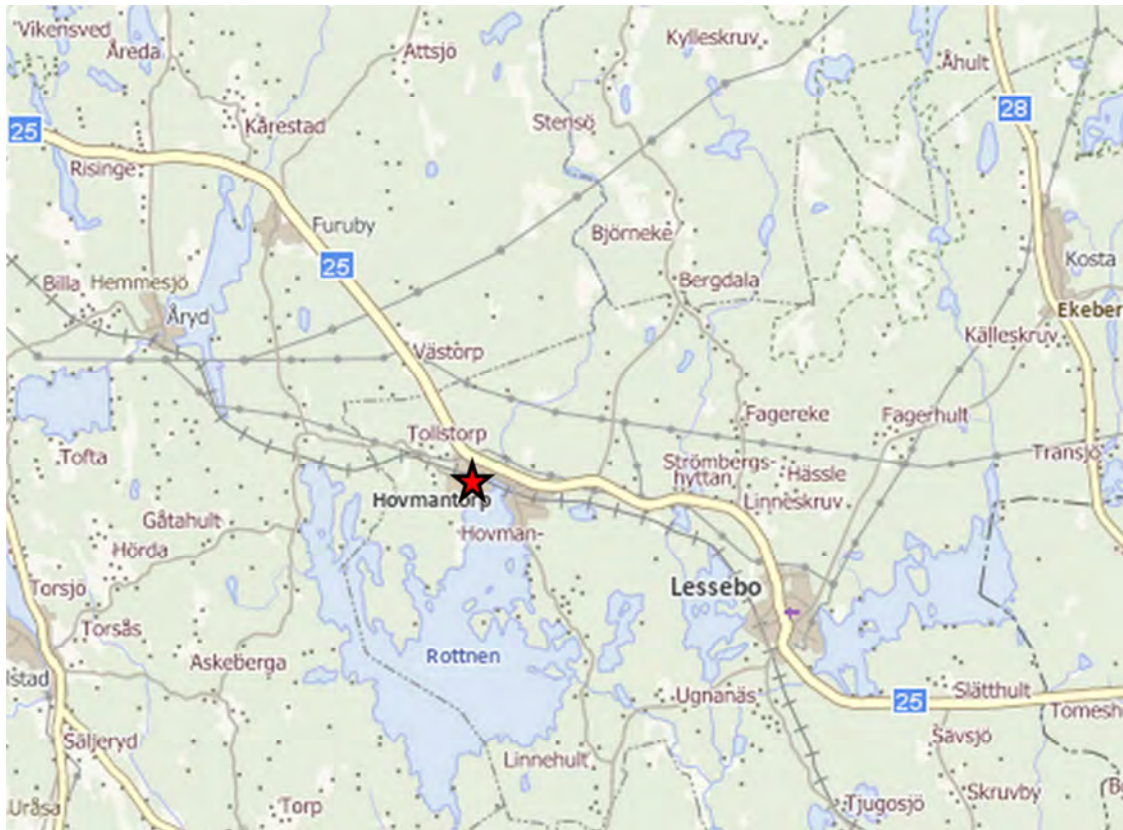
Riskbedömningen bygger på nuvarande kunskap beträffande toxicitet samt kemiska och fysikaliska egenskaper av påvisade föroreningar.

Eftersom föroreningen utgörs av ett stort antal olika ämnen med troliga samverkans effekter, föroreningen kan finnas som en vätska i marken samt även till stor del finns under grundvattenytan och delvis i berggrunden är Naturvårdsverkets modell för beräkning av plats-specifika riktvärden för förorenad jord i stora delar inte tillämpbar. Riskbedömningen utgår i stället från en konceptuell modell med en framåträkning av de hälsorisker som föroreningen innebär samt vilka risker för omgivningen föroreningen kan utgöra på sikt.

3 Översiktlig beskrivning av fastigheten

3.1 Allmänt

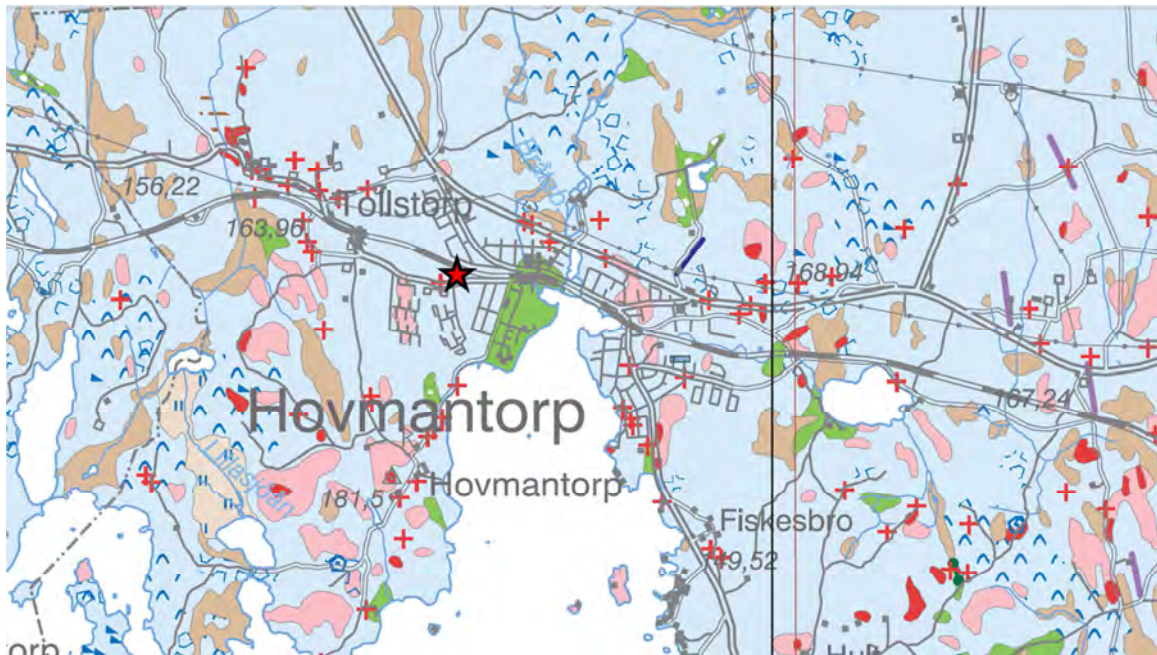
F.d Malmens Metallfabrik är belägen inom fastigheten Ekebacken 3 och ligger i anslutning till ett bostadsområde i Hovmantorp, Lessebo kommun, se *Figur 1* nedan. Norr om fastigheten ligger järnvägen och i sydlig riktning finns ett skogsparti där vattendraget Ekebacken rinner ner till sjön Rottnen.



Figur 1. Översiktskarta, fd. Malmen Metallindustri i Hovmantorp är markerad med en röd stjärna (SGU).

3.2 Geologi och hydrogeologi

Jordlagren i regionen domineras av en stenig och sandig/grusig morän. Jordtäcknet kring undersökningsområdet är generellt tunt och det finns berghällar i dagen, se *Figur 2* nedan.



Figur 2. Jordartskarta. Fd. Malmen är markerad med en röd stjärna. Morän är ljusblått och karterade berghällar är markerade med röda kryss. Delar med tunna osammanhängande jordtäckte på berg är ljusröda. Ca 400 m öster om fastigheten finns en isälvsavlagring (grön markering). Från SGU.

Inom fastigheten varierar djupet till berg från en halvmeter i de västra delarna av fastigheten och ner till ca 6 meter i öster. Cirka 400 meter i östlig och sydöstlig riktning finns en isälvsavlagring.

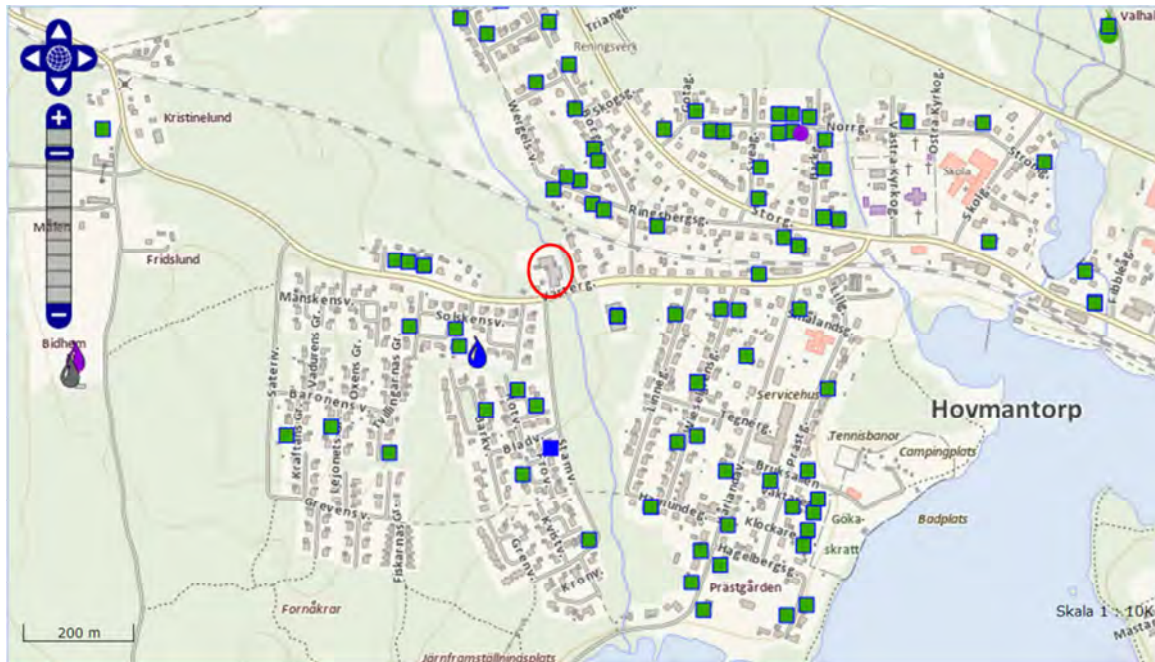
Grundvattnets flödesriktning är huvudsakligen sydostlig i riktning mot Ekebäcken som mynnar i sjön Rottnen, cirka 700 meter söder om fastigheten.

