

Delrapportering av fördjupad åtgärdsutredning

Färgaren kemiska tvätt, Jönköping



På bilden utförs kärnborring i berg med metoden Geobor S

Uppdrag	Färgaren, projektering
Uppdragsnummer	30017971
Kund	Sveriges Geologiska Undersökning
Ver	1.0
Datum	2022-05-13
Upprättad av	Anna Paulsson
Kontrollerad av	Janna Svensson
Godkänd av	Johan Rosdahl
Dokumentreferens	\\sejkgfs003\projekt\21353\13012317_färgaren _projektering\000\19 original\delrapport åu\delrapportåu_ver1.0.docx

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Uppdrag och syfte	5
1.3	Organisation	6
2	Behov av riskreduktion	6
3	Projektspecifika förutsättningar för åtgärdsutredningen	7
3.1	Mål för åtgärden	8
3.1.1	Övergripande åtgärds mål	8
3.1.2	Miljö- och hållbarhetsmål	9
3.2	Åtgärdsområden	10
3.2.1	Jord	10
3.2.2	Berg	13
3.3	Arbetsområde	17
3.3.1	Tekniska och geotekniska förutsättningar	17
3.3.2	Logistiska förutsättningar	18
3.3.3	Föroreningssituation	19
4	Fördjupad åtgärdsutredning	21
4.1	Åtgärds tekniker	21
4.2	Åtgärdsalternativ	23
4.3	Teknisk beskrivning	25
4.3.1	Termisk behandling	25
4.3.2	Schakt av jord med deponering / behandling off site	26
4.3.3	In-situ kemisk / biologisk behandling	27
4.3.4	Porgasextraktion	29
4.4	Omfattning	30
4.4.1	Åtgärdsalternativ 1A	30
4.4.2	Åtgärdsalternativ 1B	32
4.4.3	Åtgärdsalternativ 3A	33
4.4.4	Åtgärdsalternativ 3B	35
4.4.5	Åtgärdsalternativ 6	35
4.5	Bedömd riskreduktion och måluppfyllelse	37
4.6	Kostnad	38

Bilaga 1. Situationsplan som visar områden som kan schaktas ur med bibehållna byggnader.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Kvarteret Obygden är ett detaljplanelagt villaområde i Mariebo i västra Jönköping. Inom kvarteret har ett tvätteri med kemtvätt, färgning, pressning och vittvätt varit verksamt mellan 1952 och 1975. Objektet kallas F.d. Färgaren (kemiska tvätten), Länsstyrelsens objekts-ID 184088. En MIFO fas 1-inventering genomfördes 2013, varvid området tilldelades riskklass 1, mycket stor risk för människors hälsa och oönskade effekter på miljön idag och i framtiden.

Sweco Environment AB (Sweco) har på uppdrag av Jönköpings kommun, under 2016 och 2017, genomfört en huvudstudie för kvarteret Obygden som har omfattat kompletterande markundersökningar, riskbedömning och en översiktlig åtgärdsutredning. Syftet var att om möjligt avgränsa föroreningarnas utbredning, erhålla en bild av de risker för människors hälsa och miljön som kan föreligga samt ge underlag för beslut om lämpliga åtgärder.

Under åren 2017-2020 har Sweco på uppdrag av SGU (Sveriges geologiska undersökningar) utfört kompletterande utredningar till den tidigare framtagna huvudstudien för kvarteret Obygden. Kompletteringen utfördes för att fördjupa förståelsen kring föroreningssituationen och har omfattat en uppdaterad konceptuell modell, en åtgärdsutredning och en riskvärdering. Med utgångspunkt i dessa utredningar sökte SGU och Länsstyrelsen om statliga bidrag för åtgärdsförberedande undersökningar, vilket beviljades under hösten 2020.

Sweco har under 2021 genomfört omfattande åtgärdsförberedande undersökningar av bland annat jord, grundvatten och berg. Undersökningarna redovisas i en resultatrapport (Sweco 2022a).

De föroreningar som påträffats är klorerade alifater, tetraklorteten (PCE) och dess nedbrytningsprodukter trikloreten (TCE), dikloreten (DCE) och i viss mån vinylklorid (VC) i jord, grundvatten i jord, grundvatten i berg, porluft, inomhusluft och dricksvatten.

1.2 Uppdrag och syfte

Sweco Sverige AB (Sweco) har fått i uppdrag av SGU att utföra åtgärdsförberedande utredningar.

