

Huvudstudie Tölö 11:2 m.fl. i Kungsbacka f.d. TÖLÖ FABRIKER

Fördjupad riskbedömning och åtgärdsutredning



För:
Sveriges Geologiska Undersökning

Version: Slutlig
Upprättad: 2017-04-19
Uppdrag: 1116-144

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	4
1 BAKGRUND OCH SYFTE	5
2 ARBETSMETODIK OCH UNDERLAG.....	6
3 ÖVERSIKTLIG BESKRIVNING AV DET TIDIGARE FABRIKSOMRÅDET	7
3.1 ALLMÄNT	7
3.2 HISTORIK.....	8
3.2.1 Tölö Fabriker 1920 - 1955	8
3.2.2 Auson, 1955 - 1985.....	9
3.2.3 Cisterner under mark.....	17
3.3 FÖRVÄNTAD FÖRORENINGSSITUATION.....	17
4 SAMMANFATTNING AV UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	19
4.1 RESULTATRAPPORTER OCH PM	19
4.2 GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN	19
4.3 FÖRORENINGSSITUATION INOM FABRIKSOMRÅDET.....	20
4.3.1 Mulljord i gräsytor	20
4.3.2 Förorenade ytliga fyllnadsmassor.....	21
4.3.3 Områden där spill/läckage av vätskor påträffats	25
4.4 YTTLIGT OCH DJUPT GRUNDVATTEN	29
4.5 ÖVRIGA PROVTAGNINGAR	31
4.5.1 Porluft under nuvarande byggnad.....	31
4.5.2 Inomhusluft.....	31
4.5.3 Dricksvatten.....	31
5 RISKBEDÖMNING.....	32
5.1 ALLMÄNT	32
5.2 SKYDDSOBJEKT	32
5.3 NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN	32
5.4 FRAMTIDA FÖRHÅLLANDEN.....	32
5.5 ÖVERGRIPANDE ÅTGÄRDSMÅL	33
5.6 DIMENSIONERANDE FÖRORENINGAR	33
5.7 TOXISKA EGENSKAPER.....	33
5.8 KONCEPTUELL MODELL	34
6 HÄLSORISKBEDÖMNING	36
6.1 HÄLSORISKER INOM DET TIDIGARE FABRIKSOMRÅDET	36
6.2 HÄLSORISKER I OMGIVNINGEN	38
7 MILJÖRISKBEDÖMNING.....	38
7.1 MARKMILJÖ	38
7.2 SPRIDNING.....	39
8 SAMLAD RISKBEDÖMNING OCH BEHOV AV RISKREDUKTION	40

9	FÖRSLAG TILL MÄTBARA ÅTGÄRDSMÅL	40
9.1	YTLIG JORD (< 1,5 M).....	40
9.2	LERA PÅ DJUP >1,5 M.....	41
10	ÅTGÄRDSUTREDNING	42
10.1	ALLMÄNT	42
10.2	UTREDDA MEN FÖRKASTADE ALTERNATIV	43
10.3	KALKYLER	43
10.4	PLATSSPECIFIKA FÖRUTSÄTTNINGAR	44
10.5	ÖVERSIKT POTENTIELLA ÅTGÄRDSMETODER	44
10.6	NOLL-ALTERNATIVET	46
10.7	ALTERNATIV 1: YTLIG SCHAKT Fyllnadsmassor, MAX 1,5 M	46
10.8	ALTERNATIV 2: ALTERNATIV 1 + SCHAKT DJUPA HOT SPOT NER TILL MAX + 5 M	47
10.9	ALTERNATIV 3A SCHAKT MAX + 2 M	49
10.10	ÅTGÄRDSALTERNATIV 3B IN-SITU, TERMISK	51
10.11	ÅTGÄRDSALTERNATIV 3C IN-SITU, INJEKTERING	52
10.12	ÅTGÄRDSALTERNATIV 3D IN-SITU, AVSKÄRMNING.....	54
11	UTVÄRDERING AV ÅTGÄRDSALTERNATIV - UNDERLAG TILL RISKVÄRDERING	55
12	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	56
	REFERENSER.....	58

Bilagor:

1:1	Exportprogram Auson, ca 1980
1:2	Kontrollintyg för cisterner, 1976
1:3	Uppgifter om oljespill till Kungsbackaån, 1975
1:4	Olja i dagvattenledningar, föreläggande om att ansluta till kommunala nätet, 1976
2	Historiska flygbilder, 1955-1990
3	Plan med provtagningspunkter, miljöprovtagning (A3)
4	Beräkningsunderlag platsspecifika riktvärden

SAMMANFATTNING

Structor Miljöteknik AB samt Structor Miljö Väst AB ("Structor") utför på uppdrag av Sveriges Geologiska Undersökningar ("SGU") projektering och utredning avseende avhjälpandeåtgärder av f.d. Tölö Fabriker i Kungsbacka.

Denna rapport redovisar en fördjupad riskbedömning och en åtgärdsutredning med syfte att ge ett underlag för beslut om bästa möjliga åtgärd samt underlag för ansökan om statliga bidrag för saneringsåtgärden.

Utförda undersökningar visar att det finns förorenad mulljord, kraftigt förorenade fyllnadsmassor med stelnade rester av asfalt/beck samt områden med spill/läckage av olika petroleum/tjära/kreosot-baserade vätskor. Behovet av riskreduktion är stort, dels för att förhindra exponering för de kraftigt förorenade fyllnadsmassorna, men även för att förhindra spridning av och exponering för de toxiska vätskor (olja, lösningsmedel, tjärbaserade produkter etc.) som påvisats i marken.

Ett flertal olika åtgärdsalternativ har utretts. En täckning förkastades i ett tidigt skede då en sådan inte uppfyller de övergripande åtgärdsmålen. Även en totalsanering med åtgärder under nuvarande byggnad bedömdes bli alltför kostsam och inte miljömässigt motiverad med hänsyn till att inga förhöjda halter påvisats i porluft under byggnaden eller i inomhusluften. Ytterligare sju olika alternativ, inklusive noll-alternativet, har utretts vidare och utvärderats. Noll-alternativet innebär att påvisade risker kvarstår och kräver begränsningar i markanvändning, omfattande restriktioner etc. och är därför inte aktuellt. Inte heller Alternativ 1 med endast schakt av ytliga fyllnadsmassor och kvarlämnande av källområden med vätskor på större djup bedöms uppfylla de övergripande åtgärdsmålen. Övriga alternativ omfattar sanering av vätskor på större djup med olika tekniker i form av djupt schaktning och spont, uppvärmning, injektering och/eller avskärmning. Det djupaste schaktalternativet (Alt 3A) och uppvärmning (Alt 3B) är det mest tekniskt utmanande och det är tveksamt om dessa kan utföras utan riskera att skada byggnaden.

De åtgärdsalternativ som förordas är Alternativ 3C eller Alternativ 3D, dvs. att ytliga kraftigt förorenade fyllnadsmassor schaktas ur, att en djup schakt utförs ner till +5 m sker i källområdet intill kyrkobyggnaden och sedan kombineras med antingen en injektering (Alternativ 3C) eller en djup spont installeras för att avskärma spridningsvägarna (Alternativ 3D). Kalkylmässigt är skillnaden liten mellan alternativen. Alternativ 3C är kalkylerad till 27 Mkr och alternativ 3D till 26 Mkr.

1 Bakgrund och syfte

Structor Miljöteknik AB samt Structor Miljö Väst AB ("Structor") utför på uppdrag av Sveriges Geologiska Undersökningar ("SGU") projektering och utredning avseende avhjälpandeåtgärder av f.d. Tölö Fabriker i Kungsbacka.

Verksamheter med bland annat tillverkning av tak- och byggpapp fram till 1955 och därefter tillverkning av olika trä- och rostskyddsmedel o.d. har orsakat omfattande markföroreningar inom det tidigare fabriksområdet. Sedan 1985 är fabriken riven och idag finns en kyrkobyggnad, gräsytor och en parkering på området, se **Figur 1** nedan.



Figur 1. Flygbild från 2015. Det tidigare fabriksområdet är ungefärligen markerat med svart och utgörs idag av gräsytor, en kyrkobyggnad (uppförd slutet av 1980-talet), parkering, gång- och cykelbana etc.

Staten är genom SGU huvudman för åtgärden och verksamhetsutövaren, Aktiebolaget Engqvist & Udesen, ska enligt Miljööverdomstolens avgörande år 2010 *”ansvara för 25 procent av kostnaderna för samtliga efterbehandlingsåtgärder, inklusive utredningskostnader, på fastigheten Tölö 11:2 och del av Tölö 8:12 i Kungsbacka kommun”*.

Projektering av åtgärden påbörjades 2015 och tidigt konstaterades att de äldre undersökningarna från år 2004 och 2005 (Tyréns AB) har underskattat föroreningarnas utbredning och djup. Saneringsvolymerna och åtgärdskostnaderna förmodas därför bli betydligt högre än vad som tidigare kalkylerats och som legat till grund för en bidragsansökan om statliga medel. I samband med en reviderad bidragsansökan under 2016 har Naturvårdsverket efterfrågat en huvudstudie för objektet. Huvudstudien ska utföras enligt Naturvårdsverkets kvalitetsmanual (utgåva 8, 2016-01-19) och visa vilka avhjälpandeåtgärder som är nödvändiga samt komma fram till bästa möjliga åtgärd för objektet.

Denna rapport redovisar en fördjupad riskbedömning och en åtgärdsutredning med syfte att ge ett underlag för beslut om bästa möjliga åtgärd samt underlag för ansökan om statliga bidrag för saneringsåtgärden.

Riskbedömningen görs för nuvarande förhållanden samt för framtida förhållanden i det fall inga åtgärder utförs (noll-alternativet). Baserat på behovet av riskreduktion utreds ett antal principiella åtgärdsalternativ ur tekniska och ekonomiska aspekter. Åtgärdsutredningen ska även vara ett underlag för en riskvärdering där olika åtgärdsalternativ vägs mot varandra.

2 Arbetsmetodik och underlag

Eftersom den tidigare verksamhetsutövaren enligt domslut i MÖD är delansvarig för åtgärderna har bolaget ”Auson” (nuvarande Auson AB, tidigare AB Engqvist & Udesen) löpande fått ta del av resultat och även deltagit på olika arbetsmöten under projekteringsarbetet. I samband med upprättande av denna huvudstudie har Auson, framförallt genom sin tekniska konsult Norconsult AB (Ulf Johansson, tidigare uppdragsansvarig hos Tyréns AB), bidragit med kunskaper kring området, uppgifter om tidigare undersökningar samt även haft synpunkter på åtgärdsalternativ och utredningarnas inriktning i huvudstudien. Synpunkterna har i den mån SGU bedömt det som lämpligt inarbetats i huvudstudien. Huvudstudien är dock i sin helhet författad av Structor på uppdrag av SGU. Denna riskbedömning och åtgärdsutredning baseras på resultaten från följande undersökningar:

- Resultatrapport kompletterande provtagning av jord och grundvatten, Structor 2017-01-04
- Resultatrapport provtagning av jord och djupt grundvatten, Structor 2016-01-18
- Resultatrapport provgrovsgrävning, Structor 2015-11-11
- PM Inomhusluftmätning, Structor 2016-02-08
- PM Undersökning av porgas under bottenplatta, Structor 2016-02-08
- PM Provtagning av dricksvatten, Structor 2016-05-24

Miljötekniska undersökningar utförda av Tyréns 2004-2005:

- Miljögeoteknisk provtagning – f.d. Auson, TÖLÖ 11:1 Kungsbacka, 2004-05-24

- PM - Kompletterande miljögeoteknisk undersökning, Tölö i Kungsbacka. 2005-12-14

3 Översiktlig beskrivning av det tidigare fabriksområdet

3.1 Allmänt

Det tidigare fabriksområdet är ca 8 000 m² och utgörs idag av fastigheterna Kungsbacka Tölö 11:2, del av Tölö 8:12 nuvarande gång- och cykelbanan öster om Gamla Göteborgsvägen. I söder gränsar fabriksområdet mot fastigheten Kungsbacka Tölö 1:17 och på historiska flygbilder syns cisterner i fastighetsgränsen, delvis även på nuvarande fastighet Tölö 1:17, se **Figur 2** nedan.



Figur 2. Det tidigare fabriksområdet är ungefärligen markerat med svart och utgörs idag av fastigheterna Tölö 11:2, del av Tölö 8:12 samt en mindre del av Tölö 1:17 (se svart oval).

Nuvarande fastighetsägare är Jesu Kristi Kyrka Av Sista dagars heliga (Tölö 11:2), Kungsbacka kommun (gång- och cykelbanan Tölö 8:12) samt till viss del Hallands Läns Landsting (Tölö 1:17).

Det tidigare fabriksområdet är idag bebyggt med en kyrka och utgörs i övrigt av gräsytor, gångvägar och parkeringsytor. Detaljplan saknas för fastigheterna, men i samband med fastighetsbildningen 1985 anges att avstyckningen sker för ”kyrkligt ändamål”. Idag används lokalerna till kyrkliga sammankomster med barn och vuxna.

Österut och söderut avgränsas området av skogsmark, i norr av en parkeringsplats och i väster av Gamla Göteborgsvägen. Direkt väster om Gamla Göteborgsvägen finns ett bostadsområde med villor och odlingslotter.

Området är relativt plant med nivåer kring ca +5,5 m utmed vägen i väster och ca +9,5 m vid skogskanten i öster.

3.2 Historik

3.2.1 Tölö Fabriker 1920 - 1955

Enligt Tyréns utredning (Tyréns 2004) så påbörjade Tölö Fabriker sin tillverkning av tak- och byggpapp kring år 1920. Tillverkningen skedde genom att papp drogs genom kar med uppvärmd asfalt och/eller tjära.

Under 1800-talet var det vanligt att stenkoltjära användes för takpappstillverkning i Sverige, denna blev dock spröd och hade dålig hållbarhet. Mer hållbar takpapp som istället för stenkoltjära impregnerades med oljeasfalt introducerades 1916 (teknik från USA) och tillverkningen i Sverige övergick under 1920-talet generellt till att använda oljeasfalt (se Riksantikvarieämbetet, ”Äldre papptak, historik och renovering”, rapport 1985:7 [länk per 2016-12-29](#)).

Då tillverkningen i Tölö startade kring 1920 och pågick till 1955 har troligen oljeasfalt huvudsakligen använts i produktionen. Oljeasfaltspappen benämndes vara ”tjärfri” och har väsentligt lägre innehåll av de toxiska PAH:er som finns i stenkoltjära.

På en äldre flygbild (årtal okänt, dock innan 1956) syns takpappsfabriken med panncentral, en större ovan-markcistern (eldningsolja?), fabriksbyggnad och mindre upplag med fat/tunnor, se **Figur 3** nedan.



Figur 3. Flygbild över Tölö Fabriker (årtal okänt, men innan 1956). Från Tyréns 2004.

3.2.2 Auson, 1955 - 1985

Enligt uppgifter till Miljödomstolen startade Auson sin verksamhet 1955 med tillverkning av olika rostskyddsmedel, träskyddsmedel etc. inom området.

Auson har hanterat oljor, bitumen, tjäror, lösningsmedel, kreosot och olika tillsatser samt eldningsolja/diesel inom fastigheten. Det finns uppgifter om att bolaget köpt in begagnad transformatorolja och använt den för tillverkning av rostskyddsmedel.

Bland de varumärken för bekämpningsmedel som bolaget har registrerat hos Kemikalieinspektionen finns Patinol, penta-Cuprileum, Cuprileum grön/brun och Brunex.

De användes som träskyddsmedel och de aktiva ingredienserna är olika salter (kopparnaftenat, järnnaftenat, pentaklorfenol) som blandas ut med oljor till färdig produkt. Även kreosotolja har saluförts av Auson. Samtliga produkter godkändes 1968. Godkännandena upphörde mellan 1977 (pentaklorfenol) och 1985/1986, se **Tabell 1** nedan.

Tabell 1. Lista över bekämpningsmedel som Auson har registrerat hos Kemikalieinspektionen.

Produkt	Regnr. Kemikalieinsp.	Aktiva ingredienser	Godkänt	Godkännande upphörde
Patinol	2557	Kopparnaftenat, 44%	1968	1985
Penta- cuprileum	2577	Pentaklorfenol 7%	1968	1977
Cuprileum grön	2578	Kopparnaftenat, 40%	1968	1986
Cuprileum brun	2579	Järnnaftenat 40%	1968	1986
Brunex	2584	Kreosot 60%	1968	1985

I ett exportprogram från kring 1980 (årtalet är osäkert) som i samband med arbetet av denna huvudstudie översänts av Norconsult till Structor listas en lång rad produkter, exempelvis olika **bitumenbaserade medel** ("Ausol", "Udol-522", "Takisol"), **kreosotolja**, **limmer/vattentätningar** ("Eusol", "Solix"), **träskyddsmedel** ("Patinol", "Cuprileum grön/brun/färglös", "Brunex brun", "Carbonlineum 236, 687 brun" och specialprodukter. Bland specialprodukterna listas **kopparnaftenat**, **avfettningsmedel** ("Renox"), marina **rostskyddsmedel** ("Utense", "Udofloat"). Det finns även en lång rad rostskyddsmedel med olika viskositet (för påläggning med kniv, borste, sprayning) för fordon ("Auto-Plastone", "Noxudol"). Därutöver finns även **trätjära** i olika former (exempelvis tallolja för däcktillverkning), kontaktlimmer ("Nastolit", "Toelit" etc.). Exportprogrammet finns i **bilaga 1:1**.

Programmet är adresserat Barlastgatan 2, Göteborg. Denna adress är belägen i Amerikahuset i Göteborg och finns på en rad olika handlingar från Auson som avser tidperioden 1955-1985 dvs. när fabriken fanns på det aktuella området i Tölö. Adressen bör avse huvudkontoret. Samma adress, telefonnummer och telexnummer finns exempelvis på ett foljebrev daterat 1976-09-17 till Kungsbacka kommun avseende kontrollintyg för cisterner, se **bilaga 1:2**. Barlastgatan 2 i Göteborg är även den adress som kommunen anger för avtalet ang. rivningsarbetena och slutbesiktningen av den tidigare fabriken i Tölö år 1985.

Efter Tölö Fabrikers takpappstillverkning mellan 1920 och fram till mitten av 1950-talet, så har Auson från 1955 och framåt tillverkat en lång rad olika produkter baserat på bitumen ("asfalt"), beck, kreosotolja, nafta, diesel, trätjärer, gummitjära, restoljor och olika former av lösningsmedel och tillsatser.

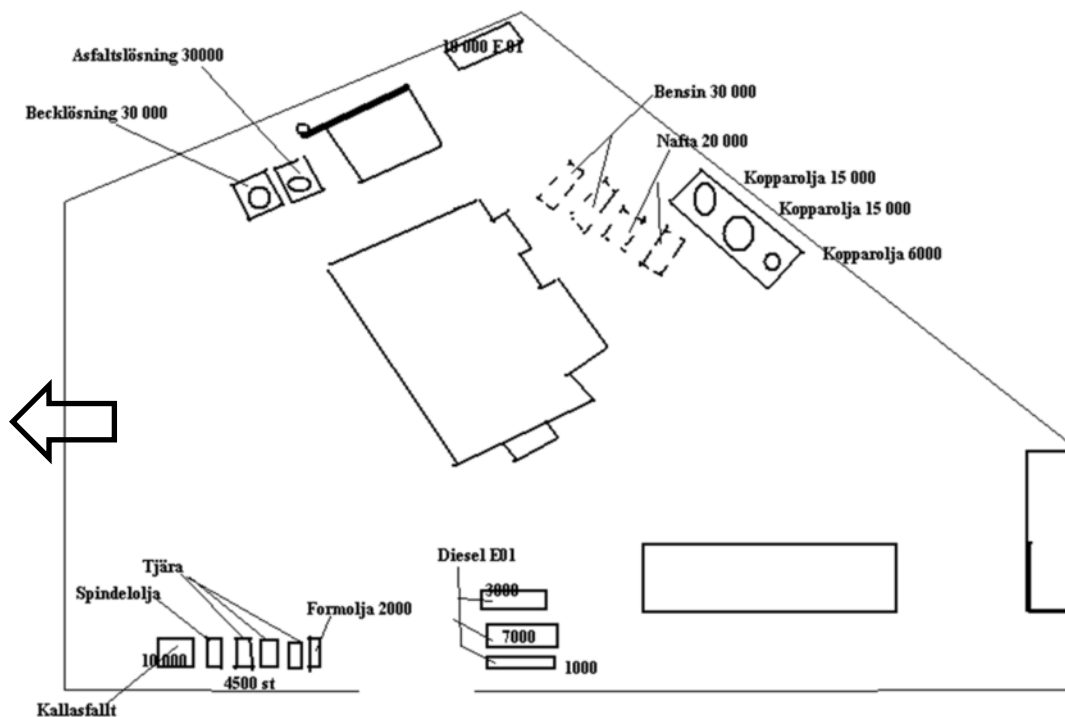
Mellan åren 1955 och 1958 syns en rad förändringar i området, se **Figur 4** nedan. Den tidigare panncentralen har rivits och ersatts med större byggnad söder om skorstenen och stora områden kring fabriksbyggnaden används för lagring av fat/tunnor. Markytorna är grusade. Historiska flygbilder redovisas även i **bilaga 2**.