3.3 Skyddsvärden i närområdet

F.d Malmen ligger inom ett kommunalt vattenskyddsområde och den närbelägna sjön Rottnen klassas som ett vattendrag med ”mycket stora naturvärden” i Kronobergs läns Naturvårdsprogram. Hovmantorp försörjs med dricksvatten från sjön som infiltreras vid vattenverket ca 2 km öster om f,d Malmen fastighet.

Bostäder (friliggande enfamiljshus) finns på angränsande fastigheter öster respektive söder om fastigheten inom ett avstånd av ca 50 m

Det finns ett stort antal brunnar, de flesta djupborrade energibrunnar, i närheten av fastigheten, se figur 3.



Figur 3. Utdrag från brunnarkivet (SGU 2013). Fyrkanter är energibrunnar, de flesta bergborrade. Blå "droppe" markerar dricksvatten och/eller bevattningsbrunn. Den blå droppen sydväst om Malmen är ej i bruk, men vattnet har provtagits.

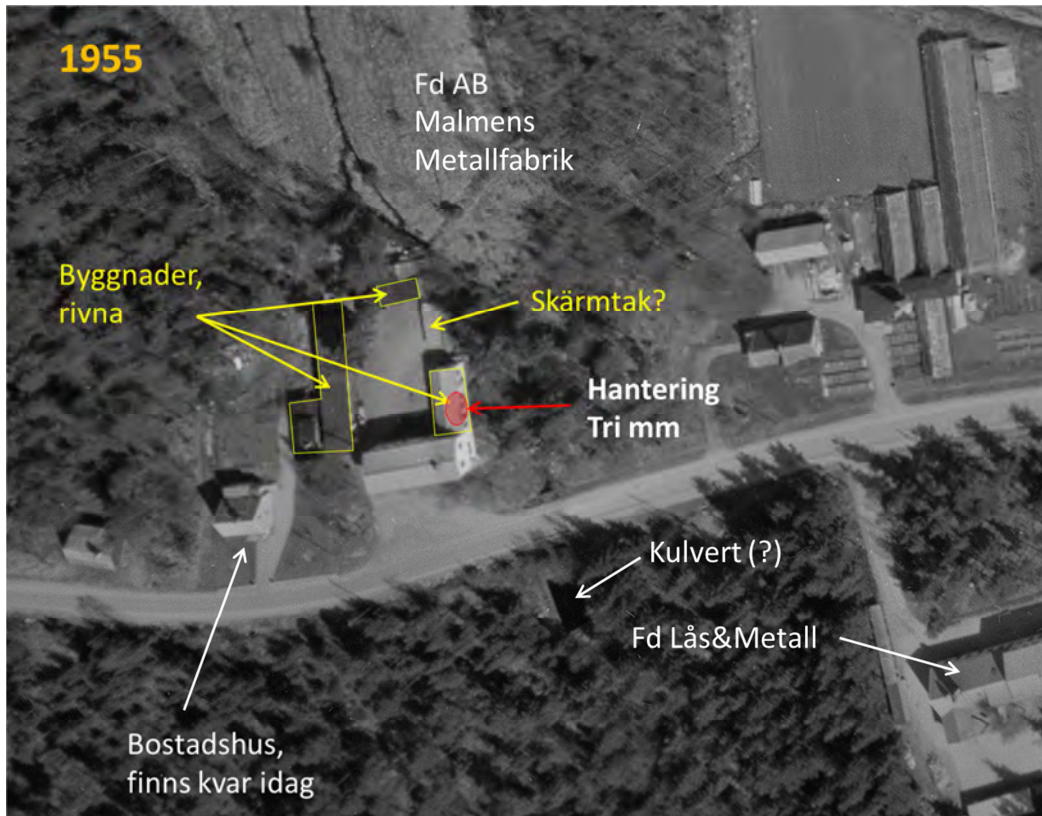
3.4 Historik

På fastigheten har det bedrivits verkstadsindustri sedan 1937 fram till 2010. Under dessa år har tre verksamhetsutövare funnits inom fastigheten; AB Malmens Metallfabrik, Hovmanporten samt Laio Metall AB. Första byggnaden uppfördes 1937 och den har sedan byggts ut i omgångar. Flera äldre byggnader har rivits.

Den utbyggnad där avfettning med klorerade lösningsmedel, måleri och ytbehandling bedrevs under Malmens tid är riven och har ersatts med en större verkstadsbyggnad. Verkstadsbyggnaden används idag som lagerutrymme och garage/verkstad för enstaka personbilar.

Malmens verksamhet (1937-1969) bestod av tillverkning av bland annat elarmaturer, lampor, mässingssprutor mm och hade som mest 25 anställda. Ytbehandling utfördes i form av förnickling, förkoppling, betning samt alkalisk avfettning. Tri-avfettning skall ha utförts sedan 1960-talet. Före förnicklingen rengjordes produkterna i bad med cyankalium respektive salpetersyra. Enligt MIFO-inventeringen finns det uppgifter om att syrabad slogs ut i recipienten, Ekebäcken. Slammet kördes däremot (åtminstone vid något tillfälle) till kommunens tipp.

Det finns uppgifter om att Laio Metall (1981 och fram till idag) har använt en "perklorgryta" för avfettning under 1980-talet. Platsen för "perklorgrytan" är samma del där Malmen tidigare haft en tri-avfettning. Här har provtagningarna påvisat ett källområde med klorerade alifater (främst trikloretylen). Denna byggnad är numer riven och har ersatts med andra byggnader.



Figur 4. Historisk flygbild från 1955. AB Malmen har haft triavfettning och Laio metall senare en "perklorogryta" i rödmarkerat området. Gulmarkerade byggnader är rivna.



Figur 5. Modern flygbild. Tillbyggnader i norr och öster har markerats med lila. Platsen där tri-avfettning och perklorogrytan funnits är markerad med rött.

4 Sammanfattning av genomförda undersökningar

4.1 Geologi och hydrogeologi

Genomförda undersökningar visar att de naturliga jordlagren består av en hårt packad finkoring sandig siltig morän. Ytligt finns sandiga fyllnadsmassor och mulljord. Grundvattenytan är belägen ca 1 m under markytan och grundvattenriktningen är mot sydost, se *Figur 6*.

Djup till bergytan inom undersökningsområdet varierar från någon meter till som mest ca 6 meter. Bergytan har ett trågliknande utseende strax söder om det källområde som påvisats inom fastigheten.

Berget är generellt flackt i området, men går i dagen i ett antal hållar nordväst och väster om fastigheten.

Berggrunden består av massformig, medelkornig grårod granit med få sprickor.

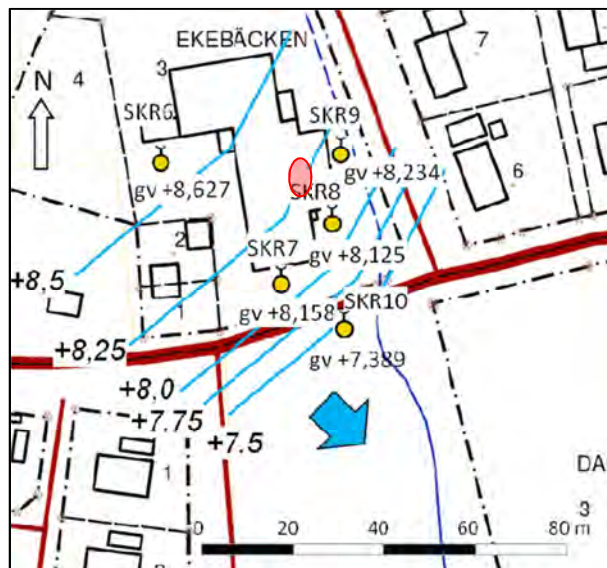
Tre sprickriktningar observerades och de har alla en nära ÖSÖ-VNV riktning.

Borringarna i berg visar att berget inom fastigheten är uppsprucket i dess ytliga delar (0- 5 m) med flera enskilda sprickor, sprickzoner och krosszoner. Minst en sprickzon finns dessutom på ca 11 m djup. Sprickorna är vattenförande.

4.2 Föroreningsituation inom fastigheten

Miljötekniska provtagningar har utförts i flera omgångar av jord, grundvatten i jord och berg, trädkärnor, porgas, inomhusluft, ytvatten, brunnar mm. Resultaten finns sammanställda och tolkade i resultatrapporten (Geosigma 2013). Utförda provtagningar visar sammanfattningsvis att:

- Det finns ett mindre källområde med höga halter av främst trikloretylen (TCE) i grundvatten och jord. Källområdet finns under den tidigare ytbehandlingslokalen där tri-avfettning mm har utförts. Denna byggnad är idag riven och en ny verkstadslokal är uppförd på samma plats. Källområdet är litet, i provtagningarna indikeras en yta på ca 25 kvm. Då det finns osäkerheter i utbredningen har storleken i denna åtgärdsutredning skattats till maximalt ca 100 kvm, varav ca hälften finns under nuvarande verkstadslokal, se *Figur 7*. Jorddjupet i källområdet är ca 3 meter. Höga halter av TCE (som högst ca 30 mg/l, vilket motsvarar ca 2 % av maximal löslighet) har påvisats i grundvattnet, vilket indikerar att en vätska med klorerade lösningsmedel har spillts/läckt till marken. Olika nedbrytningsprodukter till TCE, så som cis-1,2-dikloreten m fl, finns endast i spårhalter i källområdet och förutsättningarna för en naturlig nedbrytning bedöms därför vara dåliga.



Figur 6. Grundvattnet har en sydostlig riktning och området avvattnas mot Ekebäcken (figur från Förstudien). Påvisat källområde med trikloretylen schematiskt markerat med rött.

- Vid provgröpsgrävning i källområdet utanför verkstadsbyggnaden noterades höga halter TCE i jordprover från gropen (som högst 7 mg/kg TS), halterna är dock lägre än vad som förväntats om det finns en egen vätskefas av klorerade lösningsmedel kvar i marken. Sannolikheten att det skulle finnas kvar en egen vätskefas i den finkorniga moränen bedöms således vara liten. Mängden klorerade lösningsmedel i marken inom källområdet bedöms därför vara begränsad och ligga kring nivån 10 kg.