Syftet med denna delrapport är att summera ny kunskap som erhållits under de åtgärdsförberedande undersökningarna under 2021. Delrapporten är till för att dokumentera vägval och ramar som ska gälla för den fördjupade åtgärdsutredningen och riskvärderingen som ska arbetas fram.

Delrapporten tar avstamp i tidigare åtgärdsutredningar (Huvudstudie¹ och Reviderad åtgärdsutredning²).

¹ Sweco 2017. Huvudstudie Obygden. HUVUDSTUDIERAPPOR. Uppdragsnummer 1301145300, 2017-04-04

² Sweco 2020. Färgaren kemiska tvätt, Reviderad åtgärdsutredning och riskvärdering. Uppdragsnummer 13006881, 2020-08-20

1.3 Organisation

Beställare är SGU, Sveriges Geologiska Undersökning. Kontaktperson hos SGU är Karin Eliaeson (projektledare) och Ulf Winnberg (teknisk expert).

Uppdragsledare hos Sweco är Johan Rosdahl. Från Sweco medverkar även Anna Paulsson, Andreas Rehn, Emy Ekholm, Peter Lindén och Janna Svensson. Janna Svensson är kvalitetsansvarig.

Tillsynsmyndighet över det förorenade området är Miljö- och hälsoskyddskontoret i Jönköpings kommun. Kontaktperson är Malin Landin.

I projektgruppen för uppdraget ingår även Helene Jansson på Länsstyrelsen i Jönköpings län samt Fredrik Svärd, Tekniska kontoret i Jönköpings kommun.

2 Behov av riskreduktion

De övergripande åtgärds målen bedöms inte utifrån dagens situation vara uppfyllda och det finns därmed ett behov av åtgärder.

Behovet av riskreduktion har definierats i föregående rapporter. En uppdatering av riskbedömningen pågår som ska fungera som ett underlag inför beslut om mätbara åtgärds mål. Nedan redovisas en kortfattad beskrivning av risker för människors hälsa och miljön.

I jord finns förorening i jordlagren och grundvattnet som orsakar förorening i porluften i jord och i luften under bostadshusen samt i ledningar. Risk för oacceptabla hälsorisker kan därmed föreligga för de som bor inom källområdena (fastigheterna Obygden 10, 16 och 18) men även för de som bor på angränsande fastigheter (fastigheterna Obygden 11, 14 och 15) dit förorening sprids idag och kan komma att spridas i framtiden.

I berg finns fri fas av förorening och mycket höga halter i grundvattnet. Risk för oacceptabla hälsorisker kan därmed föreligga för de som bor inom källområdena (fastigheterna Obygden 10, 16 och 18), i områden där ytligt berg förekommer (t.ex. Obygden 15 som är grundlagd på berg) och i den sluttning där förorenat grundvatten från berget tränger ut i jordlagren (fastigheterna Obygden 11 och 14) både idag och i framtiden.

Grundvattnet nedströms källområdena är förorenat (både i jord och berg) vilket orsakar förorening i porluften i jord och i luften under bostadshusen. Inom fastigheten Obygden 13 är halterna i grundvattnet och porgasen lägre och utifrån dagens situation bedöms risken för människors hälsa låg. Dock finns en osäkerhet på längre sikt eftersom det fortsatt sker en spridning av förorening från källområdena.

Att reducera halterna i jord och i grundvattnet är avgörande för att uppnå det övergripande åtgärds målet rörande människors hälsa (se kapitel 3.1.1).

Marklevande organismer exponeras för föroreningar och det finns en risk att de kan ta skada eftersom halterna överskrider Naturvårdsverkets generella riktvärden för skydd av markmiljö. Detta gäller främst inom källområdena. Åtgärder som utförs för att reducera risker för människors hälsa bedöms även kunna ha positiv effekt på marklevande organismer och den ekologiska funktionen, åtminstone på längre sikt.

Utanför fastigheterna som omnämns ovan bedöms risken för människors hälsa vara liten med dagens kunskapsnivå. Detta utifrån de mätningar som har utförts på framförallt dricksvatten och inomhusluft. Dock finns en osäkerhet på längre sikt eftersom en fortsatt spridning av förorening sker ut från källområdena. Det är därför viktigt att utföra åtgärder som minskar spridningen från källområdena och som sänker halterna i grundvattnet så att åtgärds mål tre och fem kan uppnås (se kapitel 3.1.1).