Figur 4. Flygbilder från 1955 och 1957. Verksamheten 1958 (Auson AB) synes vara omfattande och inom hela området. På flygbilderna har genomgående konturer av nuvarande markytor, parkering, kyrkobyggnaden och höjdkurvor markerats med turkos färg.

På flygbilden från 1962 nedan har ett flertal olika cisterner tillkommit sedan 1958, sannolikt för att förvara råvaror och tillverka flytande produkter (träskyddsmedel, rostskyddsmedel etc.). Produkterna tappades på fat för att sedan levereras till kunder. Cisternerna har markerats med rött i flygbilden.

På en skiss över verksamheten år 1967 (Tyréns 2004) redovisas dåvarande verksamhet med bland annat beck- och asfaltlösning, kopparolja, tjära, diesel, bensin etc. se **Figur 5** nedan.



G:a Gtbgsvägen

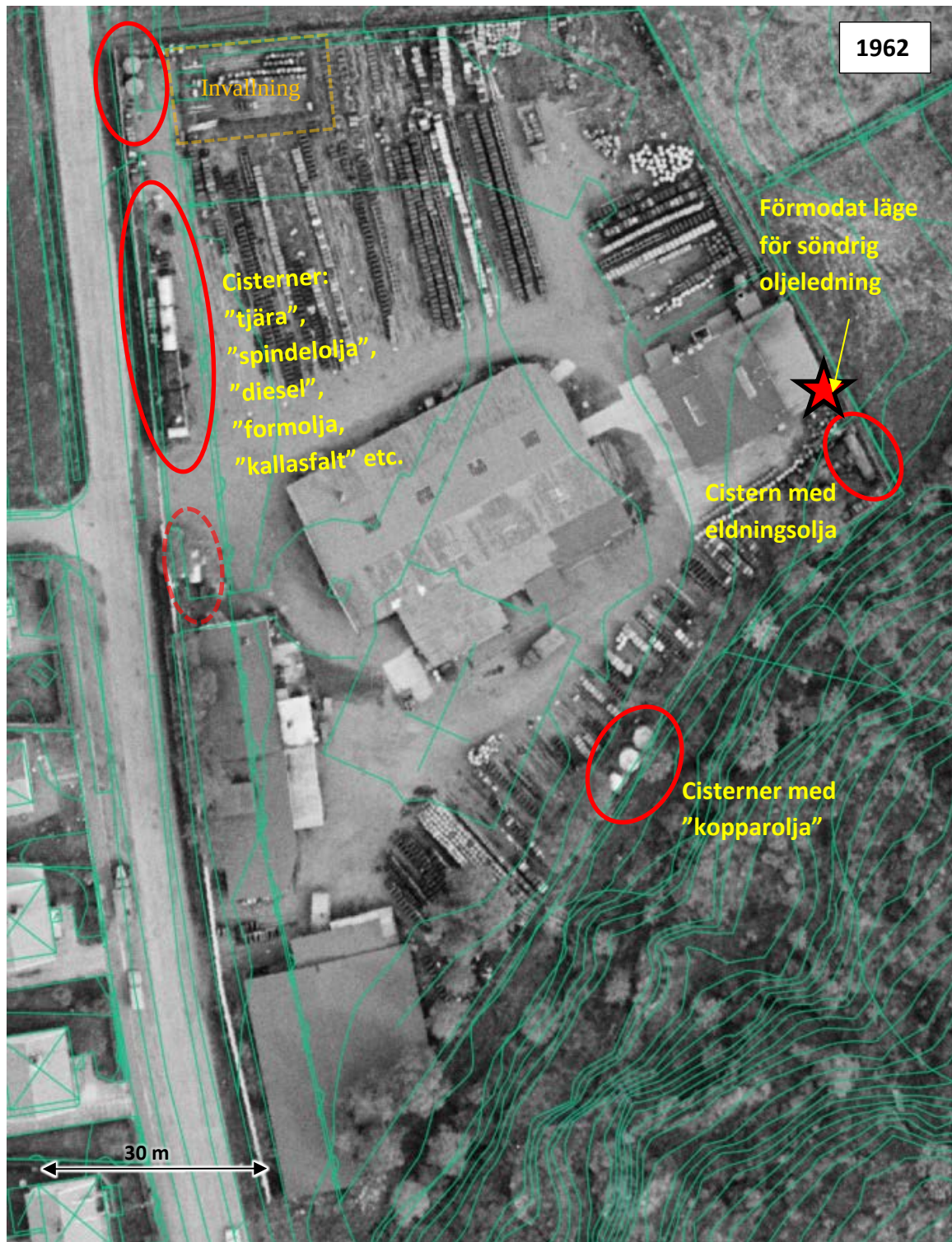
Figur 5. Skiss över Auson 1967 (norr är till vänster i figuren), från Tyréns 2004. Streckade cisterner markerar att de är under mark.

Upplag med fat/tunnor syns inom i princip hela fabriksområdet. Hantering och förflyttning av faten skedde med truckar.

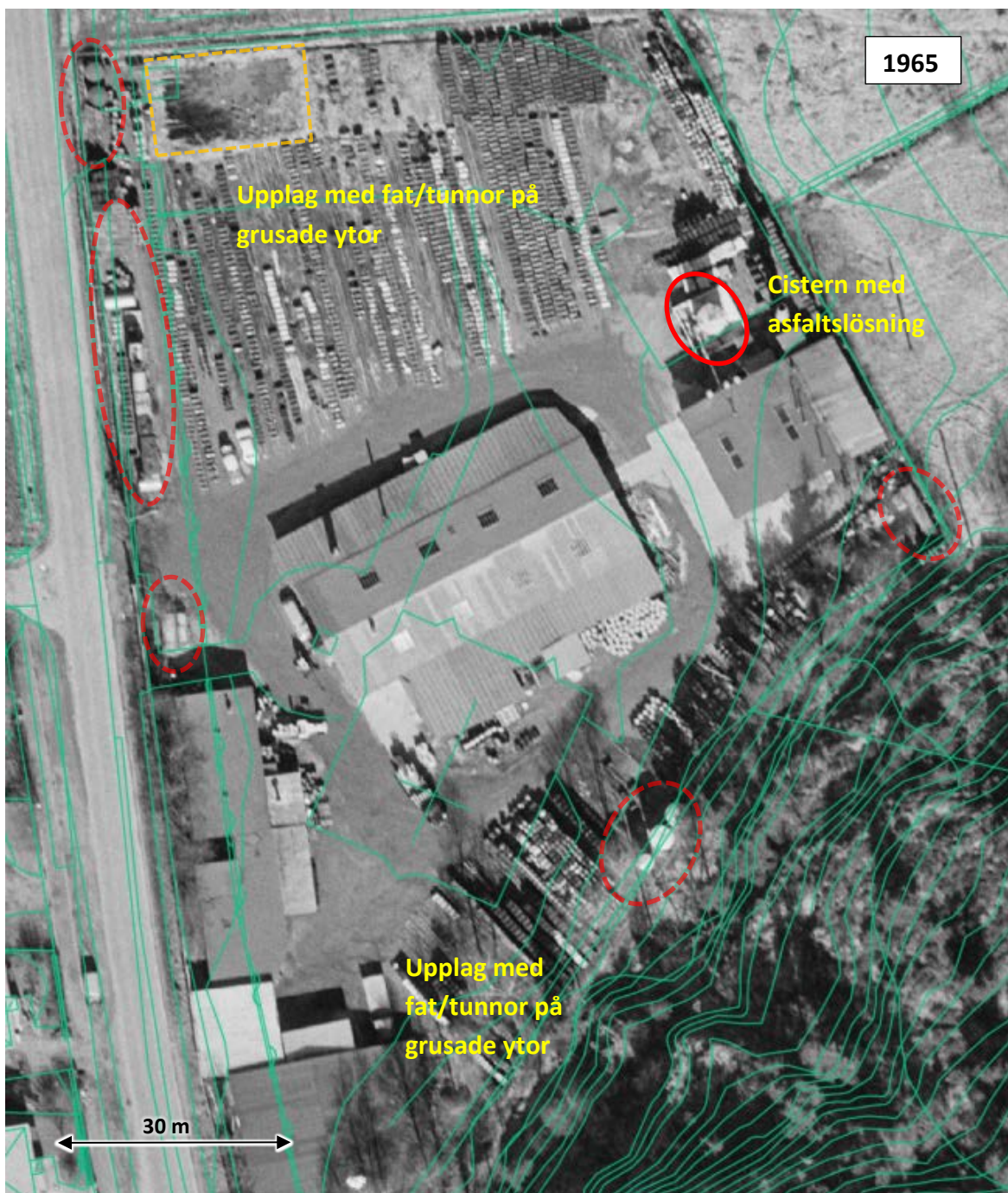
I vilken omfattning läckage/spill har skett genom åren är inte känt, men det finns dokumenterat att utsläpp har skett. I **bilaga 1:2** ang. cisternkontroll finns även ett utdrag ur protokoll fört vid sammanträde med hälsovårdsnämnden 1976. I protokollet meddelades att utsläpp av olja tidvis har förekommit inom fastigheten, samt att detta sannolikt berott på en ”söndrig ledning mellan oljetank och oljepanna”. Förmodat läge för oljeledningen är markerat i **Figur 6** nedan.

Oljan antas enligt kommunens utredning även, via ledningssystem, ha nått Kungsbackaån. Kraftigt oljeförekomst i ån påträffades i augusti 1975 och spårades av personal från gatukontoret till Ausons fabriksområde i Tölö. Olja rann i dagvattenledningar från fabriksområdet och vidare till ån, se **bilaga 1:3**. I den kommunikation som finns i arkivet påträffades även olja i dagvattensystemet mars 1976, se **bilaga 1:4**. Krav på åtgärder ställdes av Hälsovårdsförvaltningen. Detta bestreds av Auson som menade att deras ledningssystem var påkopplat kommunens ledningsnät. Så var dock ej fallet och Auson förelades med vite att senast den 1 december 1976 låta ansluta fastigheten till det kommunala avloppsledningsnätet. Anslutning skedde enligt anteckning under oktober månad 1976.

I den nordvästra delen av området noteras på flygbilden från 1962 en enkel "invallning" för fat/tunnor (möjligen för förvarning av brandfarliga produkter?). Invallningen syns på flygfoton från 1965 och 1967, men är borta på flygfotot från 1974, se **Figur 7** och **Figur 8** nedan.



Figur 6. Flygbild från 1962. De ovan mark-cisterner som tillkommit sedan 1958 har markerats med röd helstreckad linje. Äldre cisterner är markerade med streckad kontur.



Figur 7. Flygbild från 1965. De cisterner som tillkommit sedan 1962 har markerats med röd helstreckad linje (asfaltslösning, uppvärmd). "Invallningen" i nordvästra delen finns kvar på flygbilder fram till och med 1967.

På flygbilden från 1974, se **Figur 8** nedan, har ytterligare en 30 m³ cistern med "becklösning" tillkommit, se röd markering.

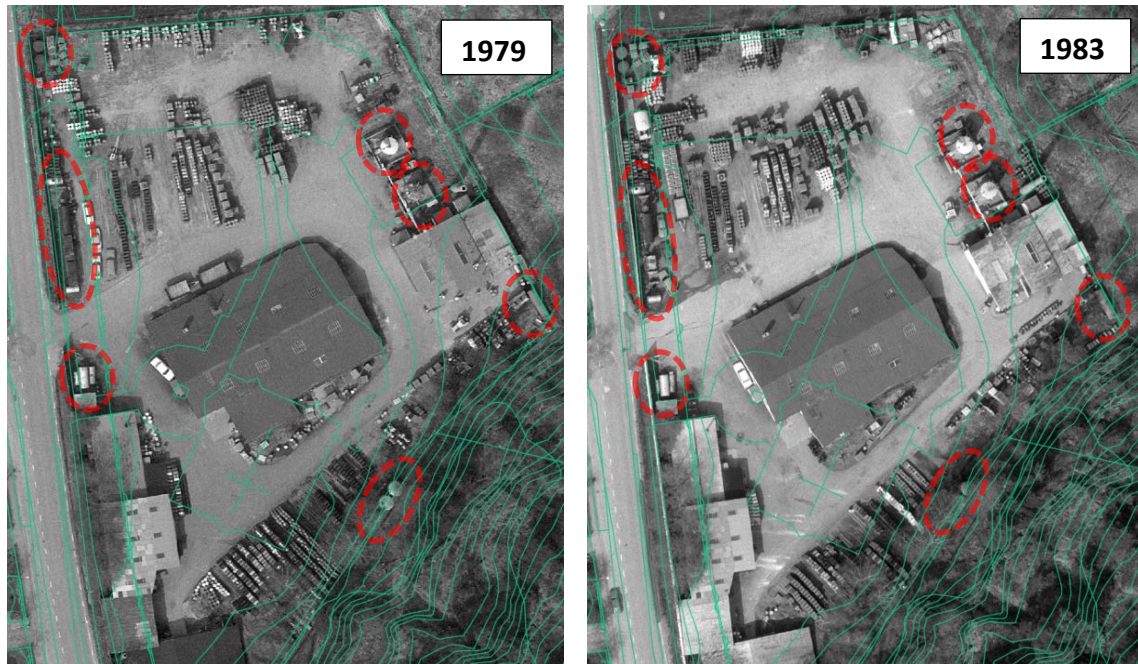
I övrig finns de ovan mark-cisterner som noterats på flygbilderna från 1955 och framåt kvar inom fabriksområdet. Fat/tunnor med färdigtappade produkter för leverans hanterades direkt på markytorna. På flygbilderna noteras att markytorna är grusade.



Figur 8. Flygbild från 1974. Den cistern som tillkommit sedan 1967 har markerats med röd helstreckad linje (cistern med beklösning). Upplagsytor för fat/tunnor är ej hårdgjorda.

På flygbilderna fram till 1983 kan inga större förändringar i verksamheten noteras. Tidigare cisterner finns kvar, markytorna är grusade och det finns upplag med fat/tunnor inom hela fastigheten, se **Figur 9** nedan.

1983 avvecklades verksamheten och fabriken flyttades från området. Fabriksområdet (fastigheten Tölö 11:2) såldes till Kungsbacka kommun som i sin tur styckade av delar av fastigheten för gång- och cykelbana och sålde därefter fastigheten till nuvarande ägare 1984. Kommunen genomförde rivningsarbeten och sålde fastigheten avriven, grovplanerad och utan byggnader, se även flygbilden från 1986 i **Figur 10** nedan. Vid besiktning efter rivningen noterades att det förekom "lukt av lösningsmedel och oljefilm på vattenansamlingar" (enligt uppgifter i MÖD-domen).



Figur 9. Flygbild från 1979 och 1983. Samtliga cisterner finns kvar och upplag med fat/tunnor finns inom mer eller mindre hela fabriksområdet. Markytorna var grusade.



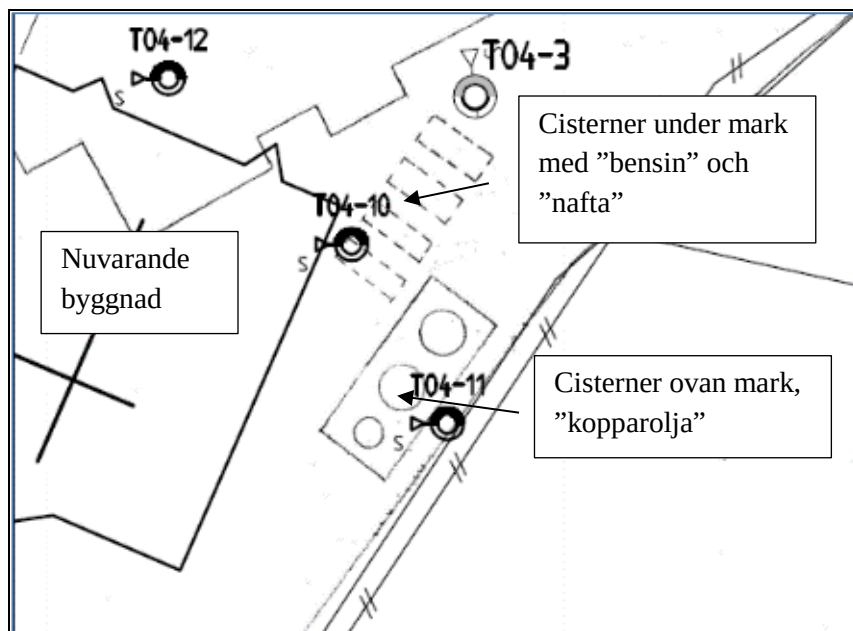
Figur 10. Flygbild från 1986 och 1992. På flygbilden från 1992 syns nuvarande kyrkobyggnad, delar av nuvarande parkering samt även nuvarande gång- och cykelbana.

Nuvarande kyrkobyggnad uppfördes 1986-1987. På flygbilden från 1992 ovan syns kyrkobyggnaden, delar av nuvarande parkering, nya markytor samt även nuvarande gång- och cykelbana. Gång- och cykelbanan är delvis dragen över det tidigare fabriksområdet.

3.2.3 Cisterner under mark

Utöver de cisterner som funnits ovan mark har även ett antal cisterner med mer brandfarliga vätskor funnits under mark, se exempelvis skissen i **Figur 5** ovan. Området med markförlagda cisterner har undersökts och konstateras ha funnits strax öster om nuvarande kyrkobyggnad, se skissen nedan (Tyréns 2004).

Cisternerna togs upp i samband med rivning av fabriksområdet i mitten av 1980-talet och dåvarande entreprenör har en minnesbild av att leran luktade mycket kraftigt. Den betongplatta som cisternerna varit förankrade i är kvarlämnad i marken.



Figur 11. Skiss trolig placering av markförlagda cisterner (baserad på Tyréns 2004).

3.3 Förväntad föroreningssituation

AB Tölö Fabriker bedrev tillverkning av tak- och byggpapp från 1920-talet och fram till 1955. Verksamheten förväntas ha förorenat marken med framförallt asfalt/bitumen. Användning av stenkolstjära för tillverkning av takpapp hade vid denna tid minskat i Sverige. Asfalten till pappen behövde värmas upp och är mer eller mindre stelad vid normala temperaturer. Asfalten är en komplex blandning av olika kolväten och innehållet av PAH:er är betydligt lägre i bitumen (<100 ppm) jämfört med stenkolstjära (>100 000 ppm).

Markföroreningar relaterat till papptillverkningen förväntas påträffas som stelnade "bitar" i marken. Bitarna förväntas innehålla höga halter av alifatiska och tyngre aromatiska kolväten, men lägre halter av exempelvis PAH. Någon omfattande hantering av mer spridningsbenägna vätskor har inte skett under denna period.

Ausons verksamhet från 1955 och fram till 1983 med tillverkning av träskyddsmedel, rostskyddsmedel etc. var väsentligt annorlunda jämfört med tillverkningen av tak- och byggpapp. Verksamheten bestod i princip av blandningar av olika oljor/tjäror/beck/kreosot med lösningsmedel och olika tillsatser för att sedan tappas på fat/tunnor som färdiga produkter. Ett större antal cisterner syns på flygbilderna över fabriksområdet och det har även funnits cisterner under marken.