Figur 7. Maximal utbredning av det källområde där spill/läckage av klorerade lösningsmedel till marken har påvisats. Källområdet bedöms vara mindre än 100 kvm.

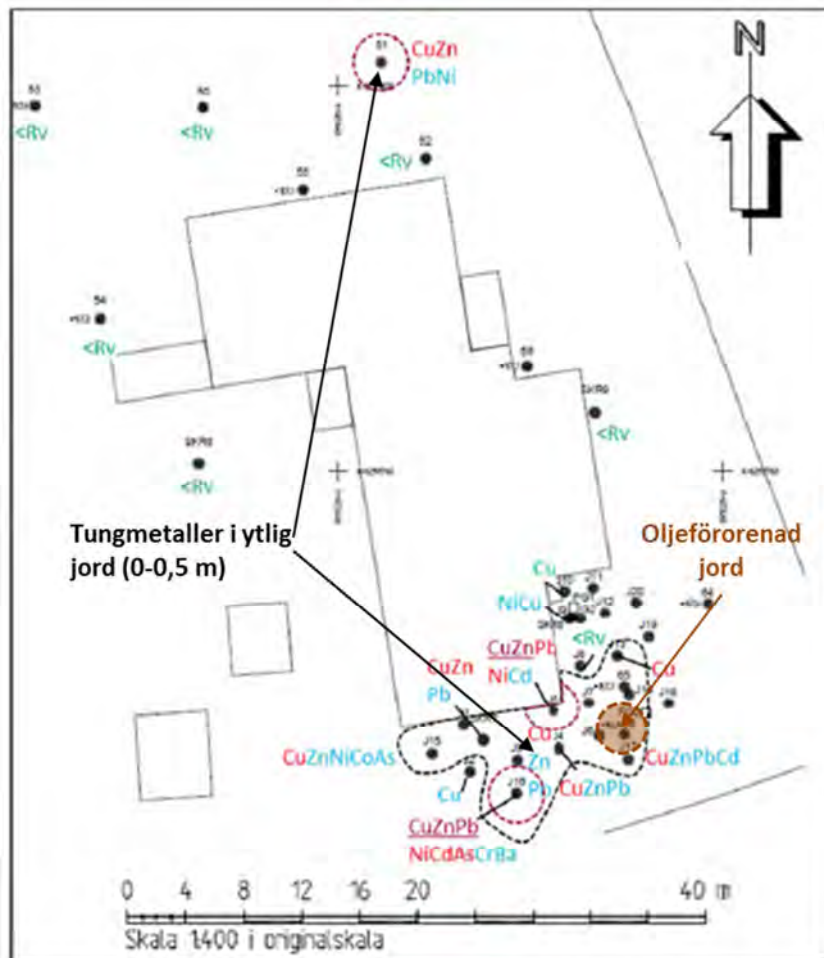
- Berggrunden under källområdet är förorenat med klorerade lösningsmedel, framförallt TCE men även här finns spår av olika nedbrytningsprodukter. Berget är uppsprucket i de översta 5 meterna (ner till ca 8 m under markytan). Halten TCE i grundvattnet i den översta kraftigt uppspruckna delen av berget är ca 20 mg/l. Det finns även en sprickzon på större djup, ca 12 m, under källområdet. Även grundvattnet i den djupare sprickzonen under källområdet är förorenat, men halterna TCE är här lägre, ca 1-2 mg/l. Sannolikheten att det skulle finnas större mängder klorerade lösningsmedel i egen fas i berget bedöms vara liten och föroreningen bedöms huvudsakligen finnas löst i berggrundvattnet.
- Spår av klorerade lösningsmedel påträffats generellt i marken runt om inom fastigheten. I några punkter, väster om byggnaden, domineras föroreningen av 1,1,1-TCA (TCA), vilket är en annan typ av klorerade lösningsmedel än TCE. Några fler källområden med större spill/läckage av klorerade lösningsmedel har inte påträffats. Nedan i *Figur 8* redovisas de platser där halter över 0,1 mg/l (100 µg/l) har påvisats i grundvattnet. Områden där TCA dominerar redovisas med gult och områden där TCE dominerar med rött. I den del där jorddjupet är som störst (ca 6 m) finns både TCE och TCA (se brun markering), men framförallt olika nedbrytningsprodukter. De förhöjda halterna av TCE i söder, på andra sidan gatan, kan bero på spridning av förorenat grundvatten i bergsprickor och sedan vidare ut till jorden här (se rödstreckad pil). Orsaken till de förhöjda halterna av olika nedbrytningsprodukter i den djupa delen (brun markering) är osäker. En spridning mot

den huvudsakliga grundvattenriktningen kan finnas lokalt inom fastigheten t ex under perioder med låga grundvattennivåer, men det kan även orsakats av äldre mindre läckage/spill.



Figur 8. Källområde med TCE (rött) samt delar där förhöjda halter (>0,1 mg/l) av TCE påträffats (ljusrött). 1,1,1-TCA har påträffats i halter över 0,1 mg/l i främst västra delen, se gul markering. I den förmodat djupaste delen av fastigheten (6 m) finns en blandning av TCE och 1,1,1-TCA, men framförallt olika nedbrytningsprodukter. Djup till berg är angett i meter.

- Övriga föroreningar som påträffats är en mindre oljeskada begränsad till ett litet område söder om byggnaden. Oljan finns mellan 0,7 till 1,2 m under markytan och volymen oljeförorenad jord skattas till ca 10 m³. De ytliga jordlagren (0-0,5 m) i söder om byggnaden är även förorenade med olika metaller så som bly, koppar och zink. Området som är förorenat med tungmetaller är ca 200 m² stort, se även 9nedan. Metallhalterna är i några punkter mycket höga, men någon spridning av tungmetaller eller olja med grundvattnet har inte påvisats. Denna typ av föroreningar är inte heller särskilt spridningsbenägen.



Figur 9. Tungmetaller i yttlig jord samt ett mindre område där oljeskadad jord påträffats. Området med tungmetaller är knappt 200 kvm stort.

4.3 Spridning till närliggande fastigheter

Klorerade lösningsmedel är långlivade i mark och kan spridas långa sträckor med grundvatten i jord och berg. Spridning av olja eller tungmetaller har inte påvisats.

Provtagningar avseende klorerade lösningsmedel har utförts på ett stort antal trädvedsprover för att påvisa en ev. yttlig förorening (i grundvatten, kapillärvatten alternativt ångplym) utanför fastigheten, dock utan att påvisa någon betydande spridning. Mycket låga halter av tetrakloreten (PCE) och triklormetan(klororform) har påträffats i några träd och även ett äpple under förstudien, men halterna är mycket låga och indikerar ingen betydande spridning. Spår av PCE förekommer i marken inom f.d Malmen, men i halter som är ofta flera tiopotenser lägre än exempelvis TCE. Triklormetan bildas naturligt i marken. I samband med huvudstudien provtogs ytterligare träd, dock utan att påvisa andra ämnen än triklormetan.

Ett stort antal grundvattenrör i jord har installerats och provtagits. Uppmätta halter strax nedströms källområdet och i utkanten av fastigheten är mycket låga (under detektionsgräns eller enstaka mikrogram/l). Undantaget är grundvattenrör (Skr 10) som är placerat söder om Malmen, på andra sidan vägen, där halten TCE är ca 0,5 mg/l. Berget är ytligt längs vägen och jordlagren torra, men bergdjupet sjunker sedan söderut. Uppmätta i jordgrundvattnet i Skr 10 indikerar en spridning av förorenat berggrundvatten från källområdet (halt TCE ca 20 mg/l) och vidare ut till jorden, se även *Figur 8* ovan.

Vid provtagning av ytvattnet i Ekebäcken har endast spår av TCE (0,5 µg/l) påvisats, vilket bekräftar att det inte sker någon större spridning av ytligt grundvatten till omgivningen. Provtagning har även skett i dag- och spillvatten utan att påvisa aktuella klorerade lösningsmedel (spår av triklormetan finns, dessa bildas dock naturligt och vid klorering av vatten).

Porgasmätningar under bottenplattan samt analys av inomhusluft har gjorts för de bostäder som ligger närmast (Ekebäcken 2 och Backstugan 1), strax söder om Malmen, utan att några klorerade lösningsmedel påträffats.

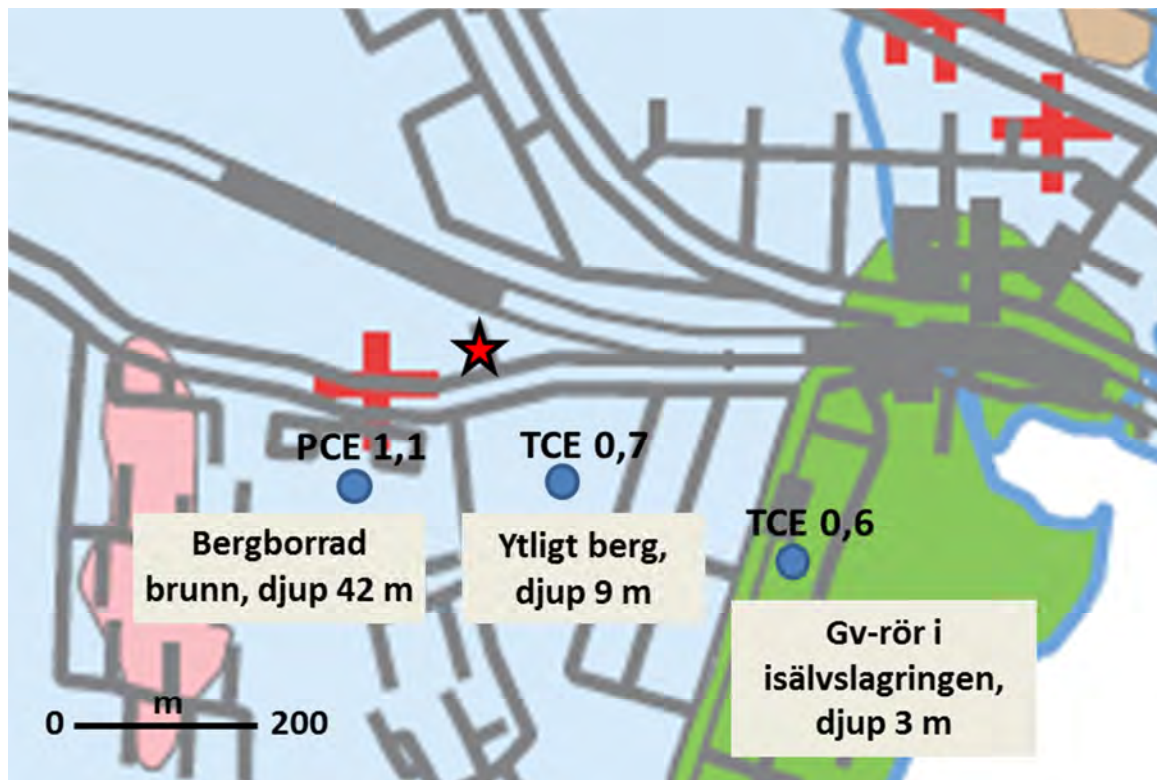
Sammantaget bedöms ingen betydande spridning ske i ytliga jordlager utanför fastigheten, däremot är det troligt att det sker en spridning av förorenat berggrundvatten, se nedan.