Halterna i grundvattnet i både jord och berg är tydligt förhöjda inom källområdena men avtar med ökat avstånd från källområdena. Grundvattenföroreningen i jord är relativt väl avgränsad. Under Jönköpings stad förekommer ett grundvattenmagasin i jord. Det ligger ca 1 km öster om kvarteret Obygden. Närmaste ytvattendrag är Junebäcken som finns knappt 1 km öster om kvarteret Obygden. Utifrån utförda undersökningar som visar på lägre halter nedströms källområdena samt de begränsade spridningsförutsättningarna i jordlagren bedöms grundvattenmagasinet i jord och Junebäcken sannolikt inte påverkas av föroreningar från objektet.

I berg har spridningen i spricksystemet inte kartlagts i tillräcklig grad för att avgränsa källområdena och spridning ut från källområdena. Det är tydligt att grundvattnet som provtagits i energibrunnar både inom och utanför källområdena är påverkade av föroreningen, dock är halterna i grundvattnet i de energibrunnar som undersökts utanför källområdena relativt låga och bedöms inte orsaka risker för inträngning av ånga i bostadshusen. Så länge källområdena i berg inte är avgränsade bedöms det föreligga risker för att sprida föroreningen vid borr- och sprängarbeten i berg. Riskerna är förknippade med att borringar och sprängningar i berg kan förändra och öppna upp för nya spridningsvägar i berget.

Halterna i grundvattnet bedöms inte, på naturlig väg, minska inom ett 100-1 000 års perspektiv. Det grundar sig på att det finns fri fas av förorening och att förutsättningarna för fullständig nedbrytning inte bedöms finnas.

3 Projektspecifika förutsättningar för åtgärdsutredningen

Åtgärdsutredningen som presenteras i denna rapport tar avstamp i tidigare åtgärdsutredningar (Huvudstudie³ och Reviderad åtgärdsutredning⁴).

En åtgärdsutredning delas in i följande moment: identifiering av tänkbara åtgärdsalternativ, inledande alternativanalys, fördjupad alternativanalys, och sammanställning av acceptabla åtgärdsalternativ. Dessa steg har utförts tidigare men eftersom Reviderad åtgärdsutredning inte kunde leda fram till ett beslut om slutligt åtgärdsalternativ har fler utredningar utförts under 2021. Vid komplexa projekt som detta, är det inte ovanligt att processen behöver utföras i flera steg för att förfina och utveckla åtgärdsalternativen.

I arbetet har projektet på nytt sett över vissa kriterier som ingår i processen⁵, t.ex. de övergripande åtgärds målen, intressenternas förutsättningar, teknisk

³ Sweco 2017. Huvudstudie Obygden. HUVUDSTUDIERAPPOR. Uppdragsnummer 1301145300, 2017-04-04

⁴ Sweco 2020. Färgaren kemiska tvätt, Reviderad åtgärdsutredning och riskvärdering. Uppdragsnummer 13006881, 2020-08-20

⁵ Naturvårdsverket 2009. Att välja efterbehandlingsåtgärd. En vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål. Rapport 5978

genomförbarhet och alternativens möjlighet att uppnå uppsatta mål. Nedanstående kapitel avser att redovisa de nya perspektiv som de åtgärdsförberedande undersökningarna som utförts under 2021 har givit.

3.1 Mål för åtgärden

I arbetet med att välja en åtgärd är det nödvändigt att ta fram mål för vad som ska uppnås med efterbehandlingsåtgärden. Projektgruppen, bestående av representanter från SGU, Länsstyrelsen, Jönköpings kommun, tillsynsmyndigheten i Jönköpings kommun samt Sweco, har tillsammans arbetat med att formulera de övergripande målen som redovisas nedan.

För att tydliggöra arbetet med att formulera mål formulerades en gemensam vision. Visionen lyder:

Vision

Området som idag är påverkat av den f.d. kemtvättens föroreningar ska efter genomförd åtgärd inte medföra några risker för människors hälsa eller miljön. Området ska återfå dagens karaktär och den ekologiska markfunktionens kvalitet ska vara i nivå med ett bostadsområde.

Från området ska det inte spridas några oacceptabla halter av den f.d. kemtvättens föroreningar och kvarlämnade föroreningar ska vara på en så pass låg nivå att det omhändertas av naturliga processer.