Stora volymer vätskor har hanterats inom fabriksområdet, både inne i byggnader och ute på den grusade marken (förvaring, blandning, tappning). Några större avsiktliga läckage/spill förväntas inte ha skett då vätskorna utgjorde basen för de produkter som sedan såldes, men oavsiktliga spill/läckage är ofrånkomligt under en så pass lång, ca 30 år, verksamhetstid. Det finns även dokumenterat oljespill från en trasig oljeledning samt utsläpp av olja i dagvattenssystem.

Några av de vätskor som använts i produktionen hos Auson och som förväntas påträffas i marken är:

- **Beck/becklösning:** framställdes genom destillation av trä- eller stenkoltjära. Beck är mycket trögflytande och tung vätska (densitet 1,2-1,4 kg/dm³ vid 20°C). Beck från stenkol innehåller en komplex blandning av en lång rad olika ämnen, bland annat PAH. Vattenlösligheten är låg (kring 0,04 mg/L för PAH16). De mest vattenlösliga PAH:erna i beck är acenaften, fenantren, flouranten, pyren och naftalen samt florene (Reach, 2008).
- **Asfaltlösning:** avser bitumenbaserad asfalt för framställning av exempelvis rostskyddsmedel med olika viskositet. Bitumen är mycket trögflytande och mer eller mindre steltnad vid normala temperaturer. Denna typ av asfalt liknar sannolikt den asfalt som AB Tölö Fabriker använde för tillverkning av tak- och byggpapp. Den innehåller väsentligt lägre halter av PAH jämfört med t ex beck eller kreosot som utvunnits från stenkol.
- **Kreosotolja:** framställdes genom destillation av trä- eller stenkoltjära. Auson AB levererade träimpregnering till Statens järnvägar och för impregnering av träslipers användes framförallt kreosotolja framställd från stenkol. Kreosot från stenkol är mycket toxisk och cancerogen. Kreosot är en tung vätska (densitet ca 1,1 kg/dm³ vid 20°C) och en komplex blandning som innehåller höga halter av PAH:er, aromatiska kolväten, fenoler och kreosoler.
- **Nafta/bensin:** även benämnd "råbensin" avser den lättkokande delen av petroleum. Nafta/råbensin användes av Auson AB som lösningsmedel. Vätskorna förvarades i cisterner under mark då de är mycket brandfarliga. De innehåller lättare kolväten (5-10 kolatomer) så som xylen, hexan, toluen, etylbensen etc. och är flyktiga samt lätta (densitet ca 0,8 kg/dm³).
- **Trätjära:** tillverkas av träved och är en något tung vätska (densitet kring 1 kg/dm³). Innehåller en komplex blandning av terpenier, fenoler, kresoler och även PAH:er (dock inte alls i lika höga halter som tjära från stenkol). Trätjära är hälsofarligt och skadligt vid

hudkontakt, förtäring etc. Trätjära är sannolikt även skadligt för mark- och vattenlevande organismer.

- **Spindelolja:** petroleumbaserad högraffinerad lätt olja (densitet ca 0,7 kg/dm³) med låg viskositet för smörjning av snabbgående spindellager. Vanligen lättrinnande och transparent.

Auson:s verksamhet förväntas ha orsakat fasta föroreningar med stelnade rester av bitumen och beck i ytlig jord. Stelnade rester av bitumen har låga halter av PAH:er (<100 ppm), medan stelnade rester av beck förväntas ha höga halter av PAH:er (>1000 ppm).

Till skillnad från AB Tölö Fabriker har Auson även hanterat olika vätskor såsom kreosotolja, trätjära, petroleumbaserade oljor, lätta lösningsmedel och olika produkter för rostskydd/träskydd.

Flertalet av dessa vätskor stelnar inte i marken och är därför spridningsbenägna som egen fas i exempelvis ledningsgravar, genomsläppliga jordskikt och dylikt. Några av vätskorna är även tunga (s.k. DNAPL) och kan därför spridas under grundvattenytan. Vattenlösligheten är generellt låg för tjär/petroleumbaserade vätskor, men jämfört med stelnade rester av bitumen/beck är vattenlösligheten väsentligt högre.

4 Sammanfattning av utförda undersökningar

4.1 Resultatrapporter och PM

Samtliga utförda provtagningar som utförts under 2015 och 2016 finns redovisade i ett antal resultatrapporter och PM. I rapporterna redovisas utförande, fältanteckningar, analysprotokoll etc. i sin helhet. I PM finns även korta bedömningar.

4.2 Geologiska och hydrogeologiska förhållanden

Markytorna består av gräsytor och asfalterade ytor. Jordlagren utgörs generellt av ytlig mulljord och ca 1 m grusiga sandiga fyllnadsmassor som underlagras av siltig lera. Leran är av torrskorpekaraktär ned till ca 1,5 m under markytan och är gyttjig, siltig med inslag av skalförande lager/skikt. Leran har en extremt till mycket låg odränerad skjuvhållfasthet. En närmare beskrivning finns i de geotekniska undersökningarna, se MUR daterad 2016-11-25 (Structor).

Lerans mäktighet ökar mot nordväst och är här ca 16-17 m. Under leran finns ställvis ett lager med friktionsjord. I ett flertal sonderingar har dock förmodat berg påträffats direkt under leran med endast ett tunt eller inget lager av friktionsjord, se även **Figur 12** nedan.

I samband med utförda undersökningar har en fri stabiliserad vattenyta noterats i provtagningshålen på mellan ca 0,5 och 2 m under markytan. I grundvattenrör installerade i friktionsjorden som underlagras leran har ett grundvattentryck motsvarande en fri grundvattenyta nära markytan uppmätts. Grundvattnets flödesriktning bedöms vara västlig.



Figur 12. Mäktighet (m) av friktionsjord under leran, se gröna punkter. I bruna punkter har ingen friktionsjord påvisats (stopp mot förmodat berg).

4.3 Föroreningssituation inom fabriksområdet

4.3.1 Mulljord i gräsytor

Befintlig mulljord är anlagd direkt ovanpå äldre fyllnadsmassor, utan materialavskiljande geotextil eller liknande. Mulljorden har provtagits och analyserats avseende organiska föroreningar (12 analyser) och tungmetaller (8 analyser). Det är framförallt PAH:er som finns i förhöjda halter jämfört med Naturvårdsverkets generella riktvärden, se sammanställningen i **Tabell 2** nedan.

För analyser och undersökningar i sin helhet hänvisas till respektive resultatrapport (exempelvis *Resultatrapport kompletterande provtagning av jord och grundvatten, Structor 2017-01-04*).

Tabell 2. Sammanställning av några analysparameterar för mulljord (mg/kg TS).

Jordart	PAH-L	PAH-M	PAH-H	Koppar	Bly
Mulljord, gräsytor	0 - 0,5 - 3 1 (12; 1,5)	0 - 6 - 31 15 (12; 1,4)	0 - 12 - 78 31 (12; 1,7)	16 - 89 - 496 90-perc.: 187	8- 39 - 68 90-perc.: 57
KM	3	3,5	1	80	50
MKM	15	20	10	200	400

Min - Medel - Max

UCLM95% (antal; variationskoefficient)

4.3.2 Förorenade ytliga fyllnadsmassor

Provgropsgrävning av de ytliga marklagren inom fastigheten visar att det finns förorenade grusiga sandiga fyllnadsmassor med stelnade bitar av beck/asfalt inom i princip hela det tidigare fabriksområdet. Undantaget är den östra delen av parkeringen där de äldre fyllnadsmassor ersatts med nya bärlager i samband med byggnationen (se PG5 och PG8 i figuren nedan).

Provtagning har utförts som samlingsprover på jordlagren (ca 0,5 m) i varje provgrop samt även av förekommande stelnade bitar.

Ca 30 provgropar har utförts och även ett antal borrhningar. Totalt har 75 prover på fyllnadsmassorna analyserats på laboratorium avseende organiska ämnen (PAH, alifater, aromater, BTEX etc.) samt även ett stort antal prover avseende tungmetaller. I några prover har även screeninganalys avseende ytterligare organiska ämnen (PCB, klorfenoler etc) utförts. Resultaten är sammanställda statistiskt i **Tabell 3** nedan.

Tabell 3. Sammanställning av utvalda analysparameterar för fyllnadsmassor (mg/kg TS).

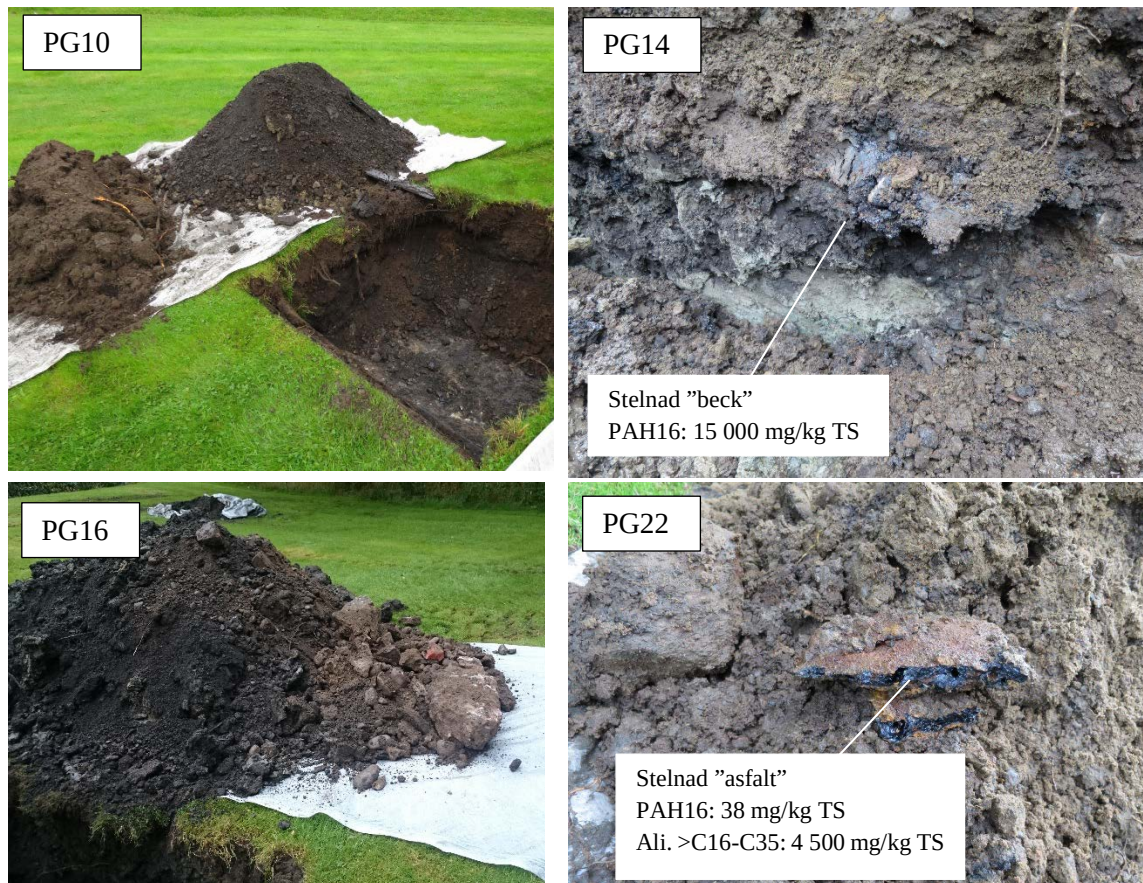
Jordart	PAH-L	PAH-M	PAH-H	Alifater >C5-C16	Aromater >C10-C16
Fyllnads- massor	0 - 171 - 4 400 517 (75; 4,0)	1 - 483 - 9 100 1 331 (75; 3,5)	0 - 258 - 4 300 1 192 (75; 3,2)	12 - 874 - 12 800 2 131 (66; 2,7)	1 - 232 - 4 180 695 (56; 3,5)
KM	3	3,5	1	100	3
MKM	15	20	10	500	15
FA	Ca 1 000 (PAH-Ö)		Ca 100 (PAH-C)	Ca 10 000	Ca 1 000

Min - Medel - Max, **UCLM95%** (antal; variationskoefficient)

Fyllnadsmassornas karaktär och förekomst av stelnade bitar redovisas även på foton i **Figur 13** nedan.

Utöver grusiga sandiga fyllnadsmassor har även rivningsrester från tidigare byggnader påträffats i främst östra delen (tidigare pannhuset för uppvärmning av beck/asfalt). Måktigheten med rivningsrester etc. är här ca 3 m. I övrigt är medelmåktigheten fyllnadsmassor ca 1 m.

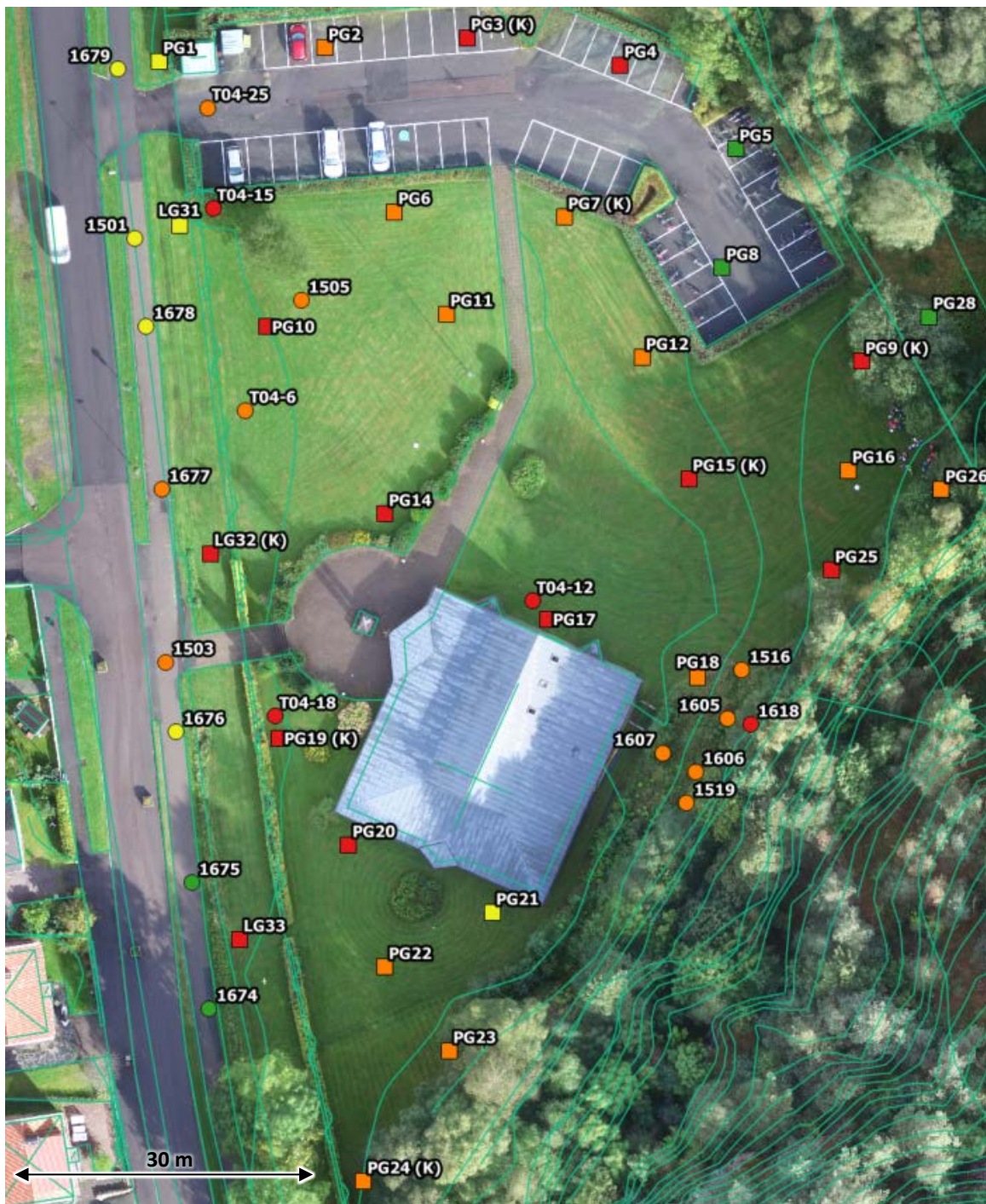
Leran under fyllnadsmassor med stelnade bitar av beck/asfalt är som förväntat inte påverkad av föroreningar, däremot är leran förorenad på platser där det skett läckage/spill av olika vätskor.



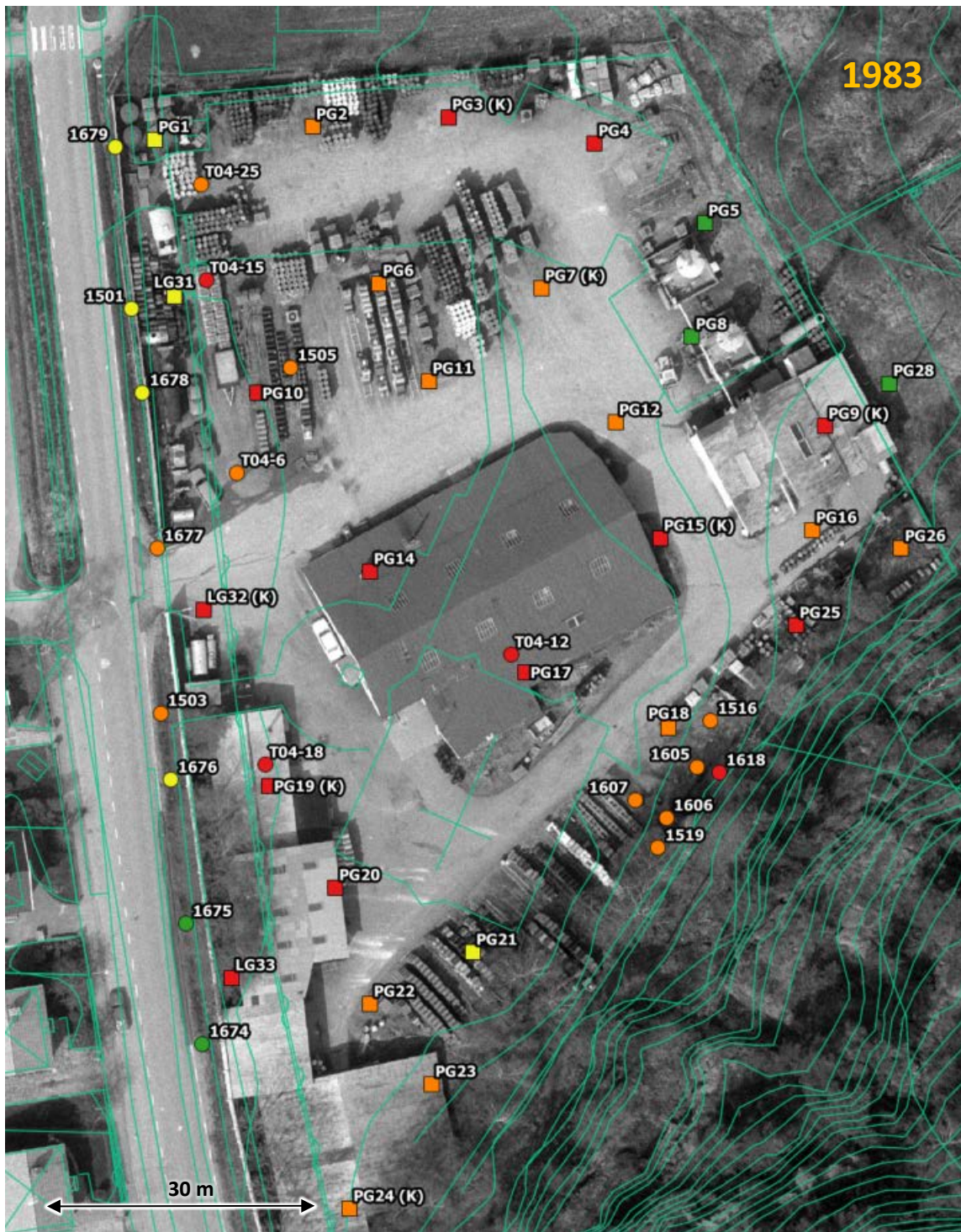
Figur 13. Exempel på fyllnadsmassor med klumpar av beck/asfalt och generellt mörkfärgade fyllnadsmassor.