4.4 Spridning i berggrunden

Berggrunden under källområdet är förorenat med klorerade lösningsmedel, framförallt TCE och olika nedbrytningsprodukter. Berget är uppsprucket i de översta 5 meterna (ner till ca 8 m under markytan) och det finns även sprickor på större djup. Halten TCE i grundvattnet i den översta kraftigt uppspruckna delen av berget är ca 20 mg/l.

Spår av klorerade lösningsmedel har påträffats i berg och en isälvsavlagring utanför källområdet. I en bergborrad brunn har PCE påträffats, vilket inte är den dominerade föroreningen inom fd Malmen. I övriga två brunnar har spår av TCE påträffats. De provtagna brunnarna ligger på ett stort avstånd från Malmen (200 respektive drygt 400 m), se *10*.

Sammantaget har det konstaterats att det finns en tydlig spridning till berg inom fd Malmen och att det inte går att utesluta att de spår av klorerade lösningsmedel (TCE) som påträffats i omgivningen härrör från föroreningsskadan inom källområdet. Det finns ett stort antal bergborrade energibrunnar i närområdet, se även *Figur 3*.



Figur 10. Uppmätta halter ($\mu\text{g/l}$) i brunnar i omgivningen. Fd Malmen är markerad med en röd stjärna. Riktvärdet för dricksvatten är $10 \mu\text{g/l}$ avseende summan av TCE och PCE.

5 Riskbedömning

5.1 Skyddsobjekt

De skyddsobjekt som beaktas i den fördjupade riskbedömningen är:

- Barn och vuxna som vistas, arbetar eller periodvis besöker fastigheten och byggnaderna ovan föroreningen. Fastigheten är omgiven av bostadshus och både barn och vuxna antas vistas då och då inom området. Bostäder eller annan heltidsvistelse inom fastigheten är dock ej aktuellt.
- Personer som utför markarbeten inom fastigheten kan exponeras för föroreningar och beaktas i riskbedömningen.
- Grundvattnet i jord och berg bedöms vara skyddsvärt. Isälvsavlagringen i öster kan geologiskt ha förutsättningar för utvinning av vatten och det finns minst en djupborrad dricks- eller bevattningsbrunn i närområdet. Det finns även ett stort antal energibrunnar i närområdet vilket innebär att uttag och borrningar sker i både jord och berg. Spridning med grundvattnet beaktas därför i riskbedömningen.

- Ytvattnet inom och nära fastigheten är skyddsvärt. Ytvatten från fastigheten avvattnas genom Ekebäcken vidare ut till sjön Rotten som både har höga naturvärden och är en ytvattentäkt. Fd Malmen är belägen inom vattenskyddsområdet för sjön Rotten.
- Det markekologiska systemet inom fastigheten bedöms ha ett begränsat skyddsvärde, men beaktas översiktligt i riskbedömningen.

5.2 Dimensionerande föroreningar och egenskaper

De klorerade lösningsmedel som är dimensionerande för riskbedömningen är trikloreten (TCE) med nedbrytningsprodukterna cis-1,2-dikloreten (cis-DCE) och vinylklorid (VC) samt tetrakloreten 1,1,1-TCA med dess nedbrytningsprodukter 1,1-dikloreten (1,1-DCA) och vinylklorid. Lokalt kan även tungmetaller (bly, koppar och zink) samt olja innebära risker för markekosystemet och människor vid direktkontakt med förorenad jord.

Det pågår ständigt forskning om aktuella klorerade lösningsmedels giftighet och publicerade humantoxikologiska lågriskvärden förändras regelbundet. Det saknas även svenska riktvärden för flertalet ämnen varför internationella data används för dessa.

I *Tabell 1* nedan redovisas de dimensionerande föroreningarnas toxiska egenskaper i form av humantoxikologiska lågriskvärden vid långtidsexponering via inandning av ångor (RfC kronisk, >1 år exponering) utan hänsyn till cancerrisk, lågriskvärden för cancerframkallande ämnen (livstids exponering, 1 cancerfall på 100 000 exponerade) samt även lågriskvärden vid kortvarig exponering (MRL akut 1 – 14 dgr). Lågriskvärdena är i första hand hämtade från Naturvårdsverkets vägledning för riskbedömning och i andra hand från WHO, RAIS (<http://rais.ornl.gov/>) och IRIS (<http://www.epa.gov/IRIS/>).

Redovisade lågriskvärden, förutom de som redovisas för cancerrisken, skall betraktas som ofarliga halter, d v s om den mest känsliga individen exponeras för lågriskvärdet är det mycket osannolikt att negativa effekter uppträder. Cancerlångtidsvärdena skall tolkas som att om 100 000 individer exponeras för lågriskvärdet under hela livslängden drabbas teoretiskt en individ för cancer. Försumbar ökad sannolikhet för cancer antas således vara 10^{-5} . Uppgifterna om luktröskelkoncentrationer är osäkra och hämtade från USEPA.

Tabell 1 Humantoxikologiska lågriskvärden för luft vid akut, kronisk och livslång exponering via inandning av ånga för dimensionerande föroreningar (i mg/m³).

Ämne	RfC kronisk >1 år	RfC Cancer Livstid	MRL Akut 1 – 14 dgr	Luktröskel
1,1,1-TCA	0,8	-	1	5
1,1-DCA	0,5	0,006	-	-
TCE	0,002	0,023	11	140
c-DCE (1)	0,06	-	0,8	15 - 450
VC	0,1	0,0023	1,3	-

För riskbedömning av dricksvatten används Livsmedelsverkets gränsvärden avseende TCE och PCE (summa 10 µg/l) samt för VC 0,5 µg/l, vilket motsvarar lågriskvärdena. För 1,1,1-TCA, 1,1-

DCA och cis-DCE saknas svenska riktvärden och riktvärden för dricksvatten har hämtats från US-EPA (National Primary Drinking Water Regulations).

Skydd av grundvatten respektive skydd av ytvatten har hämtats från Naturvårdsverkets beräkningsmodell för TCE och 1,1,1-TCA. Naturvårdsverkets haltkriterier för grundvatten i modellen är satta för att skydda människor som konsumerar dricksvatten från hälsoeffekter. Haltkriterierna motsvarar halva dricksvattennormen. Haltkriterierna för ytvatten är satta så att negativa effekter på växt- och djurliv undviks. För de klorerade ämnen där haltkriterier saknas i modellen har haltkriterier bedömts ha liknande toxiska egenskaper.

Tabell 2. Hälsoriskbaserade riktvärden för dricksvatten samt haltkriterier för skydd av grundvatten respektive skydd av ytvatten ($\mu\text{g/l}$).

Ämne	Dricksvatten	Skydd av grundvatten	Skydd av ytvatten
TCE	10 (SLV) <i>gäller för $\sum PCE+TCE$</i>	5 (NV)	5 (NV)
1,1,1-TCA	200 (US)	1000 (NV)	5 (NV)
1,1-DCA	7 (US)	5*	5*
c-DCE	70 (US)	35*	5*
VC	0,5 (SLV)	0,25*	5*

SLV: Svenska Livsmedelsverket, US: US-EPA, National Primary Drinking Water Regulations: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/upload/mcl-2.pdf>, NV: Naturvårdsverkets beräkningsmodell för riktvärden. * Bedömt haltkriterium för skydd av grund- respektive ytvatten.

De tungmetaller och olja som påvisats i jorden bedöms inte vara styrande för riskbedömning och åtgärder. Hälsorisker kan uppkomma vid direktkontakt med den förorenade jorden och negativa effekter kan teoretiskt finnas för det markökologiska systemet. Naturvårdsverket generella riktvärden för mindre känslig markanvändning bedöms vara tillämpliga för jorden.

5.3 Exponeringsanalys

Med underlag av de undersökningar som genomförts görs följande analys beträffande exponeringsförhållanden för mark- och grundvattenföroreningar i nuläget:

- Människor som vistas i byggnader ovan mark förorenad med klorerade lösningsmedel kan teoretiskt exponeras via inomhusluften för klorerade lösningsmedel. Spår av TCE påvisats i porgas under samt i inomhusluften i verkstaden, men halten i verkstaden ($0,0007 \text{ mg/m}^3$) är långt lägre än lågriskvärdena även för heltidsvistelse och livstids exponering ($0,002$ respektive $0,023 \text{ mg/m}^3$). I närliggande bostäder har inga klorerade lösningsmedel detekterats i var sig under husen eller i inomhusluften. För nuvarande förhållanden bedöms därför inte inandning av ångor innebära några hälsorisker för personal i verkstaden eller närboende. Moränen verkar även vara förhållandevis tät vad gäller transport av ångor, på sikt kan dock förutsättningarna försämrats för verkstaden

ovan källområdet (t ex genom sprickbildning i bottenplattan), rivning och nybyggnation osv. varför exponeringsvägen inandning av ångor har beaktats för framtida förhållanden.