Genomförandet av åtgärden ska inte medföra oacceptabel omgivningspåverkan för omkringliggande kvarter. Efter genomförd åtgärd ska området ha återfått sin status som ett attraktivt bostadsområde i centrala Jönköping och områdets nuvarande rykte ska framöver kunna vändas till något positivt eftersom den genomförda åtgärden ska genomsyras av ett starkt hållbarhetsperspektiv i alla dimensioner.

Saneringen ska vara av engångskaraktär och utföras med ett fokus på hållbarhet. Hållbarhet innebär en utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov och inkluderar ett ekonomiskt, socialt och miljömässigt perspektiv. "Hållbar efterbehandling handlar om hur vi kan åtgärda samhällets miljöskuld, genom väl avvägda åtgärder som återställer ekosystemens funktioner och skapar en hälsosam och god livsmiljö för människor, allt utan orimliga kostnader eller skadliga effekter på miljö och samhälle."

3.1.1 Övergripande åtgärds mål

Övergripande åtgärds mål ska ange vad man vill uppnå med en efterbehandlingsåtgärd. De visar i första hand vilken användning eller funktion ett område önskas ha efter genomförd efterbehandlingsåtgärd samt vilken påverkan och vilka störningar som kan accepteras inom området eller i omgivningen. Målen tar också hänsyn till pågående markanvändning.

De övergripande åtgärds målen som formuleras nedan har tagits fram under 2022 av projektgruppen. De övergripande åtgärds målen har ändrats något jämfört med de som presenterats i tidigare rapporter.

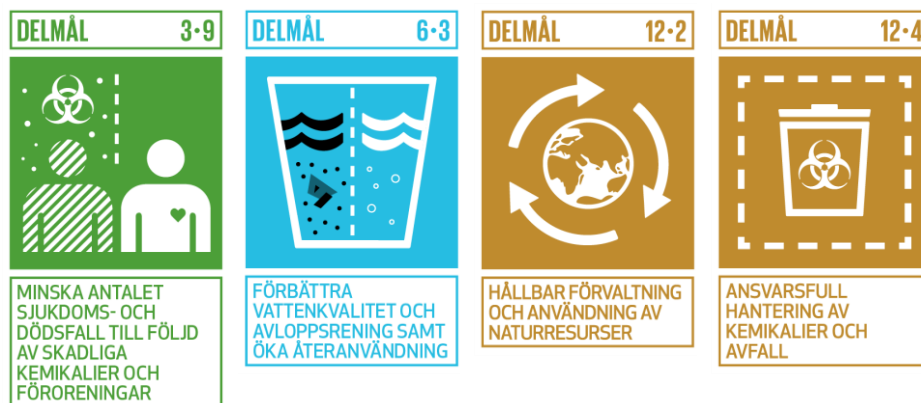
Framtagna övergripande åtgärds mål tar avstamp i en hållbar utveckling och formuleras enligt nedan;

1. Området ska kunna användas för bostadsändamål i enlighet med nuvarande markanvändning utan att risker för människors hälsa uppkommer på grund av förorening.
2. Förekomst av föroreningar ska inte inverka på de ekologiska funktioner som markanvändningen kräver.
3. Föroreningsmängden ska minska så att eventuell spridning av föroreningar i grundvatten kan omhändertas genom naturliga processer.
4. Föroreningsmängden ska minska så att markarbeten i jord inom området kan utföras fritt utan restriktioner.
5. Föroreningsmängden ska minska så att uttag av energi i berg och andra arbeten i berg (t.ex., borrhning och sprängning) ska vara möjliga att genomföra.

3.1.2 Miljö- och hållbarhetsmål

Som grund för åtgärdsmålen har även de svenska miljömålen och FNs globala mål beaktats. De svenska miljömålen som bedöms som mest relevanta för denna åtgärdsutredning är "Gifrfri miljö", "God bebyggd miljö", "Begränsad klimatpåverkan" samt "Grundvatten av god kvalitet".

FNs globala mål som bedöms som mest relevanta är "3. Hälsa och välbefinnande", "6. Rent vatten och sanitet" och "12. Hållbar konsumtion och produktion", se Figur 1 nedan.



Figur 1. FNs globala mål som beaktas i denna rapport.

3.2 Åtgärdsområden

Alla nya resultat som har erhållits från de åtgärdsförberedande undersökningarna har inneburit att nya åtgärdsområden har tagits fram för jord och berg.