En sammanställning över utförda provtagningar på fyllnadsmassorna finns i figuren nedan. Utförda provtagningar redovisas även på en flygbild från 1983, se **Figur 15**. På flygbilden syns utförda provtagningar i relation till förekommande upplag med fat/tunnor, tidigare fabriksbyggnad, cisterner mm.

Den totala volymen förorenade fyllnadsmassor och rivningsrester bedöms uppgå till mellan 7 000 och 10 000 m³. Baserat på uppmätta halter av PAH:er kan mängden PAH i fyllnadsmassorna skattas till mellan 5 och 20 ton (medelhalt ca 1000 mg/kg* mängd ca 13 000 ton = 13 ton).



Figur 14. Sammanställning av provtagningar i ytliga fyllnadsmassor. Fyrkanter avser provgropsgrävning och cirklar borrning. Varje punkt har färgkodats enligt <KM, KM-MKM, MKM-FA, >FA. Punkter där stelnade klumpar styr klassningen är markerat med "(K)".



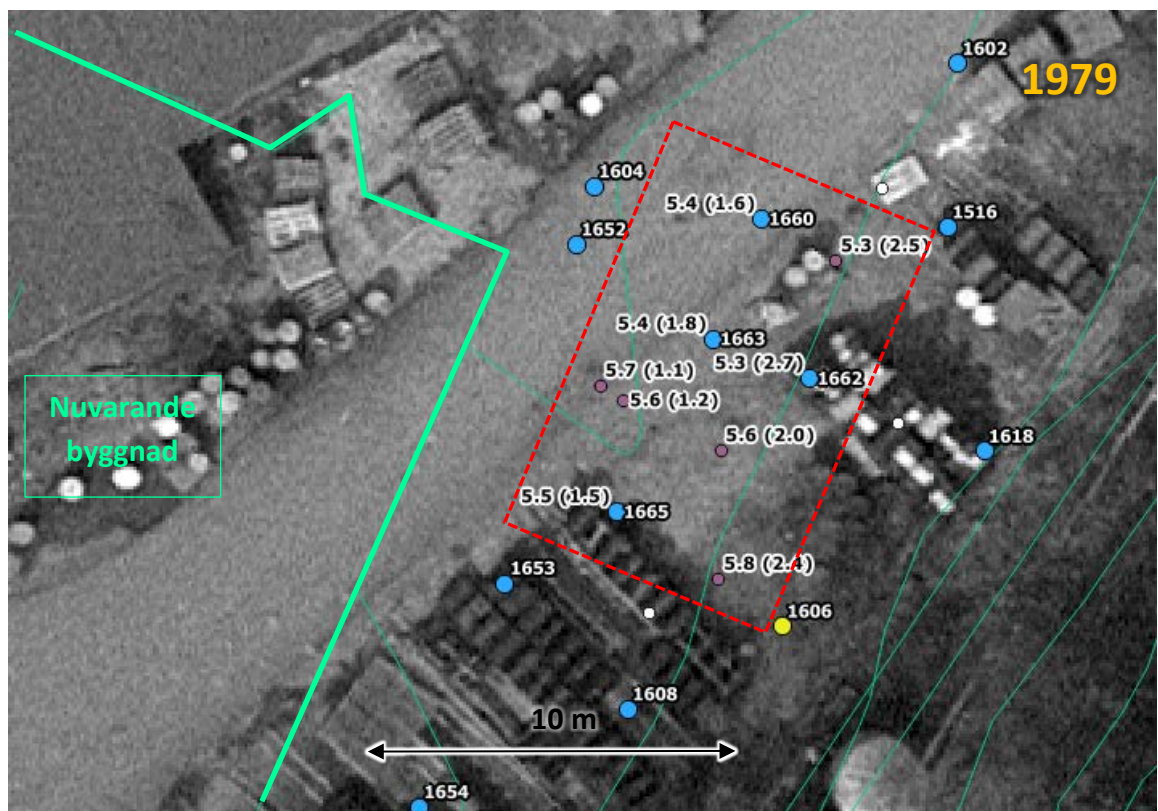
Figur 15. Provtagningar i ytliga fyllnadsmassor på en flygbild från 1983. Varje punkt har färgkodats enligt <KM, KM-MKM, MKM-FA, >FA. Punkter där stelnade klumpar styr klassningen är markerat med "(K)".

4.3.3 Områden där spill/läckage av vätskor påträffats

Utförda provtagningar har påvisat förekomst av spill/läckage av olika vätskor i leran under fyllnadsmassorna på följande platser:

1. Kring de **markförlagda cisternerna** strax söder om tidigare fabriksbyggnad (öster om nuvarande kyrkobyggnad) har höga halter av xylener påträffats, förmodligen från den råbensin/nafta som förvarats i cisternerna (provpunkter 1601 - 1607, 1516, 1652, T04-4 m fl). Leran luktar kraftigt av lösningsmedel och höga koncentrationer av flyktiga föroreningar har uppmätts med PID-instrument (100 - 1 500 ppm). I Tyréns undersökning från 2004 påträffades upp till ca 20 000 mg/kg TS av xylen i leran (T04-4).

Ett flertal olika provtagningar och undersökningar har därefter utförts kring och inom cisternområdet. I undersökningarna konstateras att cisternerna är borttagna (sannolikt i samband med rivning av fabriksområdet i mitten av 1980-talet), däremot är den betongplatta som cisternerna varit förankrade i kvar i marken. Återfyllning efter cisternerna tagits upp verkar ha utförts med diverse rivningsrester. Provtagningar har gjorts under betongplattan och xylener (10-200 µg/l) har påträffats i vattnet under betongplattan. Nivån för betongplattan är ca + 5,5 m och djupet 1 m under markytan i väster och ca 3 m österut där marknivåerna är högre. Plattan är ca 12*8 m stor (ca 100 m²).



Figur 16. Provtagningar i området med markförlagda cisterner. Lila punkter markerar betongplatta på nivåerna +5,4 till 5,8 m, (ca 1-3 m u my). Plattans bedömda utbredning, ca 12 * 8 m, är markerad med rött.

Även grundvattnet kring och nedströms cisternområdet har provtagits, se blå punkter i **Figur 16** ovan. Halterna förhållandevis låga (undantaget första provtagningen i 1516 som bedöms vara ett resultat av ytlig jordförorening som dragits ner vid borrningen), se **Tabell 4** nedan.

Tabell 4. Sammanställning av provtagningar av grundvatten under, kring och nedströms cisternområdet med nafta/råbensin ($\mu\text{g/l}$).

Punkt	Filternivå [mumy]	Datum	PAH L	PAH M	PAH H	Bensen	Toluen	Xylener
1516	4,0-6,0	nov-15				21	24	7600
		apr-16	1,8	2	1,4	<0,2	<0,2	<0,2
		okt-16	<0,015	<0,025	<0,04	<0,2	<0,2	<0,2
1602	4,5-6,5	apr-16	0,7	0,22	<0,04	<0,2	1,04	0,33
		okt-16	0,1	0,019	<0,04	<0,2	<0,2	<0,2
1604	5,6-7,6	apr-16	0,14	0,23	0,2	<0,2	<0,2	<0,2
		okt-16	0,026	<0,05	<0,08	<0,2	<0,2	<0,2
1608	3,5-5,5	apr-16	<0,15	0,16	<0,4	<1	<1	<1
		okt-16	<0,015	<0,025	<0,04	<0,2	<0,2	<0,2
1618	2,1-4,1	apr-16				<2	<2	<2
		okt-16	0,09	0,37	0,5	<0,2	<0,2	<0,2
1652	2,0-4,0	okt-16	0,054	0,094	<0,16	<0,2	<0,2	0,27
1653	4,5-6,5	okt-16	0,099	<0,025	<0,04	<0,2	<0,2	<0,2
1654	2,1-4,1	okt-16	0,041	<0,025	<0,04	<0,2	<0,2	<0,2
1660	1,7-2,7	okt-16	19	3	0,21	0,74	0,74	210
1662	3,2-4,2	okt-16	5,1	4,7	0,68	1,43	0,29	56
1663	1,0-2,0	okt-16	2,2	9	12	<0,20	<0,20	11
1665	2,4-3,4	okt-16	3,3	3,5	0,46	0,73	0,47	64
SPI-RV ¹	Ångor i byggnader		>2000	>10	>300	>50	>7000	>3000
SPI-RV ²	Bevattnings		>80	>10	>6	>400	>600	>4000
NV skydd av GV ³			10	2	0,005	0,5	350	250

¹Svenska petroleum institutets riktvärde för skydd vid inträngning av ångor i byggnader.

²Svenska petroleum institutets riktvärde för skydd vid bevattnings.

³Naturvårdsverkets beräkningsmodell, version 2.0. Halkriterier för skydd av grundvatten.

Ytterligare områden med indikation på spill/läckage av olika vätskor har påträffats:

2. Strax nedan de **större ovanmark-cisternerna med "kopparolja"** påträffas oljelukt, förhöjda PID-värden (100-500 ppm) och förhöjda halter av främst PAH16 (50-100 mg/kg TS) i leran ner till ca 3-4 m, se provpunkterna 1519, 1606 och 1607 i **Figur 17** nedan.
3. Fri fas av **"tjärluktande vätska"** har påträffats i sand/skalskikt i leran i några provpunkter (se t ex punkterna 1672, 1652). Jordprov med vätska har höga halter av PAH16, ca 1000 mg/kg TS (främst de lättare PAH-L resp. PAH-M) samt aromater >C₁₀-C₁₆. Vätskans kemiska sammansättning liknar kreosotolja, vilket även ska hanterats av Auson AB. Skikten har påträffats ner till drygt 3 m under markytan här avbröts dock skruvborrningen utan stopp mot berg. Djup till berg är ca 8 m. I de närliggande provpunkterna 1613 och 1614 finns indikationer (lukt) och förhöjda halter av PAH samt aromater ner till ca 5 m.
4. Indikationer på en **dieselförorening** har påträffats vid Tyréns provtagning (provpunkt T014-17, lukt och förhöjda PID-halter). Provpunkten är placerad nära tidigare ovan-mark cisterner med diesel.

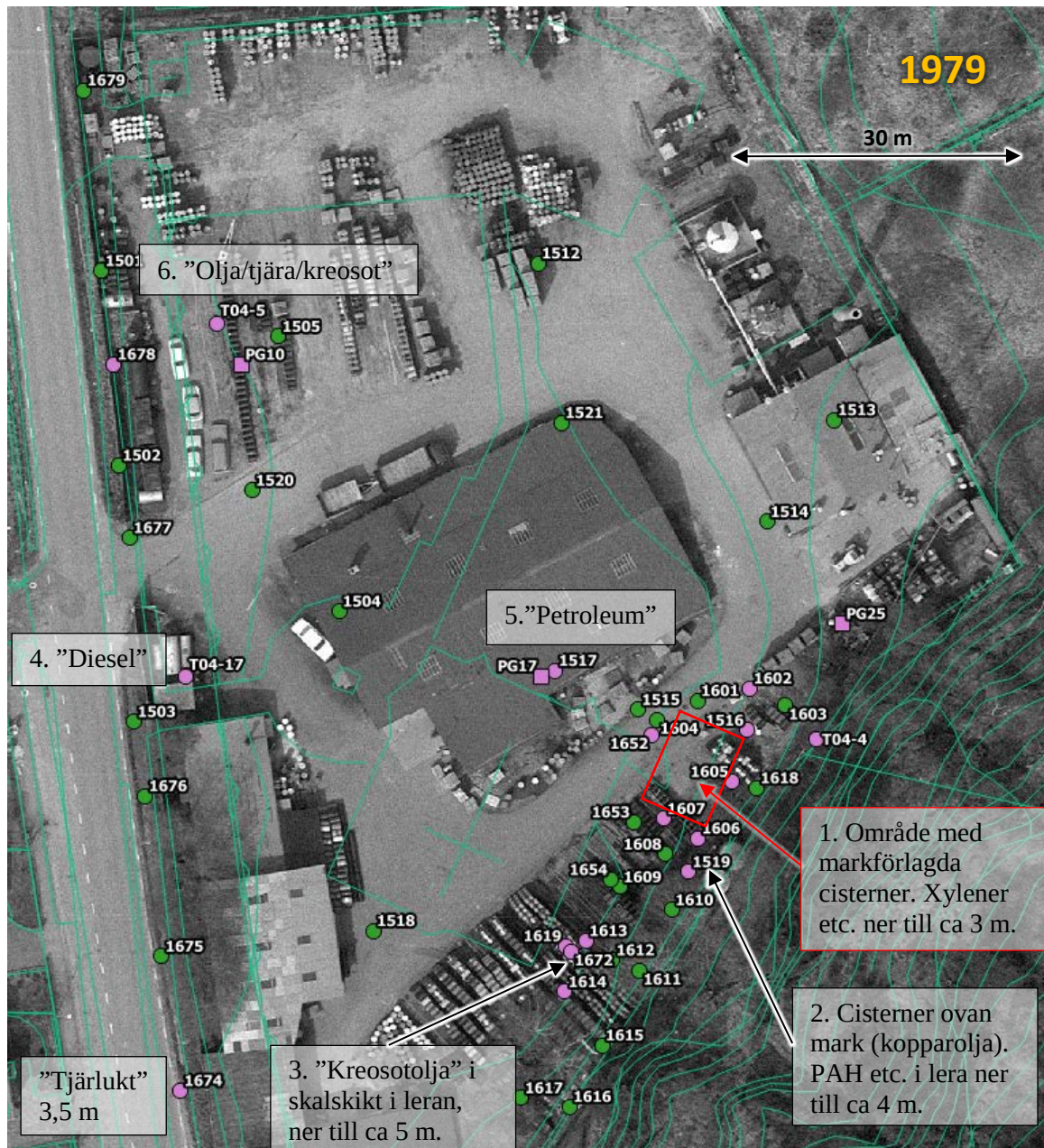
5. Fri fas vätska med **petroleumlukt** har påträffats i rotkanaler/sprickor i den ytliga torrskorpeleran vid PG17 och borrning 1517, se foto **Figur 17** nedan.
6. **Indikationer på vätskor** så som lukt av petroleum/tjära, förhöjda PID-halter och/eller förhöjda halter av främst lättare PAH har påträffats i flera punkter runt om på området (se PG10, T04-05, 1678, PG25).

I **Figur 17** nedan finns exempel på provtagningar där olika vätskor påvisats i marken.



Figur 17. Exempel på provtagningar där fri fas vätska påträffats. Nederst till höger visas skalskikt i leran.

Provtagningar med indikation på olika vätskor har sammanställts på en flygbild från 1979 nedan, se rosa markeringar.



Figur 18. Provtagningar som indikerar spill/läckage av olika vätskor (rosa punkter) på en flygbild från 1979. Gröna punkter visar djupare provtagning utan några indikationer på vätskor påträffats.

Sammanfattningsvis konstateras att det påträffats vätskor på större djup i marken kring tidigare markförlagda cisterner, i marken kring ovan-markcisterner samt på ytterligare några platser.

Enskilda spill/läckage av vätskor är svårt att kartlägga vid undersökningar och i samband med schakt i området förväntas ytterligare områden påvisas när leran under fyllnadsmassorna friläggs.

4.4 Ytligt och djupt grundvatten

Ytligt grundvatten har provtagits inom det tidigare fabriksområdet samt i omgivningen (Tyréns 2005). Undantaget i direkt anslutning till källområden med förorenad jord är halterna låga. Inga föroreningar har påvisats i det ytliga grundvattnet utanför det tidigare fabriksområdet i de provtagningar som utförts väster om Gamla Göteborgsvägen (villaområde samt odlingslotter). Någon egentlig spridning med ytligt grundvatten utanför fabriksområdet har därmed inte kunnat påvisas.

Djupt grundvatten i friktionsjorden under leran har provtagits genom installation av stålrör inom och väster om (nedströms) tidigare fabriksområde, se **Figur 19**. I två punkter, 1621 resp. 1673, fanns ingen friktionsjord och filtret placerades i lera ovan berget.



Figur 19. Provtagning av djupt grundvatten. Gula siffror avser djup till filter (m u my) och blå nivå för grundvattnet. Ingen friktionsjord har påvisats i provpunkterna 1621 eller 1673. PAH-L, bensen, toluen, xylener överskridande Naturvårdsverkets referensvärden för skydd av grundvatten har påträffats i 1501, 1505 och 1673.

I analyser har förhöjda halter av alifater påvisats i stålroren, vilket med stor sannolikhet bedöms vara ett resultat av skär/gångolja från stålroren och inte en markförorening (se även utförd referensprovtagning och utvärdering av påverkan från stålroren i *PM Referensprovtagning av stålror*, *Structor 2017-01-03*).

I flera grundvattenrör finns även spår av PAH-L, xylener och bensen etc. som är relaterade till markföroreningar och sannolikt härrörande från de olika vätskor såsom ”kreosotolja”, ”tjära”, ”nafta/råbensin” etc. som hanterats inom området. Halterna överskrider i några rör Naturvårdsverkets referensvärden för ”skydd av grundvatten”, framförallt i rör **1501**, **1505** och **1673**, se **Figur 19** ovan samt **Tabell 5** nedan.

Tabell 5. Sammanställning av provtagningar av djupt grundvatten (µg/l).

Punkt	Filternivå [mumy]	Datum	PAH L	PAH M	Bensen	Toluen	Xylener
1501	9,3-9,8	nov-15	8,9	<0,25	2,4	3,3	5,6
		apr-16	61	0,063	2,12	3,58	7,8
		okt-16	75	<0,025	3,02	6,39	14
1505	8,1-8,6	nov-15	11	<0,25	0,7	1,3	2,7
		apr-16	26	0,028	0,53	0,97	1,9
		okt-16	51	<0,025	0,96	1,91	4,2
1508	15,8-16,3	nov-15	<0,15	<0,25	<0,2	<0,2	<0,2
		apr-16	0,3	0,62	<0,2	<0,2	<0,2
		okt-16	0,22	<0,025	<0,2	0,25	<0,2
1512	6,3-6,8	nov-15					
		apr-16	0,15	<0,1	<0,2	0,26	<0,2
		okt-16	0,21	0,01	<0,2	<0,2	<0,2
1517	12,3-12,8	nov-15	2,1	0,91	<0,2	0,2	1
		apr-16	1,7	0,81	<0,2	0,29	0,6
		okt-16	1,2	0,13	<0,2	0,54	0,96
1620	16,2-16,7	apr-16	<0,15	0,14	<0,2	<0,2	<0,2
		okt-16	5,2	<0,025	1,12	0,83	1,6
1621	17,9-18,4	apr-16	0,44	0,18	<0,2	0,2	<0,2
		okt-16	0,19	0,17	<0,2	0,26	<0,2
1673	14,7-15,2	okt-16	7,1	1,1	16,4	0,55	1,2
Ref. filter			<0,15	<0,25	<0,2	0,28	<0,2
Ref. rör			<0,15	<0,25	<0,2	0,29	<0,2
SPI-RV ¹	Ångor i byggnader		>2000	>10	>50	>7000	>3000
SPI-RV ²	Bevattnings		>80	>10	>400	>600	>4000
NV skydd av GV³			10	2	0,5	350	250

¹Svenska petroleum institutets riktvärde för skydd vid inträngning av ångor i byggnader.

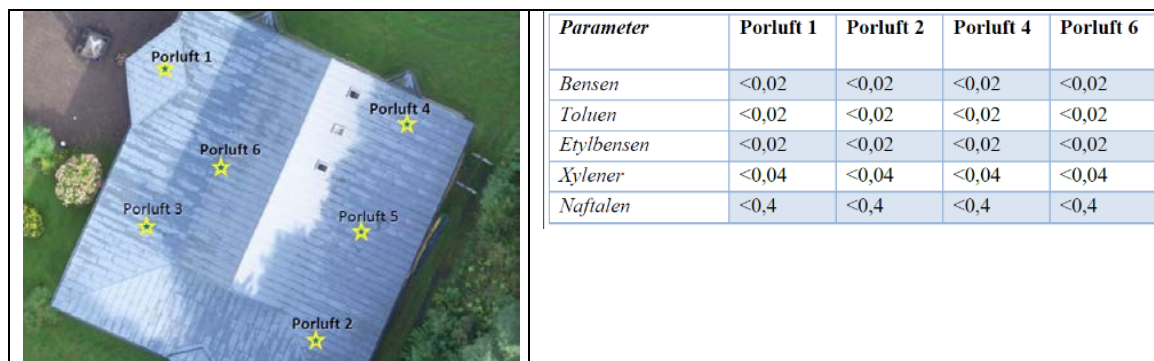
²Svenska petroleum institutets riktvärde för skydd vid bevattnings.