- Intag av dricksvatten inom industrifastigheten sker genom en vattenservis som går nära källområdet. I förstudien har, något förvånande, spår av PCE påträffats i dricksvattnet. Spår av PCE förekommer visserligen i mark inom fd Malmen, men halterna är mycket lägre än TCE-halterna. I det fall det sker ett inläckage av klorerade lösningsmedel till dricksvattenledningen skulle därför även TCE noteras. Markföroreningarna inom fd Malmen bedöms inte vara orsaken till de detekterade halterna i vattnet. Uppmätt halt PCE (0,2 µg/l) är långt under dricksvattenkriteriet (10 µg/l för summa PCE och TCE).
- Vid eventuella markarbeten inom källområdet kommer oskyddad personal att exponeras för ångor som avgår från mark förorenad med klorerade lösningsmedel samt genom direktkontakt med förorenad jord. En kvantifiering av dessa risker har utförts. Människor kan även exponeras för skadliga tungmetaller, främst genom oralt intag av förorenad jord och/eller partiklar.
- Förhöjda halter av PCE och triklormetan har påvisats i ett äpple inom grannfastigheten, Halterna är dock mycket låga och källan till föreningarna bedöms inte vara markföroreningarna inom fd Malmen. Inom f.d Malmen sker ingen odling eller liknande varför denna exponeringsväg ej bedöms vara aktuell idag eller i framtiden.
- Påvisade halter i grundvattnet i framförallt berg inom källområde innebär en potentiell spridningsrisk till omgivningen. Spridning av förorenat berggrundvatten har påvisats söderut. Det finns även ett stort antal energibrunnar i omgivningen och borrhningar samt uttag av berggrundvatten förväntas ske, varför spridning till och med berggrundvatten är en relevant spridningsväg.
- I Ekebäcken har spårhalter (0,5 µg/l TCE) påvisats nedströms f.d. Malmen. Halten är dock så låg att någon betydande spridning till Rotten inte förväntas. Spridning till ytvatten har därför inte kvantifierats ytterligare.

5.4 Hälsorisker vid nuvarande förhållanden

Klorerade lösningsmedel finns på flera ställen inom fd Malmen, men endast ett egentligt källområde har påvisats. Källområde (ca 100 kvm stort) är sannolikt orsakat av spill/läckage av i samband med avfettning med klorerade lösningsmedel. Källområdet bedöms delvis finnas under befintlig verkstadsbyggnad. Halterna lösningsmedel ökar mot djupet och högst halter verkar finnas på mellan 2 till 4 meters djup, ner till berggrunden. Berget är uppsprucket i ytan och grundvatten i sprickorna är kraftigt förorenat ner till ca 8 meter under markytan. Mängden klorerade lösningsmedel bedöms vara begränsad och troligen ligga kring nivån 10 kg.

Den exponering som kan utgöra hälsorisker för nuvarande förhållanden är om det sker markarbeten, borrhningar eller andra arbeten i den förorenade marken. Någon betydande exponering via inandning av ångor, intag av dricksvatten, intag av grödor eller andra exponeringsvägar har inte påvisats inom vare sig verkstadsbyggnaden eller omkringliggande bostäder.

Vid markarbeten i det förorenade området kommer oskyddad personal att exponeras för klorerade lösningsmedel som avdunstar från förorenad jord och förorenat grundvatten. Förekomsten av tungmetaller (bly, koppar och zink) samt oljekolväten i marken bedöms utgöra betydlig mindre risker jämfört med de klorerade lösningsmedlen och har därför ej kvantifierats vidare.

Det är svårt att exakt kvantifiera exponeringen då denna beror på var markarbetena sker, hur djupt man gräver, hur länge schakten står öppna samt inte minst väderförhållanden och luftomsättning i schakten. För att grovt illustrera riskerna redovisas nedan ett realistiskt exempel där ett schaktarbete sker inom källområdet med höga halter av TCE i grundvattnet. Halterna i luften beräknas genom att anta en utspädning på mellan 10 och 100 gånger i den luft som inandas i schakten. Beräknade halter jämförs dels med lågrisknivåer för akut exponering (1-14 dagar), dels med Arbetsmiljöverkets nivågräns- (8 h) och korttidsvärden (15 min).

Tabell 3. Representativa halter av TCE i grundvatten inom källområdet, samt beräknade halter för inandningsluft i schakter vid markarbeten.

Ämne	Henrys konstant (-)	Halt i GV (mg/l)	Luft _{GV} (mg/m ³)	Luft i schakt (mg/m ³)	MRL (mg/m ³)	Nivågränsvärde 8 h	Korttidsvärde 15 min
			H*GV	Luft _{GV} /10-100			
TCE	0,4	30	12 000	120-1200	11	50	140

Av tabellen framgår att beräknade halter i luften vid ev. schaktarbeten inom källområdet vida överstiger akuta lågrisknivåer och korttidsriktvärden. Akuta hälsoeffekter kan således uppkomma vid markarbeten inom källområdet om inga skyddsåtgärder vidtas. Hälsoriskerna kan elimineras genom att använda andningsskydd (kolfilter). Hälsorisker uppkommer dock redan vid de nivåer då ingen lukt finns och i de fall när det luktar klorerade lösningsmedel i en schakt är halterna så höga att det finns stor risk för akuta effekter. .

Sammanfattningsvis konstateras att det i nuläget inte bedöms finnas några hälsorisker för personal inom Malmen-fastigheten eller närboende i grannfastigheterna vad gäller t ex inandning av ångor, intag av dricksvatten eller intag av grödor, men att akuta hälsorisker kan uppkomma vid markarbeten inom källområdet.

5.5 Framtida hälsorisker

I ett längre tidsperspektiv ökar sannolikheten för exponering och därmed även hälsoriskerna. Då föroreningskällan med klorerade lösningsmedel bedöms finnas kvar under mycket lång tid bedöms därför sannolikheten för negativa hälsoeffekter att öka över tiden. Mängden lösningsmedel i marken bedöms dock vara så pass liten (ca 10 kg i källområdet) att även om förutsättningarna för en naturlig nedbrytning är dåliga, så bedöms halterna minska långsamt i mätbar omfattning på några 10-tals år.

De byggnadskonstruktioner och grunder som idag inte släpper igenom några större mängder av föroreningar i gasform förväntas på längre sikt att försämrans genom t ex sprickbildning, försämrade ventilation mm, vilket kan öka exponeringen.

En skattning av vilka inomhushalter av TCE som teoretiskt kan uppkomma vid t ex en nybyggnation inom fd Malmen eller om nuvarande grundkonstruktion på sikt försämras har utförts, se *Tabell 3* nedan. I beräkningen används uppmätta halter TCE i grundvatten, uppmätta halter i porgas samt en utspädningsfaktor mellan porgas och inomhusluft. Naturvårdsverket antar en utspädningsfaktor på ca 10 000 ggr, internationellt är det dock vanligt att anta en lägre faktor, ca 1000 ggr. Vid jämförelse med lågriskvärdena har hänsyn tagits till att vistelsetiden endast är under arbetstid (RfC-värdet kan multipliceras med 5).

Tabell 4. Beräknade halter i inomhusluft i en tänkt byggnad på källområdet.

Ämne	Henrys konst. (-)	Halt i GV (mg/l)	Luft i porgas ovan GV (mg/m ³)	Luft i industrilokal (mg/m ³)	Kroniska effekter RfC*5 (mg/m ³)	Cancerogena effekter RfC*5 (mg/m ³)
			H*GV	Luft _{GV} /1000-10 000		
TCE, grundvatten	0,4	30	12 000	1,2-12	0,01	0,115
TCE, uppmätt halt i porgas	Baseras på fältmätning HDIq		60-120	0,006-0,12		

Av beräkningen framgår att eventuella nybyggnationer måste uppföras med hänsyn till att det finns föroreningar inom ett begränsat källområde som i gasform kan tränga in i byggnaderna. Om nuvarande grundkonstruktion försämras genom sprickbildning mm, kommer även en större gasinträngning att ske, vilket framöver kan ge en oacceptabel exponering för framförallt TCE.

På sikt kan även borrningar och uttag av grundvatten i berget leda till en snabb och omfattande förorenings spridning åt det håll uttaget sker, med ökade hälsorisker som följd. Detta kan förändra riskbilden och öka sannolikheten för exponering via dricksvatten, inläckage av ångor från förorenat berggrundvatten till byggnader som grundlagda på berg och annan exponering vid exempelvis uttag av grundvatten. Sammantaget bedöms hälsoriskerna i framtiden öka så länge föroreningen finns kvar i marken.

5.6 Spridningsrisker och föroreningar i berggrunden

Spridning av klorerade lösningsmedel har konstaterats ner till berget inom källområdet. Här överskrider halterna i grundvattnet kraftigt de haltkriterier för skydd av grundvatten som Naturvårdsverket angivit samt även gräns- och riktvärden för exempelvis dricksvatten, se *Tabell 5 nedan*.

Tabell 5. Uppmätta halter av klorerade lösningsmedel ($\mu\text{g/l}$) i berggrunden under källområdet.

Ämne	Halt i berg 8 m u my	Halt i berg 13 m u my	Dricksvatten	Skydd av grundvatten
TCE	17 200	1 740	10	5
1,1,1-TCA	252	23	200	1000
c-DCE	281	56	70	35
VC	130	<0,1	0,5	0,5

Utanför källområdet finns indikationer på att förorenat berggrundvatten från Malmen sprider sig till omgivningen. Denna spridning kommer att fortgå under mycket långt tid så länge det finns en källterm med klorerade lösningsmedel kvar i jord och berg.

5.7 Markmiljö

Uppmätta halter av olika tungmetaller i den ytliga fyllningen överskrider Naturvårdsverkets riktvärden för MKM vad gäller skydd av det markökologiska systemet. Skyddsvärdet hos fyllnadsmassorna bedöms dock vara begränsat. I övriga delar, t ex i källområdet med klorerade lösningsmedel är det framförallt hälsorisker och spridningen som bedöms vara styrande för risker och behov av riskreduktion.

6 Samlad riskbedömning och behov av riskreduktion

Utifrån den kunskap som finns om föroreningssituationen görs följande samlade riskbedömning med tillhörande bedömning av behovet av riskreduktion:

- Nuvarande hälsorisker bedöms främst uppkomma vid markarbeten inom källområdet med klorerade lösningsmedel. I övrigt har ingen skadlig exponering påvisats inom fd Malmen eller inom närliggande bostäder.
- På längre sikt bedöms hälsoriskerna och sannolikheten för skadlig exponering att öka så länge källan finns kvar. Borrningar, installationer av bergborrade brunnar (främst energibrunnar), nybyggnationer utan skydd för gasinträngning, sprickbildning i befintliga grunder, förändringar av ventilationssystem mm. kan komma att orsaka en ökad exponering.