Nedan beskrivs dels källområde, dels åtgärdsområde. Ett källområde definieras i denna rapport som ett område där fri fas av föroreningen bedöms kunna förekomma och där mycket höga halter har påvisats, halter som enligt "tumregeln" indikerar fri fas. "Tumregeln" säger att en halt av PCE på >1 500 µg/l i grundvatten och en halt PCE > 50 mg/kg TS i jord indikerar förekomst av fri fas.

I detta kapitel beskrivs de källområden som har definierats i dagsläget. Den konceptuella modellen som beskriver förekomst, spridning och påverkan av föroreningen är under omarbetning med bland annat mer detaljer som rör spridning i berg.

I anslutning till källområdena finns föroreningar i lägre halter, dock bedöms halterna inom några områden ändå vara så höga att åtgärder krävs för att uppnå det övergripande åtgärds målen. Dessa områden tillsammans med källområdena definieras som åtgärdsområdet.

3.2.1 Jord

I Figur 2 redovisas utbredning för bedömda källområden i jord, där höga halter har påvisats och där fri fas bedöms kunna förekomma. I jord bedöms det finnas två källområden. Ett stort i anslutning till området där kemtvätten låg (område B i figuren) och ett mindre område inom den västra delen av fastigheten Obygden 18 (område A i figuren). Det är inte känt vad som är orsaken till att förorening finns inom just det mindre området A. Det kan ha ett samband med en gammal brunnskonstruktion som påträffats i detta läge. Brunnen kan ha använts för att göra sig av med avloppsvatten eller avfall. Det kan också ha lagts schaktmassor där i samband med byggnationen av bostadshuset på Obygden 18. Ett tredje alternativ är föroreningen som påträffas vid A hänger ihop med det stora källområdet (B) men att det inte går att slå fast i och med att det inte har gått att undersöka om förorening finns under bostadshuset på Obygden 18.

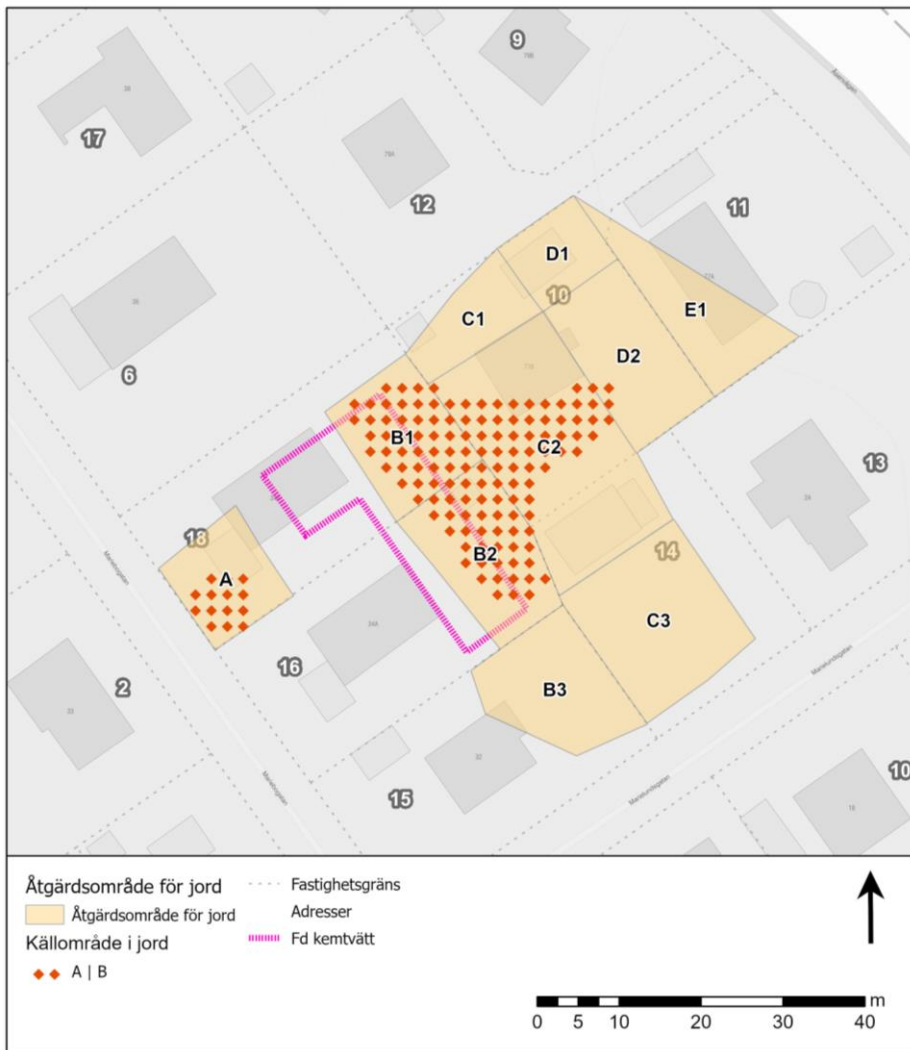
Avgränsningen av källområdena är baserade på resultat från MIP-sonderingar, analys för jord- och grundvattenprov samt till viss del även resultat från porluftsprovtagning (de fall där det med säkerhet går att avgöra att förorening kommer från jord och grundvatten). Avgränsningen baseras även på var kemtvätten var belägen och ledningstråk för kemtvättens avlopp.