³Naturvårdsverkets beräkningsmodell, version 2.0. Halkriterier för skydd av grundvatten.

4.5 Övriga provtagningar

4.5.1 Porluft under nuvarande byggnad

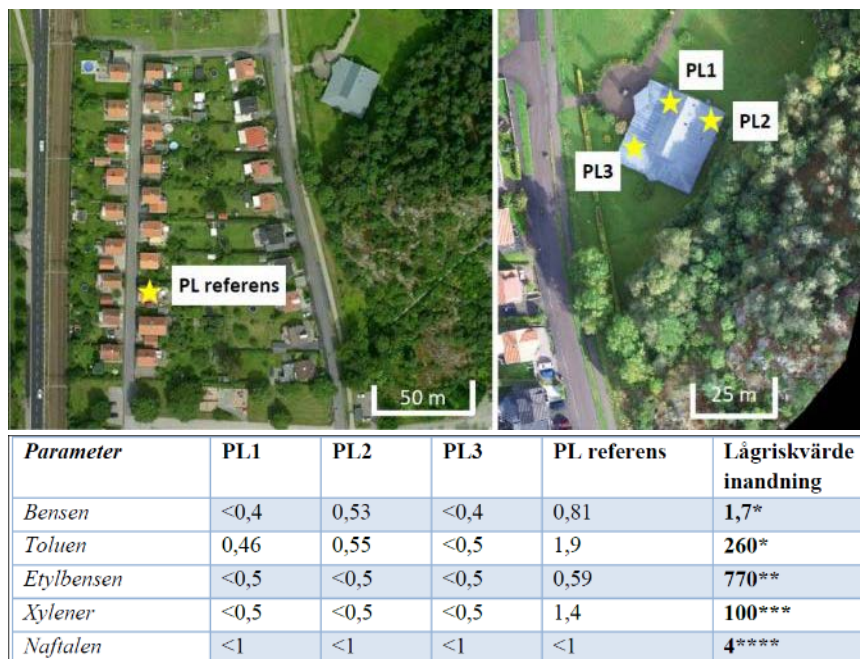
Provtagning av flyktiga föroreningar under befintlig byggnad (platta på mark) har utförts genom håltagning och aktiv pumpning genom kolrör. Inga förhöjda halter har påträffats, se **Figur 20**.



Figur 20. Provtagning porluft under befintlig byggnad ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Inga förhöjda halter av flyktiga föroreningar har påvisats i porluften under byggnadens bottenplatta.

4.5.2 Inomhusluft

Inomhusluften har provtagits på tre platser vid ett tillfälle genom passiv provtagning. Inga förhöjda halter relaterat till markföroreningar har påvisats, se **Figur 21** nedan.



Figur 21. Provtagning inomhusluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Inga förhöjda halter av flyktiga föroreningar relaterat till markföroreningar har påvisats i luften. Det finns spår av bensen och toluen, vilket är vanligt i inomhusmiljöer. Halten underskrider dock referensprovet.

4.5.3 Dricksvatten

Dricksvattnet har analyserats avseende aktuella föroreningar utan att några förhöjda halter har påvisats.

5 Riskbedömning

5.1 Allmänt

Riskbedömningen är genomförd för två scenarier:

1. Miljö- och hälsorisker för **nuvarande förhållanden** med rådande markanvändning inom och kring fastigheten. Fastigheten utgörs idag av tillgängliga gräsytor med en kyrkobyggnad.
2. Miljö- och hälsorisker för **framtida förhållanden** i det fall inga åtgärder genomförs. Markanvändningen inom fastigheten bedöms under överskådlig framtid vara mindre känslig där människor (barn och vuxna) vistas tillfälligt. Bostäder är inte aktuellt inom fastigheten.

Riskbedömningen bygger på nuvarande kunskap beträffande toxicitet samt kemiska och fysikaliska egenskaper av påvisade föroreningar. Naturvårdsverkets riktvärden och antaganden används så långt som möjligt i beräkningar och bedömningar.

Eftersom föroreningarna utgörs av ett stort antal olika ämnen med troliga samverkans effekter, samt delvis även finns i fri fas och under grundvattenytan bedöms beräkning av platsspecifika riktvärden enligt Naturvårdsverkets modell för förorenade områden endast vara tillämplig för de ytliga förorenade fyllnadsmassorna.

Riskbedömningen utgår även från en konceptuell modell med en bedömning av de miljö- och hälsorisker som djupare föroreningarna kan innebära och vilka risker för omgivningen föroreningarna kan utgöra på sikt.

5.2 Skyddsobjekt

De skyddsobjekt som identifierats och beaktas i den fördjupade riskbedömningen är:

- Barn och vuxna som vistas inom det tidigare fabriksområdet.
- Markekosystemet.
- Grundvattnet i marken (ev. framtida borrhinar) och spridning till omgivningen.

5.3 Nuvarande förhållanden

Det tidigare fabriksområdet utgörs idag av verksamhet (kyrka) där barn och vuxna vistas deltid för aktiviteter, lek och rekreation. Området är beläget i anslutning till villabebyggelse och relativt centralt i Kungsbacka.

5.4 Framtida förhållanden

Nuvarande användning bedöms vara aktuell även i framtiden. Området är inte planerat för bostäder enligt Kungsbackas fördjupade översiktsplan (ÖP037 2009).

5.5 Övergripande åtgärds mål

Baserat på nuvarande och framtida förhållanden samt Naturvårdsverkets vägledande aspekter för åtgärder med statliga bidrag har nedanstående övergripande åtgärds mål utarbetats:

1. Området ska kunna användas till verksamheter med deltidsvistelse såsom kyrka, parkmark, rekreation och liknande ändamål. Hälsorisker för de barn och vuxna som vistas i området ska vara försumbart små (låg risknivå).
2. Markmiljön inom området ska inte begränsa förutsättningarna för grönområde, parkmark och rekreation.
3. Behovet av restriktioner för framtida markarbeten, borrhningar, ledningsomläggningar och dylikt ska vara minimalt i området.
4. De åtgärder som genomförs bör vara kostnadseffektiva.
5. Åtgärder ska genomföras utan geoteknisk risk för befintliga byggnader och anläggningar i området.

5.6 Dimensionerande föroreningar

Föroreningarna i fyllnadsmassorna utgörs huvudsakligen av fasta stelnade bitar av beck/asfalt som är en blandning av ett stort antal olika ämnen. Dimensionerande föroreningar för miljö- och hälsorisker i de ytliga fyllnadsmassorna bedöms dock vara olika PAH:er samt tyngre aromatiska och alifatiska kolväten.

Auson AB har även hanterat både tyngre och lättare petroleum- och tjärbaserade vätskor som är komplexa blandningar av tusentals olika ämnen. Flera av de vätskor som har hanterats innehåller samma typ av föroreningar som beck/asfalt (dvs. PAH, alifater och aromater), men även terpenier, fenoler, kresoler och bensen, xylen, toluen etc. Dimensionerande föroreningar bedöms dock vara PAH, alifater, aromater och BTEX.

5.7 Toxiska egenskaper

Då föroreningarna innehåller ett stort antal olika ämnen förväntas betydande samverkans effekter. Det är därför vanskligt att använda humantoxikologiska referenskoncentrationer för enskilda ämnen vid bedömning av hälsoeffekter vid olika exponeringssituationer.

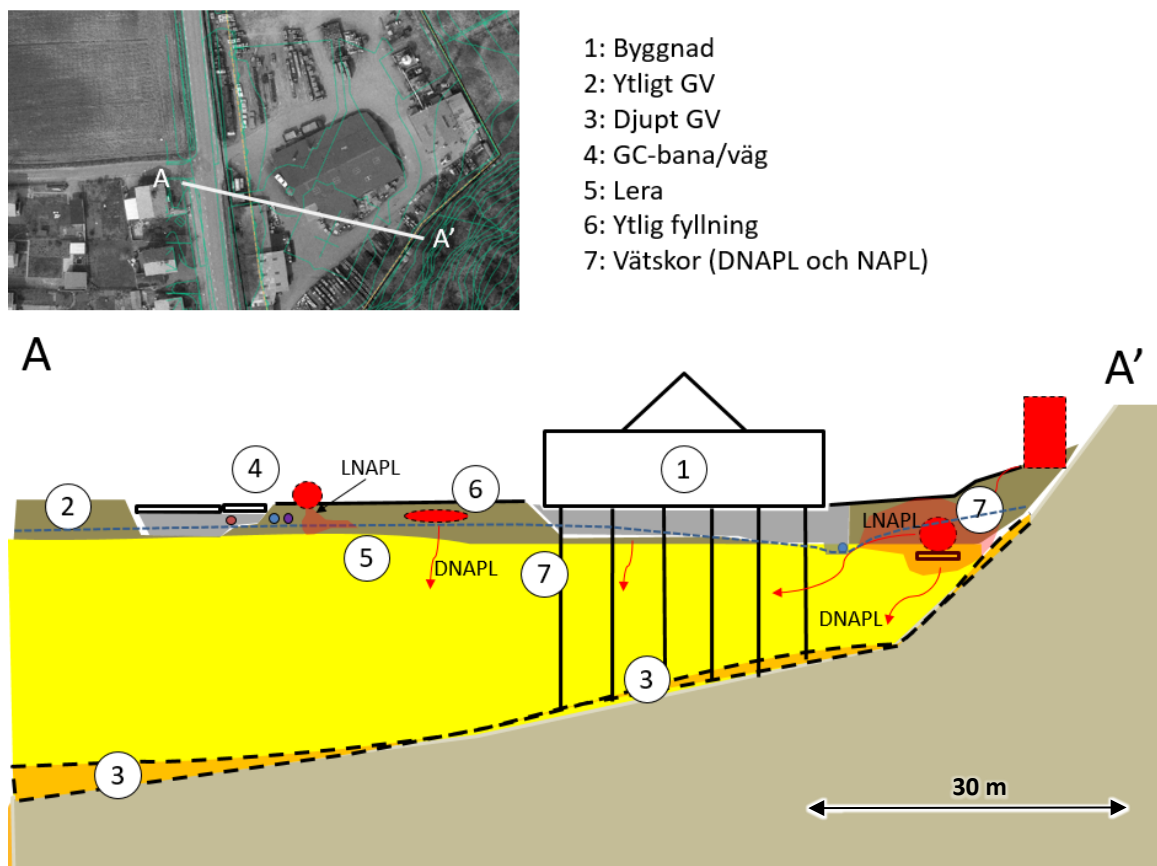
I USA har ATDSR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) i en rapport från 2002 (ATDSR 2002) konstaterat att direktexponering för **stenkolstjära/kreosot** via oralt intag orsakar akuta effekter som magont, brännande mun och hals men även förgiftningssymptom och skador på lever och njurar. Kontakt på hud ger utslag, hudirritationer och, vid större exponering, även kemiska brännskador. Ångor från tjära kan ge ögonirritation, grå starr, hudåkommor, lungproblem, huvudvärk och illamående. Vid längre tids exponering har arbetare som hanterat kreosotolja och andra stenkolsprodukter visat på en förhöjd förekomst av olika cancerformer (hudcancer, leukemi m fl). Barn som lekt i områden förorenade med tjära hade högre grad av hudutslag jämfört med barn som lekt i ej förorenade områden. Stenkolstjära är toxiskt för organismer i mark och vatten.

Trämjåra framställt från tr ved har i djurförsök gett lever och njurskador (doser > ca 200 mg/kg, d f r r tta). Högre doser har även lett till dödsfall hos råtta (oral LD₅₀ f r r tta  r ca 870 mg/kg). Hudkontakt kan leda till allergiska reaktioner och inflammationer (ATDSR 2002). Tr mj ran  r skadlig för akvatiska organismer.

Lättare lösningsmedel som **nafta/råbensin**  r h lsosafarligt och kan ge hudåkommor, huvudvärk, illamående etc. Långvarig exponering skadar nervsystem etc. Aromatiska enkla kolväten som bensen  r även cancerframkallande, dock ej xylen. De  r även toxiska för marklevande och akvatiska organismer.

5.8 Konceptuell modell

F roreningsituation och exponering/spridning beskrivs översiktligt i form av en konceptuell modell, se **Figur 22** med tillhörande beskrivningar nedan.



Figur 22. Modell över det tidigare fabriksområdet med nuvarande byggnad, GC-bana etc.

1. **Nuvarande kyrkobyggnad:** Inga förhöjda halter av aktuella föroreningar har påträffats i inomhusluft, under byggnaden eller i dricksvattnet. Människor som vistas i byggnaden förväntas inte exponeras för aktuella markföroreningar varken idag eller i framtiden. Provtagningar i direkt anslutning till byggnaden visar att det finns fri fas/höga halter i marken och vätskor bedöms därför finnas även skikt/strimor i leran under byggnaden. Byggnaden är uppförd på mark där det tidigare delvis funnits upplag av fat/tunnor samt del

av den äldre fabriksbyggnaden. Det har dock inte funnits några cisterner här och några större sammanhängande källområden med vätskor under byggnaden bedöms inte vara troligt.

2. **Ytligt grundvatten i omgivningen:** Inga förhöjda halter av aktuella föroreningar har påvisats i ytligt grundvatten utanför det tidigare fabriksområdet. Någon spridning av eller exponering för ytligt förorenat grundvatten förväntas därför inte ske i omgivningen. Inom det tidigare fabriksområdet är det ytliga grundvattnet lokalt kraftigt förorenat.
3. **Djupt grundvatten under leran:** Det djupa grundvattnet är påverkat av föroreningar från de olika vätskor som hanterats inom området. Kreosot och tjära är tunga vätskor (DNAPL) som kan sprida sig under grundvattenytan. Denna typ av vätskor har påträffats i skal/sandskikt i leran ner till ca 4-5 m och spår av de mer vattenlösliga komponenterna (naftalen, bensen etc.) har påvisats i det djupa grundvattnet. Exponering för det förorenade grundvattnet ske i samband med exempelvis borrarbeten för bergvärme. Dricksvattenbrunnar saknas.
4. **Nuvarande gång- och cykelbana samt ledningar:** GC-banan och olika ledningar (VA, tele, el) är anlagda längs Gamla Göteborgsvägen, delvis inom det tidigare fabriksområdet. Viss urschaktning har utförts vid anläggningen, men det finns förorenade fyllnadsmassor kvar under GC-banan och i anslutning till ledningarna. Exponering kan ske i samband med exempelvis olika markarbeten.
5. **Naturlig siltig lera:** Den naturliga leran är till stora delar opåverkad av föroreningar. Ovanlagrade fyllnadsmassor med stelnade rester av asfalt/beck har inte spridits ner till leran. I områden med spill/läckage av olika vätskor är dock även den naturliga leran förorenad lokalt (se även punkt 7 nedan). Exponering kan ske i samband med exempelvis olika markarbeten och nybyggnation (arbetsmiljö, inträngning av ångor).
6. **Ytlig fyllning:** de ytliga fyllnadsmassorna är förorenade av framförallt stelnade rester av asfalt/beck. Beckresterna har kraftigt förhöjda halter av bland annat olika PAH:er. Totalt bedöms mellan 7 000 och 10 000 m³ förorenade fyllnadsmassor finnas inom det tidigare fabriksområdet. Även mulljorden är förorenad med PAH:er, dock inte lika kraftigt som fyllnadsmassorna. Exponering för föroreningarna kan ske vid vistelse i området (främst hudkontakt, intag av jord), vid ytliga markarbeten (grävning, omläggning av ledningar, planteringsarbeten etc.) samt byggnation. Halterna är även så höga att det markökologiska systemet kan påverkas negativt.
7. **Spill/läckage av vätskor:** Auson AB har hanterat ett flertal olika lätta (sk. LNAPL) och tunga (sk. DNAPL) vätskor baserade på petroleum och olika tjäror. Exempel på vätskor som hanterats är kreosotolja, trätjära, lösningsmedel, nafta, diesel, spindelolja, transformatorolja etc. Följande platser har identifierats i undersökningarna:
 - Ett större område med lättare vätskor i form av lösningsmedel (xylene etc.) har påträffats kring de tidigare markförlagda cisternerna med nafta/råbensin öster om nuvarande

kyrkobyggnad. Cisternerna är borttagna men betongplattan under cisternerna är kvar. Leran och fyllnadsmassorna kring cisternområdet och makadam/krossmaterialet under betongplattan är förorenade med nafta/råbensin och höga halter av xylener (ca 700 mg/kg TS) har uppmätts ner till ca 3 m. Grundvattenytan är belägen ca 1-2 m och lösningsmedlen förväntas inte ha trängt ner till större djup under betongplattan (ca 3 m). I grundvattenrör installerade strax nedströms cisternområdet är halterna låga.

- Kreosotliknande vätska med höga halter av bland annat PAH (ca 1000 mg/kg TS) har påträffats i fri fas i skal/sandskikt i leran vid sydöstra hörnet av nuvarande byggnad. Lukt och indikationer finns ner till ca 5 m i leran. I sand- och skalskikt i lera förväntas tunga vätskor (DNAPL) finnas på fler platser, även under nuvarande kyrkobyggnad. Vid grundläggning av byggnaden ska leran ha luktat kraftigt. Tunga vätskor sprids långsamt som fri fas i marken under en grundvattenyta så länge det finns tillräckligt med "sammanhängande vätskefas" för spridning.
- Mindre spill/läckage av vätskor förväntas lokalt inom fabriksområdet där fat/tunnor läckt eller skadats. Lång verksamhetstid, hantering av fat med truck osv. innebär att mindre spill/läckage är sannolikt. Detta ger vanligen spill till begränsade djup och har mindre spridningsbenägenhet. Utöver områden kring tidigare cisterner, där spill/läckage är förväntat, har vätskor påträffats i 2 av ca 20 provgropar. Överslagsmässigt förväntas därför ca 10% av lerans överyta vara förorenad med lokala mindre spill av olika vätskor.
- Kombinationen av lösningsmedel och tyngre kreosot/tjära innebär även att lösligheten ökar, att viskositeten minskar och spridningsbenägenheten både som fri fas (vätska) och löst i vatten ökar.

Exponering för vätskorna kan ske vid framtida markarbeten (grunda och djupa), borrarbeten, nybyggnation (inandning av ångor) o.d. Spridning sker främst i fri fas för tyngre vätskor och de mer vattenlösliga komponenterna (naftalen, bensen) har påvisats i det djupa grundvattnet. Markecosystemet är påverkat av vätskorna, flera av vätskorna användes som bekämpningsmedel (träskydd).

6 Hälsoriskbedömning

6.1 Hälsorisker inom det tidigare fabriksområdet

Nuvarande hälsorisker har kvantifierats genom att beräkna platsspecifika hälsoriskbaserade (PSR Hälsa) för nuvarande förhållanden. Beräkningarna har gjorts med Naturvårdsverkets beräkningsmodell med följande antaganden:

- Riktvärdena avser ytlig jord som barn och vuxna kan exponeras för. I ytlig jord sker normalt även markarbeten, omläggning av ledningar, plantering etc. Detta sker sällan på djup större än 1,5 m.
- Vistelse sker deltid för barn och vuxna. I beräkningarna antas att barn och vuxna vistas lika ofta inom området och i medeltal 120 tillfällen årligen (avser intag av jord, inandning av

damm utomhus). Hudkontakt sker vid 90 tillfällen per år (sommarmånaderna). Området ligger intill villabebyggelse och används för lek/rekreation både av nuvarande församling och av grannarna.

- Ingen odling av grön/rot-saker sker och det saknas förutsättningar för dricksvattenbrunn. Då inga förhöjda halter påträffats i nuvarande byggnad antas inte heller att det sker någon exponering via inandning av ångor.