- Spridning har skett och sker till berggrunden och det finns indikationer på en vidsträckt föroreningsplym i berggrunden samt den mark som står i kontakt med de vattenförande sprickorna.

För att säkerställa att ingen ytterligare spridning sker samt för att minska sannolikheten för exponering av skadliga halter av klorerade lösningsmedel idag och i framtiden krävs åtgärder av källområdet i jord och berg.

7 Förslag till övergripande åtgärds mål

Idag finns relativt nya (utvecklade i framförallt USA under senaste 5 åren) och tillgängliga tekniker som har möjligheter att åtgärda denna typ av föroreningar i jord och berg. Det bedöms därför vara rimligt att ha en hög ambitionsnivå för denna typ av föroreningsskador som annars kommer att finnas kvar under mycket lång tid. Följande övergripande åtgärds mål föreslås:

1. **Personer som vistas inom Ekebacken 3 eller i närområdet skall inte utsättas för skadlig exponering från klorerade lösningsmedel.**
2. **Ekebacken 3 skall kunna användas till ändamål motsvarande mindre känslig markanvändning.**
3. **Spridning av klorerade lösningsmedel till jord och berg i omgivningen skall på sikt upphöra.**

8 Åtgärdsutredning

8.1 Allmänt

De efterbehandlingsåtgärder som utreds bedöms ha möjlighet att uppfylla Naturvårdsverkets krav på åtgärder som utförs med statliga bidrag. Detta innebär bland annat att åtgärden skall vara permanent och av engångskaraktär, att åtgärden skall reducera riskerna i tillräcklig omfattning, att åtgärden skall vara kostnadseffektiv, att bästa tillgängliga teknik (BAT) skall användas och att behovet av framtida kontroller/restriktioner skall minimeras.

8.2 Åtgärder i yttlig jord förorenad med metaller/olja

Yttlig förorenad jord med tungmetaller/olja åtgärdas lämpligen genom urschaktning av den förorenade jorden. Den totala volymen metall- och oljeförorenad jord bedöms vara liten, ca 100-150 kbm, motsvarande 200-300 ton jord.

8.3 Åtgärder i områden förorenade med klorerade lösningsmedel

Saneringsåtgärder i områden som är förorenade med klorerade lösningsmedel är, oavsett vilken åtgärds teknik som används, en utmaning som kräver noggrann kartläggning av föroreningssituationen och förståelse för hur föroreningarna uppträder i mark, grundvatten och

berg. I de fall där åtgärderna ”misslyckats” är de vanligaste orsakerna att man underskattat källområdets utbredning, inte förstått hur föroreningarna sprids alternativt använt fel åtgärdsteknik som inte passar de aktuella geologiska förhållanden.



Figur 11. Finkornig siltig morän från fd Malmen.

Klorerade lösningsmedel är såsom DNAPL, tunga vätskor med hög flyktighet, låg vattenlöslighet och hög motståndskraft mot naturlig nedbrytning. Senare års erfarenheter visar även att en förorening som funnits länge i marken genom diffusion tränger in i finkorniga material i marken, så som den finkorniga siltiga sandiga moränen som finns i området, se *Figur 11* till vänster. Förmodligen sker även en viss diffusion till kristallint berg, men denna är avsevärt mindre.

Diffusionsprocessen innebär att föroreningsmolekylerna går från ett förorenat grundvatten med hög koncentration till ett grundvatten med låg koncentration. Åtgärder som siktar mot att minska föroreningshalten i grundvattnet, exempelvis pumpning, ger ofta en snabb koncentrationsminskning, men efter en tid (månader – år) kommer dock halterna att öka i grundvattnet igen (såsom ”Rebound”).

Vattenlösligheten för klorerade lösningsmedel är låg och så länge det finns egen fas vätska (DNAPL), rester av egen fas vätska och/eller täta jordar dit lösta föroreningar diffunderat, så kommer injektionsmetoder som inriktas enbart mot vattenfasen ha små möjligheter att helt destruera föroreningen. Eventuella vätskor med klorerade lösningsmedel i bergsprickor är även mycket svåra att åtgärda med tekniker som bygger på att det skall bli kontakt mellan olika kemikalier/biologiska ämnen och föroreningen, då kontaktytan mot en vätska i en bergspricka är mycket liten. För att helt avlägsna klorerade lösningsmedel i bergsprickor krävs förmodligen fysisk avlägsnande, genom att värma upp bergmatrisen till temperaturer som förångar vatten och föroreningar i bergsprickorna (ca 100 grader) o.

För Malmen bedöms dock klorerade lösningsmedel huvudsakligen finnas som lösta föroreningar i grundvattnet i både jord och berg samt adsorberade till jordmatrisen (diffusion). Sannolikheten att det skall finnas större mängder fri fas vätska kvar i jorden eller att de runnit ner till underliggande berg bedöms vara liten. Den vätska som tidigare har funnits i marken bedöms idag ha diffunderat in i jordmatrisen.

8.4 Principiella överväganden för åtgärder inom fd. Malmen

Följande överväganden har gjorts:

- Det finns ett källområde med klorerade lösningsmedel men mängderna är ändliga vilket gör att spridningspotentialen minskar över tid, dock långsamt. Föroreningarna i källområdet bedöms finnas kvar under lång tid (över 50-100 år) om inga åtgärder vidtas. Den naturliga nedbrytningen i källområdet är mycket liten.
- Saneringsåtgärder bör inriktas mot identifierat källområde med klorerade lösningsmedel så att tiden för självrening kan kortas betydligt. Det finns klorerade lösningsmedel även inom andra delar av fastigheten, men halterna är så pass låga att de inte bedöms innebära någon spridningsrisk eller betydande hälsorisk. I samband med en källområdessanering kan dock även dessa åtgärdas då merkostnaden för t e x en *in-situ* injektering blir låg. Uppmätta halter av tungmetaller är höga, men dessa utgör inga större spridnings- eller hälsorisker vid nuvarande förhållanden.
- En saneringsåtgärd bör genomföras med det huvudsakliga syftet att på sikt minska den spridning som sker till berg samt den spridning som befaras ske med berggrundvattnet till omgivningen. Detta innebär att en aktiv sanering bör omfatta även det förorenade berget under källområdet. En yttlig jordssanering (schaktning) minskar förvisso sannolikheten för att skadliga ångor framöver kan tränga in i byggnaden och förenklar markarbeten, men kommer inte få någon större effekt för att minska spridning med berggrundvattnet.
- Behandling av förorenad jord i källområdet kan ske genom schakt, vilket kräver rivning alternativt grundförstärkning av delar av verkstadsbyggnaden, eller *in-situ* behandling utan föregående schaktning. En detaljerad kartläggning av föroreningarna under byggnaden bör genomföras i samband med projekteringen.
- Behandling av det förorenade berget under källområdet bedöms endast vara möjlig med någon form av *in-situ* sanering. Berget är uppsprucket och vattenförande. Åtgärder av föroreningar i berg är, utöver pumpning, fortfarande under utveckling och det finns få referensprojekt i världen. Det är därför svårt att förutse vad resultaten kan bli och vilka tekniska svårigheter en sanering kan innebära. Termiska metoder verkar vara lovande men är dyra och resurskrävande och kan bara motiveras vid stora skador/betydande risker.
- Med hänsyn till att det finns ett stort antal objekt i Sverige som är förorenade av klorerade lösningsmedel i berg bör det även finnas ett nationellt kunskapsintresse av att utveckla metoder för bergsanering.

8.5 Geologiska, hydrogeologiska och praktiska förutsättningar

Några av de förutsättningar som måste beaktas inför en eventuell åtgärd är:

- Källområdet är litet (<100 kvm), men finns troligen delvis under befintlig byggnad. Jorddjupet är ca 3 m. De översta jordlagren (ner till ca 1,5 m) består av en grövre grusig sandig morän med siltinslag som underlagras av en mer finkornig sandig siltig morän ner till berg. Grundvattenytan finns ca 1 meter under markytan. Block finns ställvis i området.
- Undersökningar inom fastigheten bedöms vara tillräckligt omfattande för att bedöma åtgärdsbehov och grov inriktning för eventuella åtgärder, tekniker och kostnader. Inför en eventuell åtgärd behöver dock åtgärdsförberedande undersökningar utföras under projekteringsfasen för att kartlägga föroreningsituation, geologi och hydrogeologi för att dimensionera åtgärden.
- Injektering är tekniskt svårt på grund av den hårda moränen och förekomsten av block mm. De flesta metoder bygger på sonderingstekniker som fungerar bäst i finkorniga sedimentjordar. På Malmen krävs mer kraftfulla borrhätningsmetoder. Exempel finns där man använder foderrörsborrning (ODEX) installation av långa filter för att sedan injektera lämplig produkt till omgivande jord/bergsprickor i avgränsade delar av filtret med muffar/packers.
- Ett förorenat grundvatten har konstaterats i berget men en egen fas förorening bedöms inte ha spridits ner till större djup i berget. Berget är uppsprucket och kraftigt förorenat ner till ca 8 meter under markytan. På 12 m djup finns en sprickzon som är förorenad, dock i betydligt lägre halter. Vid kalkyl av möjliga åtgärder har ett saneringsdjup på 15 m under markytan antagits. Möjliga metoder är pumpning/ behandling, injektering av vätskor som stimulerar nedbrytningen eller uppvärmning. Nuvarande naturlig nedbrytning i berget är begränsad och andelen nedbrytningsprodukter mycket liten. Pumpning kan dra till sig syrerikt grundvatten vilket är hämmande för stimulerad biologisk nedbrytning.
- Genomförandetiden för in-situ metoder som bygger på termisk uppvärmning är i storleksordningen några månader, medan genomförandetiden för in-situ metoder som baseras på nedbrytning av lösningsmedlen snarare handlar om ett antal år. Metoder som bygger på injektion av kraftiga oxidations- eller reduktionsmedel går avsevärt snabbare, men dessa har visat sig vara problematiska i spricksystem med exempelvis utfällningar i tunna sprickor och återdiffusionseffekter.