Avgränsningen är därför baserad på den kunskap som finns idag. Areal som de båda källområdena i jord upptar omfattar ca 540 m² (fördelat på område A 60 m² + område B 480 m²). Källområdets mäktighet beror av djupet till berg som inom de båda källområdena varierar mellan 0,5-5 meter under markytan. Förorening i kraftigt förhöjda föroreningshalter bedöms finnas från ca 0,5-1,5 meter från markytan ner till bergytan.



Figur 2. Källområde i jord. Två källområden har identifierats, A och B. Det är inte klart hur förorening har hamnat inom område A där det finns en gammal brunnskonstruktion. Det kan inte uteslutas att område A och B hänger ihop men det har inte kunnat undersökas då området är bebyggt vilket försvårar undersökningsarbetet avsevärt. Det kan därmed heller inte uteslutas att föroreningen även kan finnas under bostadshuset på fastigheten Obygden 18.

I Figur 3 redovisas en bedömd utbredning av åtgärdsområdet för jord. I figuren redovisas också utbredning för bedömt källområde i jord. I anslutning till källområdena finns förorening i jord och grundvatten där halterna i jord och grundvatten bedöms vara så höga att åtgärder krävs för att uppnå det övergripande åtgärdsmålen (gula och orangea områden på kartan). Dessa områden är åtgärdsområdet för jord.



Figur 3. Åtgärdsområde för jord (orangea områden på kartan). Åtgärdsområdet i jord berör fastigheterna Obygden 10, 11, 14, 15, 16 och 18. Färgerna redovisar ungefärligt djup som behöver åtgärdas.

Avgränsningen beaktar också fastighetsgränser och vägar. Fastigheter som ligger angränsande till åtgärdsområdet har undersökts. Förekomst av föroreningar är inom dessa mycket begränsad och någon risk för människors hälsa bedöms inte föreligga utanför åtgärdsområdet för jord. Detta innebär att åtgärdsområdet för jord berör fastigheterna Obygden 10, 11, 14, 15, 16 och 18.

Detaljerad avgränsning av åtgärdsområdet utförs i samband med åtgärden enligt fastställda åtgärds mål och avgränsningen mot fastigheter som ej omfattas av åtgärdsområdet säkerställs därmed.

Ytor och volymer för åtgärdsområdet redovisas i Tabell 1. Dessa har uppdaterats utifrån den nya kunskap som erhållits vid de åtgärdsförberedande undersökningarna som utförts under 2021.

Tabell 1. Area, djup och volym av förorenad jord inom antaget åtgärdsområde. Observera att data i tabellen bygger på nu tillgänglig information.