Beräknade hälsoriskbaserade riktvärden redovisas i tabellen nedan tillsammans med representativa halter (UCLM95) för dimensionerande föroreningar i mulljord samt ytliga fyllnadsmassor. Beräkningarna redovisas i **bilaga 4**.

Tabell 6. Representativa halter i mulljord och fyllnadsmassor (mg/kg TS) samt platsspecifika hälsoriskbaserade riktvärden för yttlig jord, nuvarande förhållanden.

Förorening	Representativ halt i yttlig mulljord	Representativ halt i ytliga fyllnadsmassor	PSR hälsa
PAH-L	1	520	3 100 (ff)
PAH-M	15	1 300	270 (ff)
PAH-H	31	1 200	8
Alifater >C12-C16	-	2 100	4 600 (ff)
Aromater >C10-C16	-	700	3 600 (ff)

ff - fri fas, beräknat riktvärde överskrider nivån för där fri fas kan finnas.

På sikt förutsätts att fastigheten på ett eller annat sätt bebyggs med ytterligare byggnader för verksamheter (ej bostäder). Platsspecifika hälsoriskbaserade riktvärden har beräknats för jord under blivande byggnader. Jord under byggnader är inte tillgänglig för direktkontakt och i beräkningarna förutsätts endast exponering via inandning av ångor (200 dagar/år för både barn och vuxna).

Tabell 7. Representativa halter i fyllnadsmassor (mg/kg TS) samt platsspecifika hälsoriskbaserade riktvärden vid ev. ny byggnad (inandning av ångor).

Förorening	Representativ halt i ytliga fyllnadsmassor	PSR Hälsa (ny byggnad)
PAH-L	520	58
PAH-M	1 300	7
PAH-H	1 200	300
Alifater >C12-C16	2 100	2 100 (ff)
Aromater >C10-C16	700	6 200 (ff)
Bensen	-	0,4
Xylen	-	33

ff - fri fas, beräknat riktvärde överskrider nivån för där fri fas kan finnas.

Av tabellerna ovan framgår att:

- Föroreningshalterna i den **ytliga mulljorden** överskrider beräknade riktvärden, främst vad gäller PAH-H. Beräknat riktvärde är 8 mg/kg TS och den representativa halten i mulljorden är 31 mg/kg TS. Det kan således inte uteslutas att det finns hälsorisker vid frekvent vistelse inom fastigheten.

- PAH-H och PAH-M i **fyllnadsmassorna** är långt högre än beräknade hälsoriskbaserade riktvärdena och de kraftigt förorenade massorna utgör hälsorisker vid exponering (främst intag av jord, hudkontakt).
- Vid **ev. nybyggnation** inom fastigheten kan även fyllnadsmassorna utgöra hälsorisker genom inträngning och inandning av ångor. Riktvärdena baseras på en ”standardbyggnad” och vistelse ca 200 dagar/år.
- Alla **markarbeten**, grävning, plantering, omflyttning av massor o.d. som innebär att de kraftigt förorenade fyllnadsmassorna blottläggs innebär **akuta hälsorisker** då stelnade rester av beck etc. med mycket höga halter av PAH blottläggs och direktexponering kan ske.

För de områden där olika typer av **vätskor** påvisats i leran är halterna av olika föroreningar mycket höga. Kring de markförlagda cisternerna har höga xylenhalter uppmätts i haltkoncentrationer på 120 - 700 mg/kg TS ner till ca 3 m (provpunkt 1516) och 21 000 mg/kg TS (T04-4). Den förorenade leran är övertäckt med andra massor bedöms främst utgöra hälsorisker vid ev. direktkontakt i samband med **markarbeten**, **borrningar** samt vid ev. framtida **nybyggnation** ovan områden med mer flyktiga vätskor. Bedömningen gäller även för de skikt i leran där kreosotliknande vätskor påträffats med höga halter av PAH (se t ex provpunkt 1672, PAH-M 180-740 mg/kg TS på djupen 1,8-3,3 m).

6.2 Hälsorisker i omgivningen

Föroreningar kan spridas till omgivningen med det djupa grundvattnet där spår av lättare PAH:er och bensen påträffats i västra delen av området (provpunkter 1501, 1673).

Något uttag av djupt grundvatten för dricksvattenändamål sker inte idag och förväntas inte heller i framtiden. De geologiska förutsättningarna är olämpliga för installation av grävda brunnar. Uppmätta halter i grundvattnet är även lägre än exempelvis de riktvärden som beräknats av SPI för bevattning (se **Tabell 5** ovan) och hälsoriskerna bedöms därför vara små.

Vid ev. borrningar för energiändamål o.d. förväntas lätt förorenat vatten behöva hanteras och rening krävas innan exempelvis utsläpp till dagvatten eller recipient.

7 Miljöriskbedömning

7.1 Markmiljö

Enligt de övergripande åtgärdsmålen ska markmiljön inte begränsa förutsättningarna för grönområde, parkmark och liknande.

Odling av grödor är ej aktuellt och skydd för markmiljön motsvarande MKM, dvs. ”mindre känslig markanvändning” bedöms vara tillräckligt för att uppnå åtgärdsmålen. MKM innebär att 50% av arterna skyddas. Uppmätta halter i yttlig mulljord och fyllnadsmassor redovisas tillsammans med riktvärden för skydd av markmiljö i **Tabell 8** nedan.

Tabell 8. Representativa halter i mulljord och fyllnadsmassor (mg/kg TS) samt riktvärden för skydd av markmiljö.

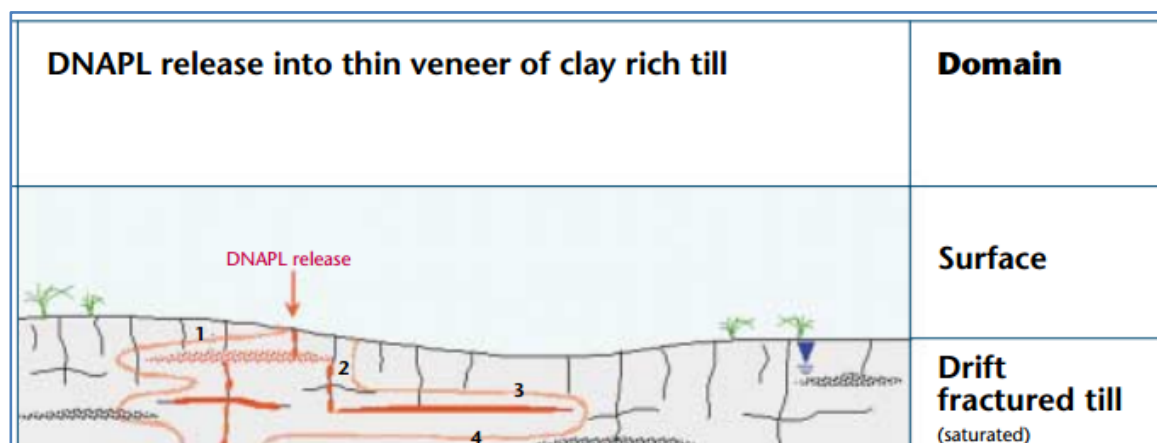
Förorening	Representativ halt i ytlig mulljord	Representativ halt i ytliga fyllnadsmassor	Skydd av markmiljö (50% av arterna, MKM)
PAH-L	1	520	15
PAH-M	15	1 300	40
PAH-H	31	1 200	10
Alifater >C12-C16	-	2 100	500
Aromater >C10-C16	-	700	15

Av tabellen framgår att riktvärdena för skydd av markmiljön överskrids för både mulljorden och de kraftigt förorenade fyllnadsmassorna. Negativa effekter för markmiljön förväntas därför. Det är även känt att det har varit svårt att etablera buskar och träd inom delar av fabriksområdet.

7.2 Spridning

Spridning av föroreningar sker dels via grundvatten samt dels genom spridning av fri fas tyngre vätskor i genomsläppliga skikt i leran. De spår av verksamhetsrelaterade föroreningar som påträffats i det djupa grundvattnet (PAH-L, bensen etc.) visar att det sker en viss spridning. Halterna i det djupa grundvattnet bedöms dock inte innebära några betydande hälsorisker (se Hälsoriskbedömningen ovan).

Skikt med tyngre vätskor (kreosotliknande olja/tjära) har påträffats i leran under grundvattenytans trycknivå. Diffusionen av denna typ av kreosot/tjärlignande vätskor in i omgivande lera är väsentligt mindre jämfört med lättare lösningsmedel och denna typ av vätskor tränger därför inte in i leran. Spridningen av tyngre vätska sker därför långsamt och så länge det finns ett sammanhängande område med vätska som "föder" sprickor, se exempelvis *An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface* (UK-EA 2003).



Figur 23. Exempel konceptuell modell med DNAPL (tjära/kreosot) i lerig jord med sprickor (UK-EA 2003).

8 Samlad riskbedömning och behov av riskreduktion

Utförda undersökningar visar att det finns förorenad mulljord, kraftigt förorenade fyllnadsmassor med stelnade rester av asfalt/beck samt områden med spill/läckage av olika petroleum/tjära/kreosot-baserade vätskor.

Volymen förorenade fyllnadsmassor inkl. mulljord och rivningsrester bedöms uppgå till mellan 7 000 och 10 000 m³. Mängden PAH:er i fyllnadsmassorna bedöms till mellan 5 och 20 ton. Provtagningar och analyser visar att halterna av exempelvis PAH vida överskrider beräknade hälso- och miljöriskbaserade riktvärden. Det finns därför ett uppenbart behov av att säkerställa att miljö- och hälsoriskerna reduceras till acceptabla nivåer.

Auson har hanterat stora volymer rostskyddsmedel, träskyddsmedel och andra vätskor i sin produktion. Delområden med spill/läckage av både lättare (LNAPL) vätskor som olika lösningsmedel och diesel samt tyngre vätskor (DNAPL) ha påträffats vid undersökningarna. Exempelvis finns kring tidigare markförlagda cisterner höga halter av xylen i marken och kreosotliknande vätskor har påträffats i sand/skal-skikt på större djup i leran, under grundvattenytan. Ytterligare områden med mindre spill/läckage finns sannolikt även om dessa inte lokaliserats vid undersökningarna. Vätskorna är toxiska och utgör hälsorisker vid direktexponering (markarbeten, borrningar o.d.) och/eller vid nybyggnation (inandning av ångor).

I samband med uppförande av nuvarande kyrkobyggnad, som är grundlagd med stålplåtar ner till berg, finns uppgifter om att marken luktade kraftigt. Fri fas (kreosotliknande olja samt petroleum) har påträffats i anslutning till byggnaden och föroreningar finns med stor sannolikhet även under byggnaden. Några förhöjda halter har dock ej påträffats i inomhusluft eller i porgas direkt under byggnaden och det bedöms därför inte finnas några hälsorisker för de som vistas i byggnaden. Byggnaden är uppförd på mark där det tidigare delvis funnits upplag av fat/tunnor samt del av den äldre fabriksbyggnaden. Det har dock inte funnits några cisterner här och några större sammanhängande källområden med vätskor under byggnaden bedöms inte vara troligt.

Lösta föroreningar (bensen, PAH-L etc.) har konstaterats i djupt grundvatten och vätskor har påvisats i skikt/strimor i leran. Spridningen förväntas pågå så länge det finns sammanhängande källområden med vätskor i marken och är med stor sannolikhet pågående. Det bedöms därför finnas ett behov av att minska spridningen från området. Kombinationen av olika lösningsmedel och vätskor i marken bidrar till att spridningen är betydande.

9 Förslag till mätbara åtgärds mål

9.1 Ytlig jord (< 1,5 m)

Mätbara åtgärds mål föreslås gälla för ytlig jord **ner till 1,5 m**. Under detta djup sker sällan markarbeten, det saknas förutsättningar för en livskraftig markmiljö och sannolikheten för direktexponering är mycket liten.

Åtgärds målen har beräknats med Naturvårdsverkets modell för riktvärden i jord med antagande av att byggnader för verksamhet (ej bostäder) ska kunna uppföras fritt inom området, att barn och

vuxna ska kunna vistas frekvent (ej heltid) och att markmiljön inte ska begränsa förutsättningarna för etablering av grönområden. Åtgärds mål samt beräkningsantaganden redovisas i **Tabell 9** nedan.

Tabell 9. Förslag till preliminära åtgärds mål för yttlig jord ner till 1,5 m.

Ämne	Riktvärde	Styrande för riktvärde
Bensen	0,35	mg/kg Inandning av ånga
Toluen	35	mg/kg Inandning av ånga
Etylbensen	50	mg/kg Skydd av markmiljö
Xylen	30	mg/kg Inandning av ånga
Alifat >C5-C8	50	mg/kg Inandning av ånga
Alifat >C8-C10	40	mg/kg Inandning av ånga
Alifat >C10-C12	400	mg/kg Inandning av ånga
Alifat >C12-C16	500	mg/kg Skydd av markmiljö
Alifat >C16-C35	1 000	mg/kg Skydd av markmiljö
Aromat >C8-C10	50	mg/kg Skydd av markmiljö
Aromat >C10-C16	15	mg/kg Skydd av markmiljö
Aromat >C16-C35	40	mg/kg Skydd av markmiljö
PAH-L	15	mg/kg Skydd av markmiljö
PAH-M	7,0	mg/kg Inandning av ånga
PAH-H	8,0	mg/kg Hudkontakt jord/damm

Avvikelser i scenarioparametrar	Eget scenario	Generellt scenario
	Tölö 0-1,5 m åtgärds mål	KM
Intag av dricksvatten	beaktas ej	beaktas
Intag av växter	beaktas ej	beaktas
Exp.tid barn - intag av jord	120	365 dag/år
Exp.tid vuxna - intag av jord	120	365 dag/år
Exp.tid barn - hudkontakt jord/damm	90	120 dag/år
Exp.tid vuxna - hudkontakt jord/damm	90	120 dag/år
Exp.tid barn - inandning av damm	90	365 dag/år
Exp.tid vuxna - inandning av damm	90	365 dag/år
Exp.tid barn - inandning av ånga	200	365 dag/år
Exp.tid vuxna - inandning av ånga	200	365 dag/år
Längd på förorenat område	100	50 m
Flöde i rinnande vattendrag	0,6	0,03171 m³/s
Skydd av markmiljö	MKM-värde	KM-värde
Skydd av grundvatten	utförs ej	utförs

9.2 Lera på djup >1,5 m

I leran på större djup (>1,5 m) under framtida markytor utgör aktuella jordföroreningar marginella hälso- eller miljörisker under förutsättning att det inte finns en separat fri fas (vätska). För vätskor gäller inte Naturvårdsverkets beräkningsmodell för riktvärden då vätskor är betydligt mera spridningsbenägna, flyktiga etc. jämfört med förorening bundet till jord. Som mätbara åtgärds mål föreslås därför haltgränser som säkerställer att fri fas vätska inte ska finnas i leran.

Dessa har beräknats enligt:

$$C_{\text{freephase}} = C_{\text{sol}} \left[K_d + \frac{(\theta_w + \theta_a \cdot H)}{\rho_b} \right]$$

(se NV5976, sid 52)

Vid beräkningen antas fysikaliska och kemiska egenskaper helt enligt Naturvårdsverkets modell, dock med en organisk halt på 0,5% i leran (utförd TOC-analys är 0,46%). Beräknade haltgränser redovisas i **Tabell 10** nedan.

Tabell 10. Förslag till mätbara åtgärds mål för lera >1,5 m djup (mg/kg TS).

Ämne	Åtgärds mål i lera >1,5 m djup (halter där fri fas kan finnas)
Bensen	300
Toluen	300
Etylbensen	250
Xylen	250
Alifat >C5-C8	200
Alifat >C8-C10	200
Alifat >C10-C12	250
Alifat >C12-C16	250
Alifat >C16-C35	600
Aromat >C8-C10	250
Aromat >C10-C16	100
Aromat >C16-C35	60
PAH-L	100
PAH-M	60
PAH-H	10

I Tölö förväntas enskilda mindre läckage/spill av vätskor ha skett från exempelvis trasiga fat/tunnor. Dessa kan visserligen ge höga halter i enskilda stickprov i leran, men mängderna som förväntas finnas på djup >1,5 m är små. Mindre lokala spill på **ytor mindre än 10 m²** bedöms därför kunna kvarlämnas på djup större >1,5 m utan några betydande miljö-, hälso-, eller spridningsrisker.

I områden med tidigare cisterner öster om nuvarande kyrkobyggnad finns ett större källområde där fri fas vätskor påträffats i undersökningarna och även förväntas under kvarvarande konstruktioner (bottenplatta för cisterner etc.). Källområdet är ca 300-400 m² och här finns både xylener och olika PAH:er i leran överskridande åtgärds målen. Då det är ett större sammanhängande källområde, dessutom med ett ringa jorddjup till berget, finns en betydande spridningspotential för vätskorna.

10 Åtgärdsutredning

10.1 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.

Inom ramen för åtgärdsutredningen har flera olika alternativ utretts med ökande ambitionsgrad. Totalt redovisas fem olika åtgärdsalternativ (inklusive noll-alternativet) som underlag för en riskvärdering.

10.2 Utredda men förkastade alternativ

Under åtgärdsutredningen har två alternativ utretts men förkastats i ett tidigt skede.

1. **Täckning:** Teoretiskt skulle det vara möjligt att förhindra framtida exponering för ytliga kraftigt förorenade fyllnadsmassor genom att täcka marken med ett skyddsskikt eller att skifta ut den översta delen av marken med ren jord. Förfarandet innebär att kraftigt förorenade massor kvarlämnas och det kommer att krävas omfattande restriktioner för markarbeten, framtida byggnationer etc. En generell höjning av markytan för få en tillräckligt säker täckning bedöms inte heller vara rimligt i området. Då medelmäktigheten kraftigt förorenade fyllnadsmassor är begränsat (1-1,5 m) är dessa lätt tillgängliga med en enkel urschaktning. En sådan täckning uppfyller inte de övergripande åtgärds målen och bedöms inte heller vara kostnadseffektiv på längre sikt då alla typer av markarbeten kommer att innebära betydande merkostnader i framtiden. Täckning av de ytliga kraftigt förorenade fyllnadsmassorna har därför förkastats som åtgärdsalternativ då det varken bedöms vara miljömässigt motiverat eller kostnadseffektivt på sikt.
2. **Totalsanering under byggnad:** Även totalsaneringsalternativet, dvs. att säkerställa att inga föroreningar finns kvar inom fastigheten och under nuvarande kyrkobyggnad, har utretts men förkastats i ett tidigt skede. Kostnaderna har grovt kalkylerats till 50-60 Mkr och skulle kräva stora ingrepp under nuvarande byggnad, med betydande risker att skada byggnaden alternativt kräva att byggnaden rivs/flyttas. I de provtagningar som utförts av luft under och i byggnaden har inga förhöjda halter påträffats och det finns inga hälsorisker för de som vistas i byggnaden. Det bedöms därför inte vara miljömässigt motiverat med så pass kostsamma åtgärder.

10.3 Kalkyler

Åtgärdsalternativen utreds principiellt och kalkylerna för respektive alternativ är framförallt avsedda att användas för att väga alternativen mot varandra i en riskvärdering. Kalkylerna är generellt baserade på rimligt höga antaganden. Sannolikheten att det verkliga utfallet för en åtgärd underskrider kalkylerna bedöms således vara större än tvärtom. Kalkylerna är baserade på nuvarande å-priser och förutsätter att åtgärderna utförs inom 1-2 år.

Inom ramen för en detaljprojektering med upphandling av entreprenör, avfallsmottagare etc. rekommenderas att en förfinad kalkyl utförs. Det verkliga utfallet av kostnaderna för åtgärden kommer inte att vara helt kända innan åtgärderna är utförda i sin helhet.

En upphandling av avfallsmottagning har utförts under 2016. Erhållna å-priser för mottagning av Farligt Avfall resp. icke-Farligt Avfall används i kalkylerna.