8.6 Kalkylantaganden

De kostnader som används för jämförelse av olika åtgärdsalternativ redovisas nedan. Kostnaderna är angivna som rimliga högsta kostnader för respektive moment.

Tabell 6. Antagande för kalkyleringen av sanering inom fd Malmen.

Moment	Kostnad, ca	Kommentar
Saneringsschakt källområde inklusive miljökontroll mm.	1 000 kr/kbm	Avser en saneringsschaktning med ett noggrant utförande för att kunna separera förorenad jord från ren jord. Alla arbeten så som schaktning, klassningsprovtagning och analys, mellanlagring, masshantering, återfyllning mm ingår.
Externt omhändertagande av förorenad jord	1000 kr/kbm (500 kr/ton)	Snittpris för externt omhändertagande av förorenad jord inklusive transport.
Termisk behandling källområde, in-situ	4000 kr/kbm	Pris för termisk behandling av mindre volymer inklusive energikostnader, installationer, vakuum-extraktion, skyddsåtgärder mm. Även tekniskspecifik detaljprojektering ingår i kostnaden. Kostnaden är hämtad från dansk entreprenör 2013 där denna anger ett kostnadsspann på mellan 2500 kr/kbm för större projekt och ca 4000 kr/kbm för mindre projekt.
Installation av brunnar i morän (ODEX) för injektering	15 000 kr/brunn	Foderrörsborrning ner till berg.
Installation av brunnar ner i berget för injektering	30 000 kr/bergbrunn	Ner till ca 15 m under markytan. Foderrör i jord för att möjliggöra upprepad injektering.
Injektering av lämplig produkt i berg och jord, främst biologiska metoder	100 000 kr/gång, medie	Inklusive materialkostnader, saneringsvätska. Injekteringen kan behöva upprepas 2-3 gånger.
Detaljprojektering: åtgärdsförberedande undersökningar	200 000 kr	Hydrogeologi, geologi. Behövs för de mer omfattande åtgärdsalternativen.
Detaljprojektering: upphandling	200 000 kr	Ungefär samma kostnad oavsett åtgärdsalternativ.
Anmälan, tillstånd	50 000 kr	Förutsätts kunna genomföras med en anmälan
Projektledning, byggledning	100 000 – 300 000 kr	Beror på omfattningen av saneringen.
Miljökontroll, omgivning	50 000 kr/år	Provtagning av grundvatten för att bedöma spridning och trender.

8.7 Utredda åtgärdsalternativ

Tre olika alternativ har utretts som samtliga fokuserar på åtgärder av källområdet (ca 100 kvm). **Alternativ 1** avser en urschaktning av källområdet i jord utanför och under befintlig byggnad ner till berget. Föroreningar i berget åtgärdas genom injektering.

Alternativ 2 avser en *in-situ* sanering i jord i källområdet, i övriga kraftigt förorenade jordlager samt berg under källområdet genom injektering av lämplig produkt.. **Alternativ 3** avser en

termisk *in-situ* sanering av källområdet i jord och berg med syfte att snabbt destruera föroreningen.

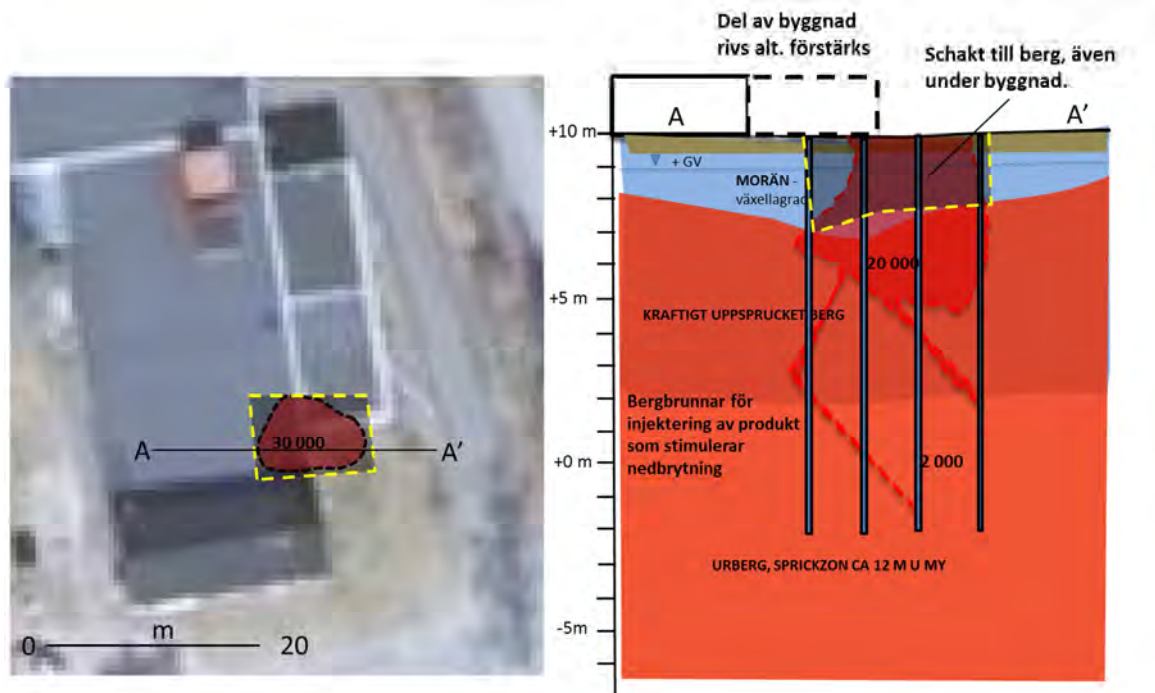
Åtgärdsalternativen avseende klorerade lösningsmedel kan kombineras med urschaktning av metall- och oljeförorenad jord. Kostnaden för denna åtgärd uppgår till ca 1000 kr/ton (schakt, transport, kvittblivning, enkel återställning) om den utförs i samband med övriga åtgärder. Då det totalt bedöms finnas mellan 200 och 300 ton förorenad jord skattas åtgärdskostnaden till ca 300 000 kr.

8.8 Alternativ 1 - Urschaktning av källområde och in-situ åtgärd i berg

Alternativet innebär att källområdet i jord åtgärdas genom att delar av byggnaden rivs, alternativt grundförstärks, och att förorenad jord schaktas ner till berg. Bergbrunnar installeras därefter för att möjliggöra injektering av produkter som stimulerar reduktiv deklorering och på sikt leder till minskad spridning med berggrundvattnet till omgivningen.

Åtgärden utförs enligt följande:

1. Delar av verkstadsbyggnaden rivs eller förstärks för att möjliggöra schaktning under byggnaden. Kostnaden för rivning och återställning, alternativt grundförstärkning, bedöms översiktligt till ca 500 tkr.
2. Befintliga ledningar m m under mark avvecklas eller flyttas temporärt.
3. Förorenad jord inom källområdet, ca 300 kbm (ca 100 kvm, ner till i snitt 3 m djup) schaktas ur etappvis. Omfattning styrs av kontrollant.
4. Schakt utförs med slänt och genererar ca 500 kbm massor.
5. Grundvattnet avsänks efterhand som schaktningen fortskrider nedåt. Förorenat grundvatten länsumpas kontinuerligt i schaktbotten. Grundvattnet renas på plats innan avledning till Ekebäcken.
6. Fyra bergbrunnar installeras för injektering av produkt som stimulerar naturlig nedbrytning samt 1-2 punkter i jord ner till 6 m. Injektering sker vid tre tillfällen.
7. I schaktbotten sker återfyllnad med finkorniga massor innehållande adsorbent (t ex aktivt kol, kolrik jord) upp till grundvattennivå och upp till 0,5 – 1 m under nuvarande markyta sker. Nya ytskikt påförs.
8. Vid behov fortsätter kontroll och/eller grundvattenvattenpumpning i berget.



Figur 12. Principskiss för Alternativ 1.

Kostnaden för Alternativ 1 uppgår till ca 3,5 Mkr och är sammanställd i Tabell 7 nedan.

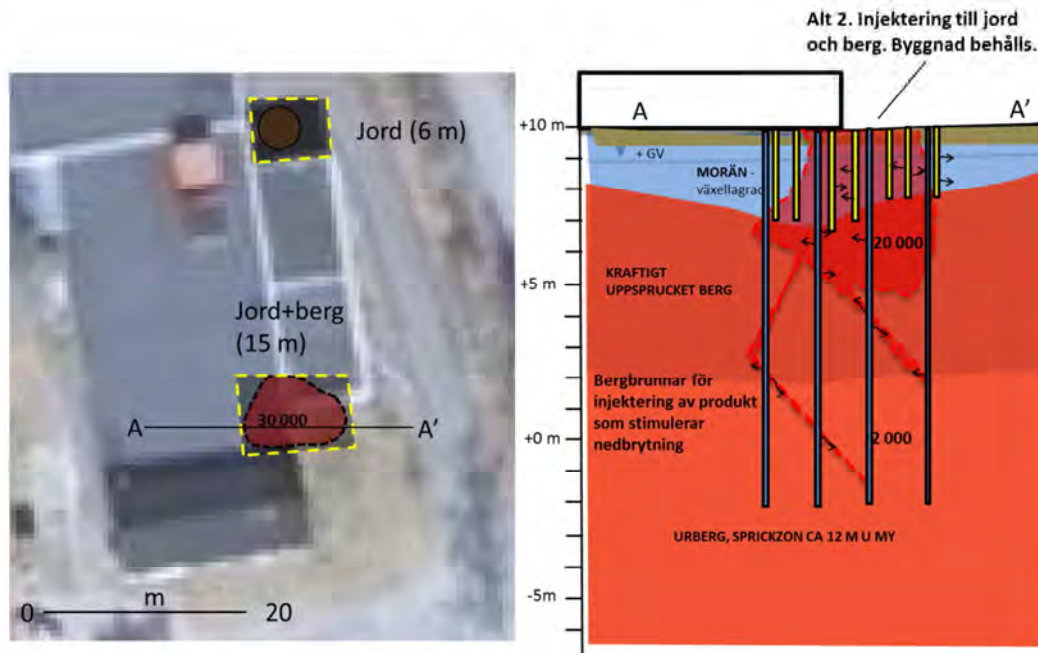
Tabell 7. Kostnadskalkyl Alternativ 1, urschaktning av källområde samt in-situ-åtgärd i berg