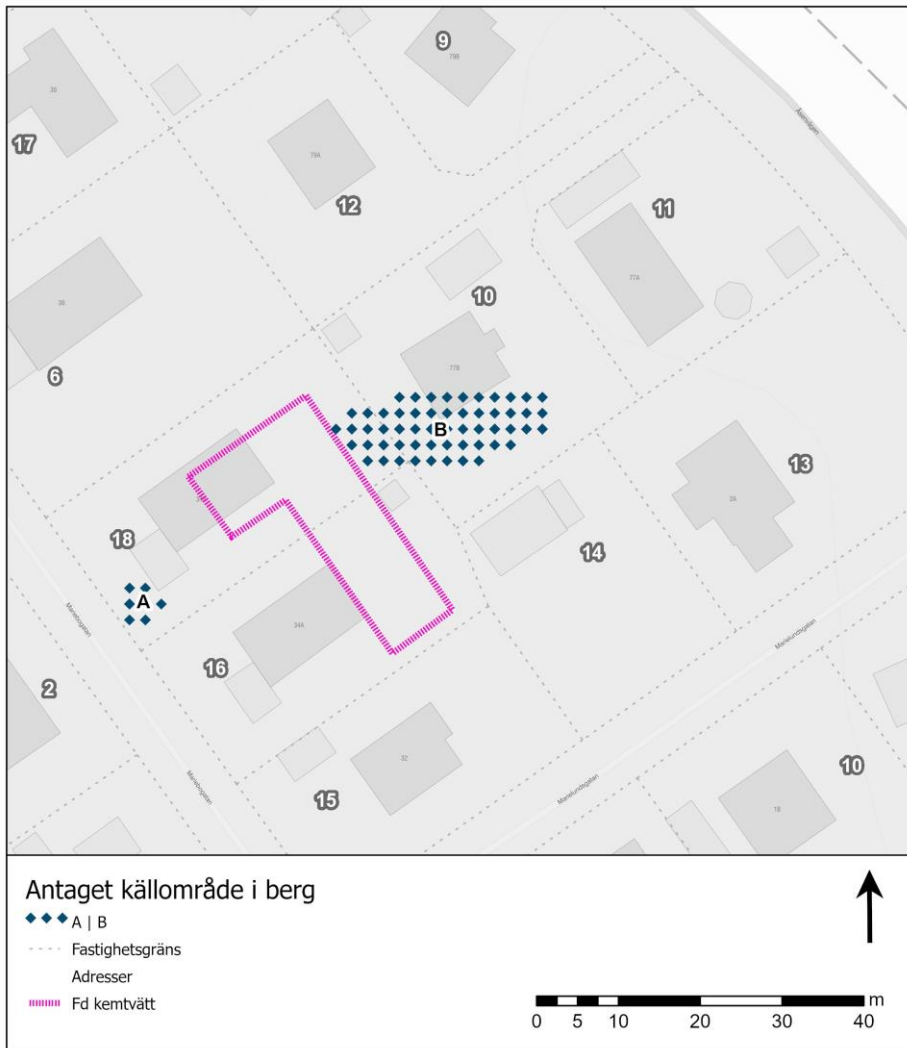
JORD	Måktighet (m)	Area (m ²)	Volym (m ³)	Varav förorenad volym (m ³)
Omfattning källområde	0-5	560	2 300	1 700
Omfattning övrigt åtgärdsområde	0-5	1 720	6 000	4 600

3.2.2 Berg

I Figur 4 redovisas antagen utbredning av källområden i berg. Källområdena sammanfaller delvis med källområdena i jord.

Fri fas av förorening har påvisats i en provpunkt inom område A i figuren på mer än 20 meters djup under markytan nere i berget. Källområdet sammanfaller med källområde A i jord. Dock har källområdena ingen vertikal koppling i de provpunkter som undersökts. I jord förekommer källområdet på mellan 1-3 meters djup under markytan, därefter avtar halterna markant på djupet. I berg påträffas föroreningen i fri fas och höga halter först på mer än 20 meters djup under markytan.

Källområdet i berg är inte avgränsad i detalj vare sig horisontellt eller i djupled. Sannolikt finns fri fas även inom andra delar i berget, även i ytligt berg och då mest troligt närmare platsen där kemitvätten låg där spill har ägt rum. Det större källområdet i Figur 5 (område B) är en antagen utbredning som utgår från områden där fri fas har påvisats i jord samt i den riktning som spridning kan ha skett utifrån noteringar om bergets lutning och sprickförekomsten i berg. Inom detta område har mycket höga halter (> 2 000 µg/l PCE) uppmätts i grundvattnet i ytligt berg. Mer omfattande undersökningar av berget krävs för att mer högupplöst avgränsa föroreningen utanför område B, och i viss mån även A, i både plan och profil i berg. Arean som de båda källområdena upptar omfattar ca 240 m² (fördelat på område A 30 m² + område B 210 m²).