10.4 Platsspecifika förutsättningar

De platsspecifika förutsättningar som beaktas i åtgärdsutredningen är följande:

- Förekommande ytliga fyllnadsmassor är lätt tillgängliga för schakt inom stora delar av området. I områdets västra del, längs Gamla Göteborgsvägen, finns dock förorenade fyllnadsmassor i ledningsgravar och delvis under en kommunal gång- och cykelbana.
- Leran i området har mycket låg skjuvhållfasthet och innehåller skal/sandskikt. Vid schakt djupare än 1,5 m krävs schaktslänter om 1:1,5 eller flackare. Bärigheten i leran är dålig.
- Nuvarande byggnad är uppförd med stålplåtar på berg som inte tål massförflyttning i sidled. Vid djup schakt >1,5 m nära byggnaden krävs stödkonstruktion (spont) för att inte riskera att skada byggnaden.
- Området angränsar till ett villaområde och omgivningspåverkan för närboende bör minimeras.

10.5 Översikt potentiella åtgärdsmetoder

För de ytliga fyllnadsmassorna med stelnade rester av asfalt/beck finns idag ingen annan kostnadseffektiv åtgärd än att schakta ur massor och transportera dessa till deponi. En täckning har övervägts, men förkastats då den inte uppfyller de övergripande åtgärdsmålen.

För större sammanhängande källområden med vätskor i marken, vilket påträffats strax öster om nuvarande byggnad, är sanering *in situ*, dvs. behandling utan föregående schaktning, teoretiskt möjligt då framförallt petroleumbaserade lösningsmedel är biologiskt, kemiskt och termiskt nedbrytbara. Dock är de kreosotliknande vätskor med höga halter av bland annat PAH:er som även påträffats här betydligt mera motståndskraftiga i marken. Förekomst av fri fas "kreosot" i sand- och skalskikt på större djup i leran är även mycket svårt att behandla genom injektering.

Generellt är de geologiska förutsättningar för sanering *in situ* mycket utmanande med en tät och vattenmättad skiktad lera, även om det bedöms vara fullt möjligt att injektera i marken. Det finns flera fördelar med en *in situ*-sanering, framförallt en avsevärt mindre omgivningspåverkan (schakt, transporter, omhändertagande av jord) jämfört med schaktalternativen. Ytliga fyllnadsmassor med stelnade rester, rivningsrester, betongfundament och dylikt måste dock avlägsnas innan en sanering *in situ* är möjlig. I tabellen nedan sammanställs olika metoder översiktligt.

Tabell 11. Saneringsmetoder för Tölö. "Kraftfulla" metoder är markerade med rött, åtgärder för i första hand plymorråden är markerade med gult. Skyddsåtgärder är markerade med blått.

Metod	Beskrivning	Lämplighet Tölö
Schaktning med konventionell grävmaskin	Jord avlägsnas fysiskt. Arbetet kan kräva stödkonstruktioner. Transport av massor till extern anläggning.	Konventionell metod. Vid schakt på djup >1,5 m krävs geotekniska skyddsåtgärder pga. mkt lös lera. Djup schakt nära byggnad kräver stödkonstruktion. Utreds vidare. Kostnad mellan 1 000 och 2 500 kr/m ³ .
Schakt med stor auger	Jord avlägsnas fysiskt. Arbetet kan kräva stödkonstruktioner. Transport av massor till extern anläggning. Återfyllning sker ofta med betong/cement.	Få exempel i Sverige. Djup schakt nära byggnad kräver stödkonstruktion. Kostnad mellan 2 000 och 3 000 kr/m ³ . Hög etableringskostnad, utreds vidare.
Termisk behandling in-situ 1: (TCH, konduktiv uppvärmning, ERH-resistivitet)	Jord och grundvatten värms upp och föroreningar sugas i gasfas till markytan för behandling.	Metoden är lämplig för sanering av djupare källområde med lågpermeabla jordar. Utreds vidare. Kostnad mindre projekt ca 3 000 kr/m ³ . Hög etableringskostnad, ca 1 Mkr.
Termisk behandling in-situ 2: (SEE- injektering av ånga).	Jord och grundvatten i källområdet värms upp och föroreningar sugas i gasfas till markytan för behandling.	Tillämplig i källområden med genomsläppliga jordar. Fungerar sämre i lågpermeabla täta jordar och därför ej lämplig i Tölö.
Vakuumextraktion, SVE (ventilering in-situ)	Vakuumextraktion och rening på markytan (vatten, ånga) av blottlagda föroreningar genom grundvattensänkning.	Fungerar endast på föroreningar över grundvattenytan. Förutsätter homogena vatten-/och luftgenomsläppliga jordarter. Marginell massreduktion, ej lämplig.
Luftning och ventilering (air sparging, venting)	Luft med eventuella tillsatsmedel trycks ner i marken ovan grundvattenytan och samlas upp i gasfas.	Förutsätter homogena vatten-/och luftgenomsläppliga jordarter. Marginell massreduktion, ej lämplig.
Stimulerad biologisk nedbrytning in situ	Tillsatser av kolkällor med eller utan bakteriekultur i vätskeform som sprids i marken genom injektering eller naturlig gradient. Finns medel som kombinerar med kol för att förhindra framtida spridning "trap&treat".	Kan injekteras i olika typer av finkorniga jordar. Begränsad massreduktion per tidsenhet. Ej aktuellt för ytliga fyllnadsmassor, men beaktas för djupare jord. Flera injekteringar kan behövas. Utreds vidare. Kostnad 300 till 1000 kr/m ³ (FRTR).
Kemisk oxidation in situ	Injektering av ozon, väteperoxid, kaliumpermanganat etc. som sprids i marken genom rundpumpning, naturlig gradient eller injektering.	Kan injekteras i olika typer av finkorniga jordar. Ej aktuellt för ytliga fyllnadsmassor, men beaktas för djupare jord. Problem kortvarig effekt och re-bound (återdiffusion). Flera injekteringar behövs. Utreds vidare. Kostnad 300 till 1000 kr/m ³ (FRTR).
Kemisk reduktion in situ	Injektering av reduktionsmedel.	Ej aktuellt för lösningsmedel (xylener etc) och PAH, ej lämplig.
Stabilisering/solidifiering (S/S)	Tillsatts av additiv som reagerar med förorening och reducerar spridningsbenägenhet.	Föroreningar finns kvar i marken. Kräver stödkonstruktion nära byggnaden. Utreds vidare. Kostnad 2000 till 3000 m ³ (FRTR).
Övervakad naturlig nedbrytning (ÖNS)	Metoden bygger på att det finns en pågående naturlig nedbrytning.	Källtermen måste åtgärdas, endast aktuell i kombination. Utreds vidare. Kostnad 100 tkr/år.
Permeabel reaktiv barriär	En barriär med reaktivt material installeras tvärs grundvattenplymen	Kräver långsiktigt underhåll. Dåliga geologiska förutsättningar, ej lämplig.
Avskärmning	Föroreningsspridning kan förhindras genom slagning av tät spont.	Föroreningar finns kvar i marken. Endast aktuellt i kombination med andra åtgärder, utreds vidare. Kostnad spont ca 1500-2000 kr/m ² .

10.6 Noll-alternativet

I det fall inga åtgärder utförs kvarstår de miljö- och hälsorisker som påvisats. Akuta hälsorisker uppkommer vid markarbeten som frilägger kraftigt förorenade fyllnadsmassor och markmiljön begränsar förutsättningarna för etablering av växter etc. I det fall inga saneringsåtgärder utförs krävs en rad olika restriktioner, skyddsåtgärder vid markarbeten, begränsning för nybyggnation etc.

10.7 Alternativ 1: Ytlig schakt fyllnadsmassor, max 1,5 m

Alternativet innebär att samtliga fyllnadsmassor inom det tidigare fabriksområdet schaktas ur, kontrolleras och körs till deponi eller, om de klarar åtgärdsmålen, återanvänds inom fastigheten. Åtgärdsområdet är ca 7 000 m² stort och mellan 7 och 10 000 m³ förorenad jord åtgärdas ner till max 1,5 m.

En del fyllnadsmassor kan troligen återanvändas, men i kalkylen antas att samtliga massor omhändertas externt, totalt ca 18 000 ton. 70% bedöms klassas som Farligt Avfall och 30% som icke Farligt Avfall. En enkel spont krävs vid schakt nära byggnaden. Föreningar på djup större än 1,5 m kvarlämnas (även kring tidigare markförlagda cisterner o.d. öster om byggnaden). En upphandling av mottagning av avfall har genomförts 2016. Pris begärdes även på sortering och klassning hos mottagaren (180 kr/ton) vilket överskrider skillnaden mellan FA (450 kr/ton) och IFA (304 kr/ton). Alternativ 1 är beräknad till **21 Mkr**, se **Tabell 12** nedan.

Tabell 12. Kalkyl åtgärdsalternativ 1.

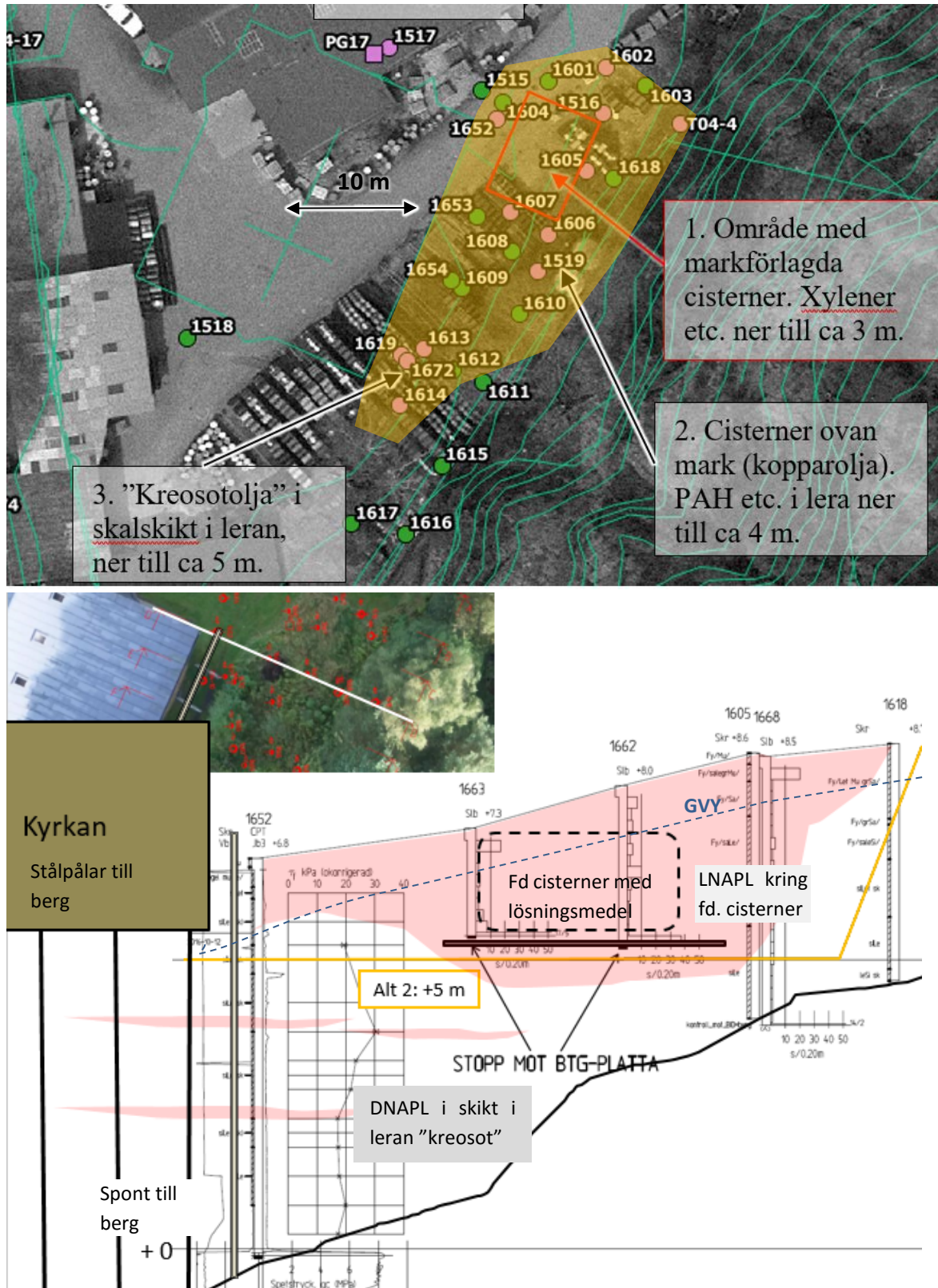
Moment	Mängd	Å-pris	Kostnad kr	Kommentar
Varsam saneringsschaktning	10 000 m ³ 18 000 ton	250 kr/m ³	2 500 000	Inkl. sortering etc.
Omhändertagande förorenad jord, FA	7 000 m ³ , 13 000 ton	450 kr/ton	5 900 000	Enligt upphandling 2016, inkl. transport (sortering 180 kr/ton)
Omhändertagande mulljord, gräsytor, rivningsrester iFA	3 000 m ³ 5 000 ton	304 kr/ton	1 500 000	
Ersättningsmassor, återfyllning,	10 000 m ³	350 kr/m ³	3 500 000	Reaktiv återfyll, ej återkontaminering.
Asfaltering parkering	1 000 m ²	300 kr/m ²	300 000	
Gräsytor, matjord, häckar etc.	6 000 m ²	150 kr/m ²	900 000	Återställning
Ny GC-bana, skydd	-	-	800 000	Inkl. projektering
Länsvattenhantering, ytlig schakt	-	-	200 000	Avskärande diken, rening etc.
Sanering okända hot-spots (djup max 1,5 m)	1 000 m ³	2 000 kr/m ³	2 000 000	Inkl. kvittblivning, etc.
Geotekniska skyddsåtgärder	-	-	500 000	Enkel spont vid kyrkobyggnad
Projektledning, miljökontroll, anmälan, LoU.		Ca 15%	3 000 000	Vanligen mellan 10-20%
Kostnad:			21 Mkr	



Figur 24. Skiss åtgärdsområde alternativ 1.

10.8 Alternativ 2: Alternativ 1 + schakt djupa hot spot ner till max + 5 m

Alternativ 2 innebär ytlig schaktning enligt alt. 1 ovan. Utöver detta tillkommer schakt ner till underkanten av den betongplatta som tidigare markförlagda cisterner med lösningsmedel varit förankrade i. Betongplattan är ungefärligen belägen på nivån + 5,5 m och schakt utförs ner till + 5 m. Föroreningar på större djup kvarlämnas. Området är ca 400 m². Utöver den schakt som sker av ytliga fyllnadsmassor för alt. 1 bedöms ytterligare ca 1 000 m³ schaktas ur. Det kommer mycket vatten från berget i öster som behöver hanteras. Med hänsyn till lerans egenskaper (mycket lös) och att byggnaden är grundlagd med stålplåsar som inte tål sidobelastning bedöms en skyddsspont behövas. Denna slås ner till och förankras i berg oavsett schaktdjup. Åtgärdsalternativ 2 är beräknad till 25 Mkr, se **Tabell 13** nedan.



Figur 25. Skiss åtgärdsområde alternativ 2, se gulmarkerat område på planen överst (ca 400 m²) och profilsnitt som illustrerar schakt ner till + 5 m, se gul streckning.

Tabell 13. Kalkyl åtgärdsalternativ 2 (schakt max + 5 m).

Moment	Mängd	Å-pris	Kostnad kr	Kommentar
Schaktsanering enligt alternativ 1	10 000 m ³ 18 000 ton	-	21 Mkr	Se kalkyl ovan.
Schaktsanering innanför spont, extra gv-hantering	1 000 m ³	500 kr/m ³	500 000	
Omhändertagande av jord, iFA lösningsmedel, lera	1 000 m ³ 2 000 ton	600 kr/ton	1 200 000	Ngt dyrare omhändertagande pga. vätskor och lös lera (täta flak etc).
Återfyllning	1 000 m ³	250 kr/m ³	250 000	
Spont, stålsponslagen till berg	400 m ²	2 500 kr/m ²	1 000 000	Mellan 0,5-1 Mkr
Projektlledning, miljökontroll, anmälan, upphandling.			+ 1 000 000	Utöver alternativ 1. Spontdim. etc.
Kostnad:			25 Mkr	

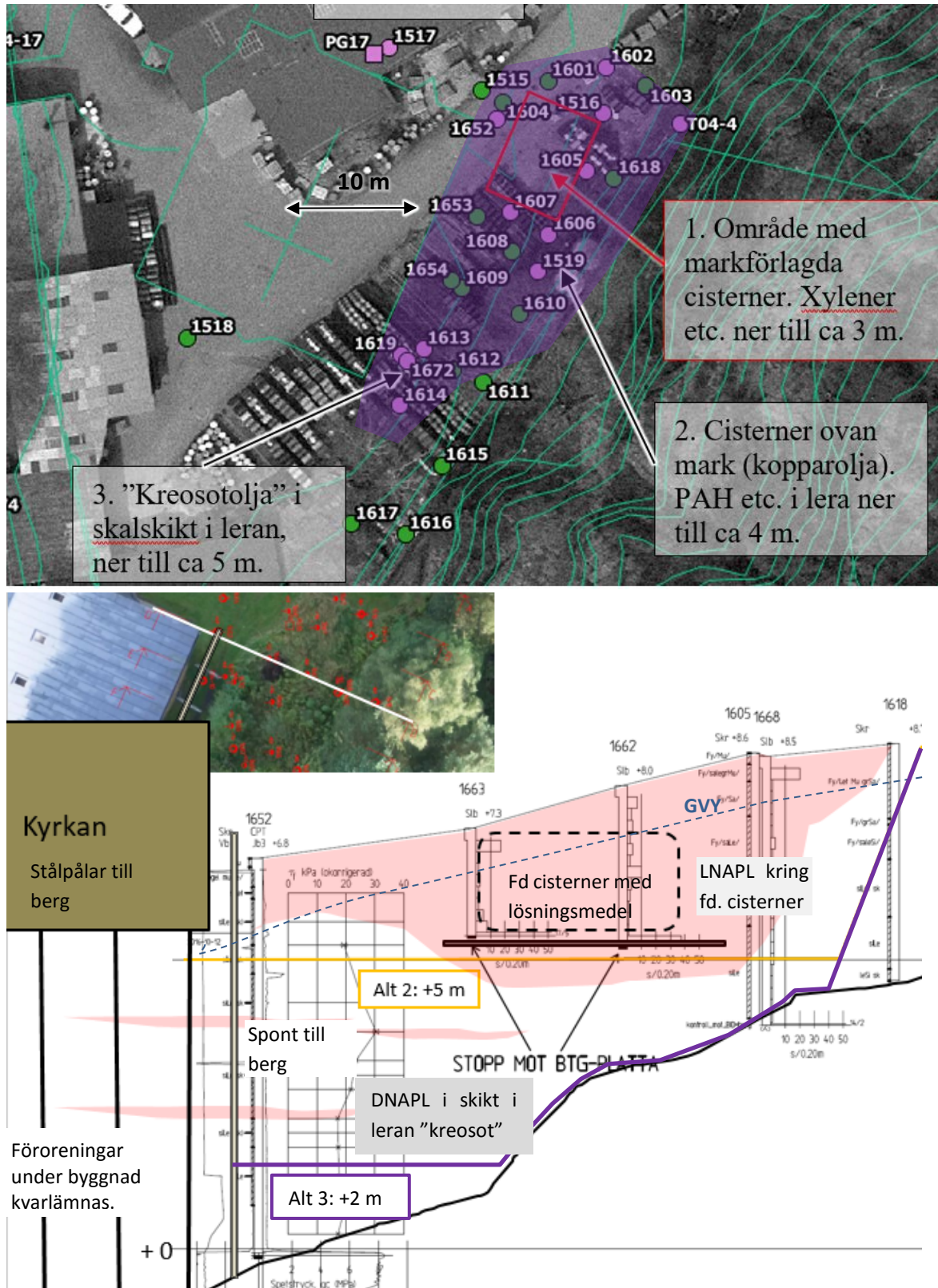
10.9 Alternativ 3A Schakt max + 2 m

Även för alternativ 3 förutsätts ytlig schaktning av hela det tidigare fabriksområdet enligt alternativ 1 ovan samt även schakt öster om kyrkobyggnaden enligt alternativ 2. I detta alternativ drivs schakten ännu djupare, ända ner till bergets överyta, dock max till nivån +2 m, se **Figur 25** nedan. Till skillnad från alternativ 2 åtgärdas även då djupare förekommande skikt med tunga vätskor (DNAPL) samt ev. rester av lösningsmedel på större djup.