Moment	Kostnad (tkr)	Kommentar
Rivning, återställning alternativt grundförstärkning	500	I det fall återställning ej krävs blir kostnaden lägre.
Åtgärdsförberedande undersökningar	200	Geologiska, hydrogeologiska förhållanden i jord och berg.
Saneringsschakt, kontroll, återfyllning, återställning	500	500 kbm*1000 kr/kbm
Omhändertagande jord	500	1000 ton * 500 kr/ton
Grundvattenrening	100	Kolfilter, släpps till Ekebäcken.
Berg- och jordbrunnar	150	4 brunnar i berg, ev. 1-2 i jord.
Injektering i berg- och jordbrunnar	300	Utförs tre gånger
Projektering, anmälan	400	
Projektledning, byggledning	300	
Miljökontroll	150	
Övrigt, ca 15%	400	
Total kostnad	3 500	

8.9 Alternativ 2 - In-situ injektering i jord och berg

Alternativ 2 är en åtgärd som genomförs *in-situ* i jord och berg inom bedömt källområde med en produkt som stimulerar naturlig nedbrytning eller bryter ned klorerade lösningsmedel. Syftet är på sikt förhindra spridning av förorenat grundvatten från f.d Malmen, men någon fullständig destruering av förorening bedöms inte vara realistiskt att uppnå. I samband med en källområdessanering kan även den del där förorenat grundvatten påträffats på ca 6 m djup åtgärdas då merkostnaden för ytterligare injekteringspunkter inom samma entreprenad blir låg. Övriga kostnader för upphandling, projektledning osv. påverkas inte.

Under projekteringskedet bör lämplig produkt för injektering utredas närmare, men ur kalkylsynpunkt är det ingen större skillnad vilken produkt som slutligen injekteras. Moränen är tät och en injektering är svårare här jämfört med andra jordar (lera, silt, sand). Under projekteringen bör ett injekteringsförsök utföras för att säkerställa att det är praktiskt möjligt att injektera produkter med föreslagen ODEX-teknik.



Figur 13. Principskiss för Alternativ 2, injektering i jord och berg.

Kostnaden för alternativet uppgår tillca 2,5 Mkr och är sammanställd i *Tabell 8* nedan.

Tabell 8. Kostnadskalkyl avseende Alternativ 2, in-situ jord och berg.

Moment	Kostnad (tkr)	Kommentar
Rivning, återställning	0	Ingen kostnad, injektering görs genom bef. bottenplatta.
Åtgärdsförberedande undersökningar	200	Geologiska, hydrogeologiska förhållanden i jord och berg.
Saneringsschakt	0	
Omhändertagande jord	100	En mindre kostnad avsatt för omhändertagande av jord som uppkommer vid installationer.
Grundvattenrening	0	Inga utsläpp av grundvatten.
Jordbrunnar, ODEX	150	10 jordbrunnar inom källområdet samt de områden där förorenat grundvatten påträffats.
Bergbrunnar	150	4 bergbrunnar ner till ca 15 m inom källområdet.
Injektering i jord – och bergbrunnar	450	150 tkr/gång, utförs 3 gånger under en period av 1-3 år.
Projektering, anmälan	400	Upphandling, anmälan
Projektledning, byggledning	200	
Miljökontroll	500	Uppföljning behövs under lång tid, beräknat 10 år (50 000 kr/år)
Övrigt, ca 15%	300	
Total kostnad	2 450	

8.10 Alternativ 3 – Termisk behandling

Alternativ 3 är en in-situ sanering med syfte att destruera föroreningen genom termisk uppvärmning av jord och berg till ca 100 grader. Denna åtgärd bedöms endast vara kostnadseffektiv inom ett kraftigt förorenat område. För uppsamling av de ångor som bildas täcks marken med betong och ett undertryckssystem med sugning från installerade brunnar installeras. Byggnaden bedöms kunna vara kvar. Totalt åtgärdas ca 1 500 kbm jord och berg (100 kvm ner till ca 15 m). Entreprenadkostnaden är kalkylerad till ca 6 Mkr, dvs en kostnad per kubikmeter på ca 4000 kr. Erfarenheter från danska projekt ger att kostnaden per kubikmeter varierar mellan 2500 kr (större projekt) och upp till ca 4000 kr/kbm (mindre projekt). Det tillkommer kostnader för upphandling, anmälan, byggledning och miljökontroll, vilka är kalkylerade till 0,8 Mkr.

Det krävs ett elsystem (alternativt gas) med en kapacitet om ca 1500 kW för uppvärmningen. I liknande fall har energiåtgången varit ca 500 kWh/kbm uppvärmd jord och berg¹. Energiåtgången styrs till största delen av vilken kylande effekt ett förbipasserande grundvatten har i bergsprickorna.

¹ Use of Thermal Conduction Heating for the Remediation of DNAPL in Fractured Bedrock Heron et al, (TerraTherm), 2008.



Figur 14. Foto på en termisk sanering. Betongkappa och uppsamling av ångor. Till vänster foto från TerraTherm från ett projekt i USA och till höger ett foto från ett projekt i Danmark (foto Structor).

Kostnaderna för en termisk sanering av jord och berg inom bedömt källområde är kalkylerade till ca 3 Mkr, se *Tabell 9*, nedan.

Tabell 9. Kostnadskalkyl avseende Alternativ 3, in-situ jord och berg.

Moment	Kostnad (tkr)	Kommentar
Rivning, återställning	0	Ingen kostnad, uppvärmning görs genom bef. bottenplatta.
Åtgärdsförberedande undersökningar	200	Geologiska, hydrogeologiska förhållanden i jord och berg.
Termisk behandling, konduktiv uppvärmning	6 000	1500 kbm, kostnad ca 4 000 kr/kbm. I kostnaden ingår tekniskspecifikt projektering, etablering, brunnborrning, energikostnader (ca 500 kwh/kbm), system för uppsamling av gaser mm.
Projektering, anmälan	300	Upphandling, anmälan.
Projektledning, byggledning	200	
Miljökontroll	100	
Total kostnad	6 800	

8.11 Sammanfattning och utvärdering av åtgärdsalternativen

I *Tabell 10* nedan finns en sammanfattning av åtgärdsalternativen. Alternativen avseende klorerade lösningsmedel kan kombineras med en sanering av metallförorenad ytlig jord samt den mindre oljeskada som påträffats. Merkostnaden för denna åtgärd skattas till ca 300 000 kr, under förutsättning att den utförs i samband med övriga åtgärder.

Tabell 10 Sammanfattning av utredda åtgärdsalternativ.

	Alt. 1 Schakt och injektering <i>in-situ</i> i berg	Alt. 2 Injektering <i>in-situ</i> i jord och berg	Alt. 3 Termisk <i>in-situ</i>, i jord och berg
Beskrivning	Schaktsanering av jord i källområdet ner till berg, injektering i berg samt ev. en mindre injektering i jord.	Injektering i jord och berg inom källområde samt område med förorenat gy på stort djup. Byggnad behålls.	Termisk uppvärmning av jord och berg.
Förväntad effekt	Källområdet i jord schaktas. Spridning med berggrundvatten minskar väsentligt.	Minskade halter i källområdet i jord och berg. Spridning med berggrundvatten minskar väsentligt.	Spridning med berggrundvatten minskar väsentligt.
Kvarlämnade föroreningar	I berget kommer restföroreningar sannolikt att finnas kvar.	Restföroreningar kommer sannolikt att finnas kvar i jord och berg.	Mindre restföroreningar kan finnas kvar i jord och berg.
Genomförandetid, aktiv fas	Rivning, schakt, installation av brunnar ca 1-2 mån. Mätning och ev. återinjektering i berg under 1-3 år.	Installation av brunnar och första injektering, <1 mån. Mätning och ev. återinjektering 1-3 år.	Installation och utförande 1-3 mån.
Kostnadsuppskattning	Ca 3,5 Mkr	Ca 2,5 Mkr	Ca 7 Mkr

9 Slutsatser och rekommendationer

Geosigma och Structor Miljö Göteborg AB har på uppdrag av länsstyrelsens i Kronoberg genomfört en huvudstudie av f d AB Malmen på fastigheten Ekebacken 3 Hovmantorp i Lessebo kommun. På fastigheten har det tidigare bedrivits ytbehandlingsverksamhet med användning av trikloreten. Utifrån resultaten av de omfattande provtagningar som utförts på området kan det konstateras att det finns en litet källområde på fastigheten med höga halter av trikloreten i jord och berg. Källområdet uppskattas vara maximalt 100 m² och sträcka sig ca 3 m i jord och ytterligare ca 5 m ned i berget. Ett litet område finns även med tungmetaller i ytlig jord (ca 200 m² och ner till 0,5 m) samt en mindre oljeskada.

Mängden klorerade lösningsmedel bedöms vara begränsad och knappast överstiga 10 kg. För närvarande utgör föroreningen främst en risk vid markarbeten och en risk för spridning till omgivningen eftersom föroreningar kan transporteras snabbt med berggrundvatten vid vattenuttag.

Inom ramen för en åtgärdsutredning har olika åtgärdsalternativ utretts för att sanera föroreningen med urschaktning eller in-situ (biologiskt/kemiskt). Kostnaderna inklusive förberedelser beräknas till 2 – 4 miljoner kr. En termisk sanering av jord och berg uppgår till ca 7 Mkr. Med hänsyn till de ringa föroreningsmängderna och begränsade risker som föroreningen utgör rekommenderas att källområdet åtgärdas med en biologisk eller kemisk in-situ metod. Kostnaderna för en sådan uppskattas till ca 2,5 miljoner kr inklusive förberedelser. I det fall moränen visar sig vara för tät för att kunna utföra en bra injektering kan istället urschaktning av jorden i källområdet ske. Detta alternativ blir något dyrare, ca 3,5 Mkr.

Samtliga alternativ kan kombineras med en grävsanering av ytlig metallförorenad jord samt den mindre oljeskada som påträffats. Om denna åtgärd utförs i samband med åtgärder avseende klorerade lösningsmedel skattas merkostnaden till ca 300 000 kr.

Structor Miljö Göteborg AB
Göteborg 2014-02-07

Geosigma AB
Stockholm 2014-02-26