Detta innebär en schakt som i de djupaste delarna är ca 6 m. Schakten kräver, liksom för alternativ 2, spontning ner till berg. Då stålplåarna under befintlig byggnad inte tål några rörelser i sidled kommer sponten att behöva stadgas med hammarband/stämp etc. på djupet. Detta innebär att spontkostnaden ökar väsentligt när schakten drivs djupare. Schakten drivs även flera meter under grundvattenytan vilket kan innebära problem med bottenuppträckning etc.

I nuläget är det osäkert om en spontning och djup schakt till denna nivå är möjligt att genomföra utan att riskera att skada intilliggande byggnad.

Ett alternativ till konventionell schakt kan vara spont och schaktborrning (stor auger) i rör som återfylls med betong etc., schakt i spontkassetter eller dylikt. Den lösa leran och närheten till byggnaden innebär att förutsättningar är utmanande. Kalkylmässigt bedöms dessa metoder ge liknande utfall och inte vara väsentligt billigare jämfört med konventionell schakt och spontning. Kostnaden för åtgärdsalternativ 3 Schakt bedöms uppgå till **28 Mkr**, se **Tabell 14** nedan.



Figur 26. Skiss åtgärdsområde alternativ 3, se lila område på planen överst (samma område som för alternativ 2) samt lila markering på profilskissen.

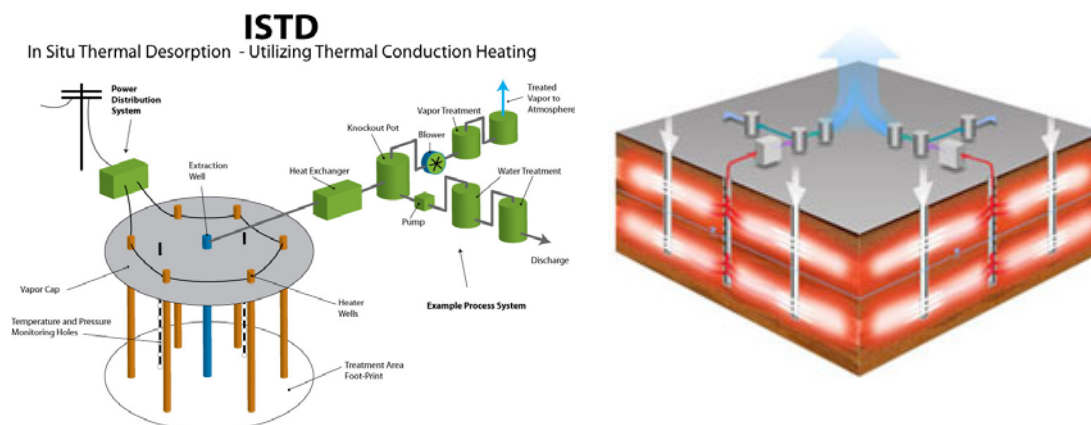
Tabell 14. Kalkyl åtgärdsalternativ 3, schakt max + 2 m.

Moment	Mängd	Å-pris	Kostnad kr	Kommentar
Schaktsanering enligt alternativ 1	10 000 m ³ 18 000 ton	-	21 Mkr	Se kalkyl ovan.
Schaktsanering innanför spont, extra gv-hantering	2 000 m ³	500 kr/m ³	1 000 000	
Omhändertagande av jord, iFA lösningsmedel, lera	2 000 m ³ 4 000 ton	600 kr/ton	2 400 000	Ngt dyrare omhändertagande pga. vätskor och lös lera (täta bilar etc).
Återfyllning	2 000 m ³	250 kr/m ³	500 000	
Spont, stålspont slagen till berg	400 m ²	5 000 kr/m ²	2 500 000	Mellan 1,5-2,5 Mkr
Projektledning, miljökontroll, anmälan, upphandling.			+ 1 500 000	Utöver alternativ 1. Spontdim. etc.
Kostnad:			29 Mkr	

10.10 Åtgärdsalternativ 3B In-situ, termisk

Alternativet innebär yligt schakt enligt åtgärdsalternativ 1 och schakt ner till underkant bottenplatta i cisternområdet enligt åtgärdsalternativ 2, dvs. max + 5 m.

Djupare föroreningar öster om byggnaden åtgärdas genom termisk uppvärmning av leran. Lösningsmedel så som xylener etc. kan teoretiskt åtgärdas även vid uppvärmning till 100 grader celsius. I Tölö finns främst kreosotliknande DNAPL med olika PAH:er etc. på djupet. Dessa kräver betydligt högre temperaturer för att koka bort helt (>300 grader). Mer flyktiga och spridningsbenägna komponenter så som bensen kan dock avgå redan vid lägre temperaturer (100 grader) och kvar blir då rester som är mindre spridningsbenägna.



Figur 27. En principiell beskrivning av konduktiv uppvärmning (Krüger).

Etableringskostnaden för termisk behandlingsutrustning är hög, ca 1 Mkr. Genomförandet bedöms till 2 500 - 3 000 kr/m³. Total volym är ca 1 000 - 2 000 m³, vilket innebär att en termisk sanering bedöms uppgå till ca 4-7 Mkr. Kalkylen avser THC, konduktiv uppvärmning. Uppvärmning baserat på elektrisk ström och resistivitet, ERH, är generellt något billigare, dock innebär nuvarande grundläggning med stålplåtar som kan leda ström en försvårande omständighet.

De praktiska förutsättningarna med byggnaden med stålplåtar som inte tål sidobelastningar och lös vattenmättad lera innebär även att en uppvärmning av leran kan riskera grundläggningen. Det är därför osäkert om en termisk behandling är genomförbart i praktiken.

Totalkostnaden för alternativ 3 in-situ termisk bedöms uppgå till **ca 32 Mkr** (25 Mkr för a1t 2 + 7 Mkr för termisk in situ).



Figur 28. Foto över termisk behandling i Danmark, Krüger.

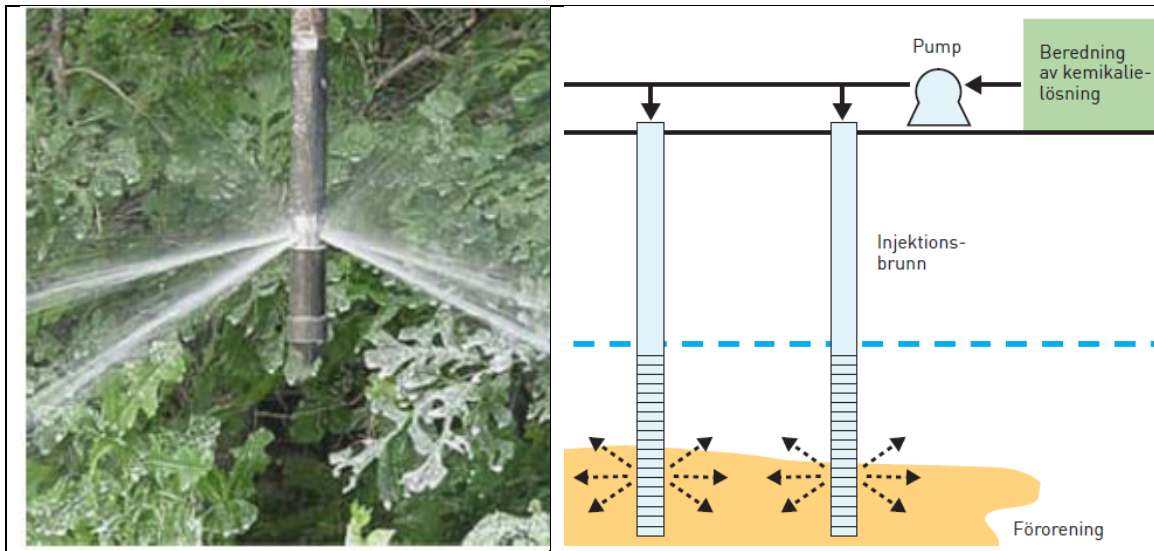
10.11 Åtgärdsalternativ 3C In-situ, injektering

Det är fullt möjligt att injektera olika behandlingskemikalier i leran med syfte att behandla ev. föroreningar på större djup. Ytliga fyllnadsmassor med stelade rester måste dock först schaktas enligt alternativ 1 och det krävs även schakt av rivningsrester samt betongplatta under cisternerna enligt alternativ 2, + 5 m (se ovan).

Kvarvarande föroreningar efter schaktning bedöms vara främst skikt med kreosotliknande DNAPL i leran samt möjligen mindre rester av lösningsmedel (xylen etc.) i cisternområdet under betongplattan. Skikt i lera med kreosotliknande vätskor med höga halter av PAH:er (främst PAH-L resp. PAH-M) är svårt att behandla med kemikalier, dels på grund av de kemiska egenskaperna med motståndskraftiga föroreningar och dels på grund av att vätskorna är svåra att komma åt och i kontakt med för kemikalierna. Kontaktytan och behandlingseffekten blir låg. Optimalt för denna typ av in-situ sanering är plymströmen med lösta föroreningar i homogen friktionsjord (sand, grusig sand). Det finns dock flera exempel där injektion skett med mycket högt tryck ("jet-injection,

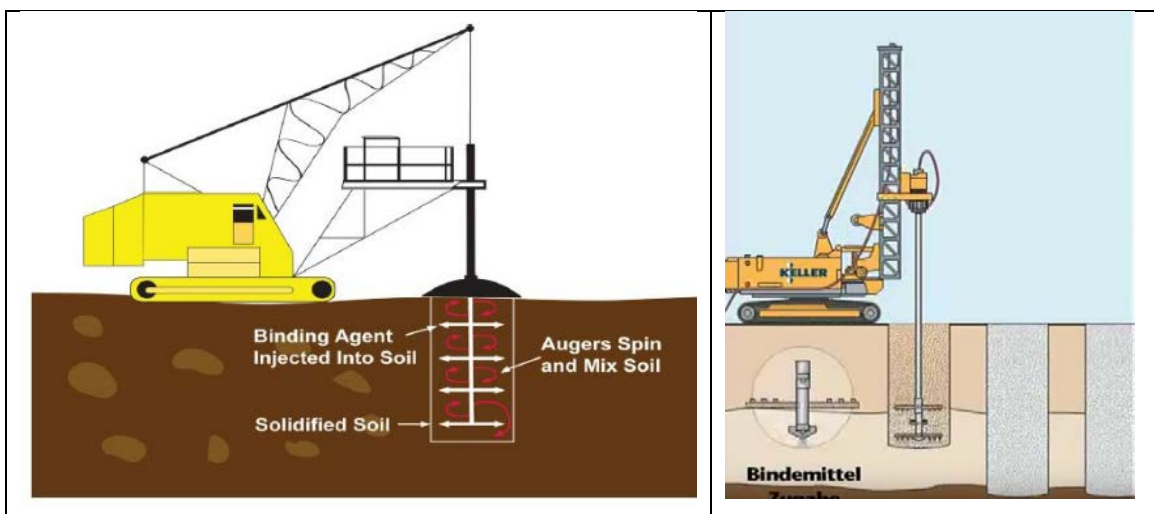
”pressure puls injection”), se exempelvis Hoag, 2013 ([länk per 2017-01-13](#)) där oxidationsmedel använts. Aktuella föroreningar var lättare PAH:er (naftalen etc.) och BTEX och geologin sand/silt med inslag av lera.

Injektering av kemikalier är även teoretiskt möjligt att utföra under nuvarande byggnad, dock är det i praktiken svårt med hänsyn till grundläggningen med stålplålar.



Figur 29. Exempel injekteringssond till vänster och system med brunnar och injektering till höger (RGS90).

Det är även möjligt att tillföra kemikalier genom att använda liknande teknik som för installation av kalk/cement-pelare, dvs. att blanda runt leran ner till ca 10 m och vid uppdragning injektera med lämplig kemikalie, se **Figur 30** nedan. Fördelen jämfört med injektering är att medlet förmodligen kommer att distribueras mer homogent och att leran med förorenade skikt blandas om. Nackdelen är att ev. föroreningar i skikt kan frigöras och att nya spridningsvägar kan bildas. Kostnaden blir även högre jämfört med injektering.



Figur 30. Exempel stabilisering/solidifiering och installation av kalk/cement-pelare.

Structor Miljö Väst AB

Det kommer även att krävas permanent dränering och förbiledning av vatten runt sponten, detta hade dock krävts oavsett för att inte byggnaden ska fuktskadas (det finns en större dränering längs östra fasaden idag som måste återställas). Vattnet bör även kontrolleras avseende föroreningar och vid behov behandlas.

Vid återfyllning från +5 m och upp till blivande markyta finns även möjlighet att anlägga lager med reaktivt material för att i första hand förhindra återkontaminering.

Merkostnaden för att kvarlämna sponten är ca 500 kr/m², vilket ger en merkostnad på ca 200 000 kr. En ev. tät plastspont kan övervägas då denna är billigare och bättre ur beständighetssynpunkt, men sponten tar dock inga sidolaster och det är därför osäkert om det är möjligt. Merkostnader för en permanent vattenhantering etc. bedöms grovt till knappt 1 Mkr. Totalkostnaden för alternativ 3D bedöms till **ca 26 Mkr** (25 Mkr för alt + 1 Mkr för avskärmning).

11 Utvärdering av åtgärdsalternativ - underlag till riskvärdering

De olika alternativen har utvärderats relativt varandra avseende de övergripande åtgärds målen. Utvärderingen sammanfattas i värderingsmatrisen nedan, **Tabell 15**.

Tabell 15. Förslag till värderingsmatris för de olika åtgärdsalternativen. Rött är "oacceptabelt", orange är "dåligt", gult är "acceptabelt" och grönt är "bra".

Alternativ	0	1 Schakt max 1,5m	2 + schakt max +5	3A Alt.2 + schakt max +2m	3B Alt.2 + termisk	3C Alt.2 + injektering	3D Alt.2 + avskärmning
Begränsning i markanvändning							
Riskreduktion							
Markmiljö							
Framtida restriktioner, uppföljning							
Genomförbarhet	-						
Omgivningspåverk.	-						
Geoteknisk risk för bef. byggnad	-						
Osäkerhet resultat/budget	-						
Kostnadseffektivitet kr/åtgärdad ton	-	1 150 kr/ton	1 250 kr/ton	1 300 kr/ton	1 500 kr/ton	1 250 kr/ton	1 200 kr/ton
Kostnad (Mkr)	e.b.	21	25	29	32	27	26

e.b – ej beräknad.

Begränsning i markanvändning, riskreduktion: Parkmark, lek och rekreation kan tillåtas för samtliga åtgärdsalternativ, utöver nollalternativet. För den ytliga saneringen (Alt 1) kvarlämnas betongplatta och ev. föroreningar under plattan vilket begränsar möjligheterna till byggnation. I det fall cisternområdet öster om nuvarande byggnad åtgärdas (Alt 2 +5 m) är möjligheterna till byggnation större, trots ev. kvarvarande på större djup. Skyddsåtgärder krävs. För de djupa alternativen (Alt 3) finns det goda möjligheter för framtida byggnation (lokaler).

Markmiljö: Vid urschaktning och ersättning av de ytliga fyllnadsmassorna kommer förutsättningarna för att etablera grönområden etc. att vara goda inom hela området.

Framtida restriktioner, behov av uppföljning: Alt 1 innebär att ett källområde med lösningsmedel kring tidigare cisterner och kresotliknande vätskor i skalskikt kvarlämnas vilket kräver restriktioner för borring, pålning och djupare markarbeten (>1,5 m). Även för de djupa alternativen förväntas rester av föroreningar finns kvar på större djup och någon form av varsamhet vid djupa borrhningar/pålning kommer att krävas (provtagning, kontroll). Kraftfulla metoder så som djup schakt och termisk *in situ* åtgärdar mest förorening på djupet. Kontroll och uppföljning under långt tid krävs för samtliga alternativ.

Genomförbarhet: Ytligt schakt ner till max 1,5 m är rutinartat saneringsarbete. Vid djupare sanering intill byggnaden krävs skyddsspont. Sponten är för alt 2 med schakt ner till max + 5 m förhållandevis enkel. För de djupare schaktalternativet 3A krävs omfattande hammarband, stämp etc. och det är idag inte säkert att det går att genomföra med hänsyn till byggnaden. Även den termiska saneringen (alt. 3B) är tveksamt. Övriga metoder bedöms vara möjliga att genomföra trots att erfarenheterna är begränsade.

Geoteknisk risk för bef. kyrkobyggnad: betydande risker finns för djup schakt och troligen oacceptabla risker vid termisk sanering, för övriga alternativ bedöms riskerna små/acceptabla.

Osäkerhet i resultat/budget: Störst osäkerhet bedöms 3C injektering ha på grund av ev. behov av återinjektering i framtiden samt bildning av skadliga nedbrytningsprodukter. Övriga alternativ bedöms kunna genomföras inom begränsad tid (1 år) och den aktiva saneringen avslutas. För samtliga alternativ kommer uppföljande kontrollprogram att krävas.

Kostnadseffektivitet (kr/ton): Kostnadsskillnaderna i kr åtgärdad ton förrorenad jord är relativt små. Högst kostnad per ton är för den termiska saneringen (3B).

12 Slutsatser och rekommendationer

Utförda undersökningar visar att det finns förorenad mulljord, kraftigt förorenade fyllnadsmassor med stelnade rester av asfalt/beck samt områden med spill/läckage av olika petroleum/tjära/kreosot-baserade vätskor. Behovet av riskreduktion är stort, dels för att förhindra exponering för de kraftigt förorenade fyllnadsmassorna, men även för att förhindra spridning av och exponering för de toxiska vätskor (olja, lösningsmedel, tjärbaserade produkter etc.) som påvisats i marken.

Ett flertal olika åtgärdsalternativ har utretts. En täckning förkastades i ett tidigt skede då en sådan inte uppfyller de övergripande åtgärds målen. Även en totalsanering med åtgärder under nuvarande

byggnad bedömdes bli alltför kostsam och inte miljömässigt motiverad med hänsyn till att inga förhöjda halter påvisats i porluft under byggnaden eller i inomhusluften. Ytterligare sju olika alternativ, inklusive noll-alternativet, har utretts vidare och utvärderats. Noll-alternativet innebär att påvisade risker kvarstår och kräver begränsningar i markanvändning, omfattande restriktioner etc. och är därför inte aktuellt. Inte heller Alternativ 1 med endast schakt av ytliga fyllnadsmassor och kvarlämnande av källområden med vätskor på större djup bedöms uppfylla de övergripande åtgärdsmålen. Övriga alternativ omfattar sanering av vätskor på större djup med olika tekniker i form av djupt schaktning och spont, uppvärmning, injektering och/eller avskärmning. Det djupaste schaktalternativet (Alt 3A ner till + 2 m) och uppvärmning (Alt 3B) är det mest tekniskt utmanande och det är tveksamt om dessa kan anses vara kostnadseffektiva och utföras utan riskera att skada befintlig byggnad.

De åtgärdsalternativ som förordas är Alternativ 3C eller Alternativ 3D, dvs. att ytliga kraftigt förorenade fyllnadsmassor schaktas ur, att en djup schakt utförs ner till +5 m sker i källområdet intill kyrkobyggnaden och sedan kombineras med antingen en injektering (Alternativ 3C) eller en djup spont installeras för att avskärma spridningsvägarna (Alternativ 3D). Kalkylmässigt är skillnaden liten mellan alternativen. Alternativ 3C är kalkylerad till 27 Mkr och alternativ 3D till 26 Mkr.

Structor Miljö Väst AB



Fredric Engelke

Structor Miljöteknik AB

Peter Carlsson

REFERENSER

ATDSR 2002, Toxicological profile for wood creosote, coal tar creosote, coal tar, coal tar pitch, and coal tar pitch volatiles, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Reach, 2008: Summary risk assessment report, coal-tar pitch, high temperature, CAS No: 65996-93-2, Final report May 2008. Bureau REACH P.O. Box 1 3720 BA Bilthoven The Netherlands

UK-EA, 2003. An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface, R&D Publication 133, Environment Agency England and Wales

Hoag et al, 2013. Technology fusion for MGP remediation:surfactant-enhanced in situ chemical oxidation, pressure-pulse injections and advanced site investigation