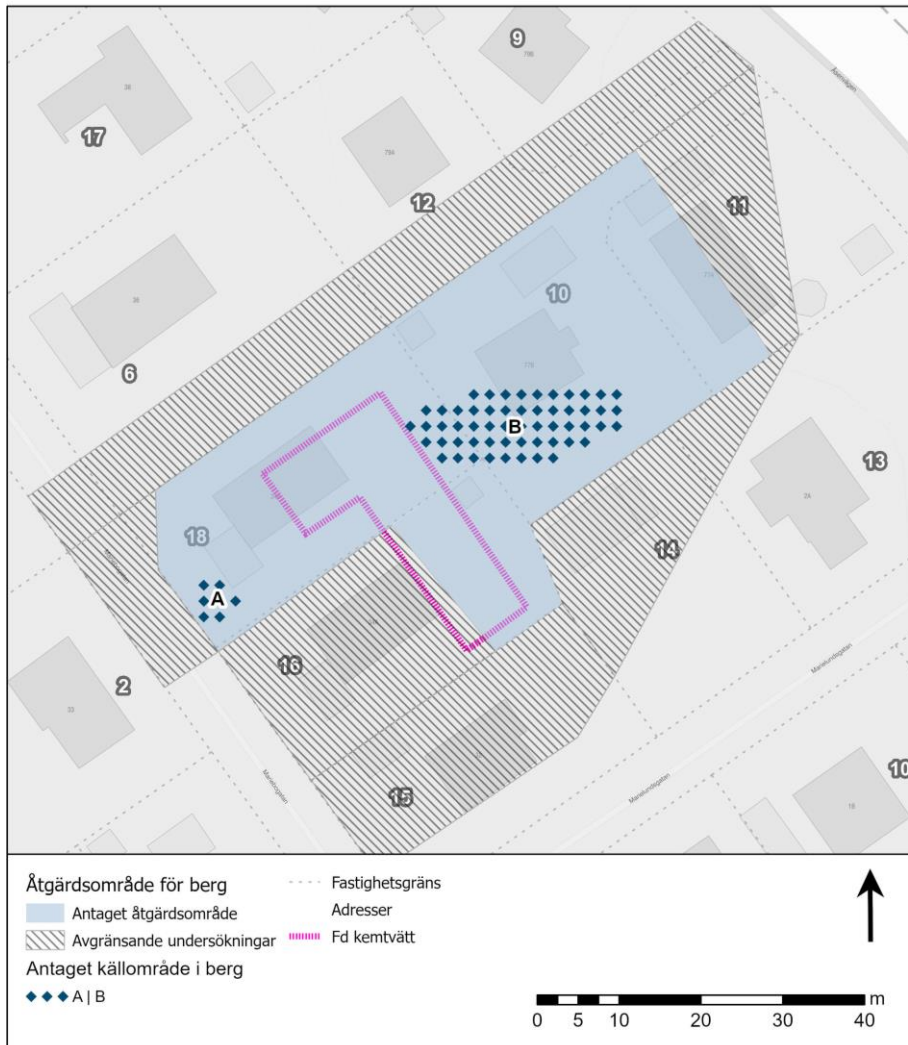
Figur 4. Antagna källområden i berg. Två källområden har identifierats, A och B. Områdena är inte avgränsade. Område A sammanfaller med källområde A i jord men det har inte kunnat konstateras någon vertikal koppling mellan föroreningen i jord och föroreningen i berg på ca 20 m djup.

Den mest sprickfrekventa delen av berget förekommer enligt bergkarteringen i de två översta metrarna av berget. Förekomst av både horisontella och vertikala sprickor i det ytliga berget talar dock för att förorening som trängt ner till en vertikal spricka kan förekomma på mycket stora djup ner i berget. Sprickorna är dock väldigt smala och har bedömts till största delen vara slutna vilket talar för att den potentiella mängden förorening i varje spricka är liten och att en transport vidare i sprickorna är begränsad. Det finns ett behov av att fortsatt avgränsa föroreningen i berget för att åtgärden ska bli verkningsfull.

I Figur 5 redovisas ett antaget åtgärdsområde för berg. I figuren redovisas även en antagen utbredning av källområden i berg. Det antagna åtgärdsområdet i blått i figuren omfattar fastigheterna Obygden 10, 11, 16 och 18. Inom dessa fastigheter har utförda undersökningar visat på betydande förekomst av förorening i berg. Berget är sprickfattigt i merparten av de borrhöjningar som utförts.

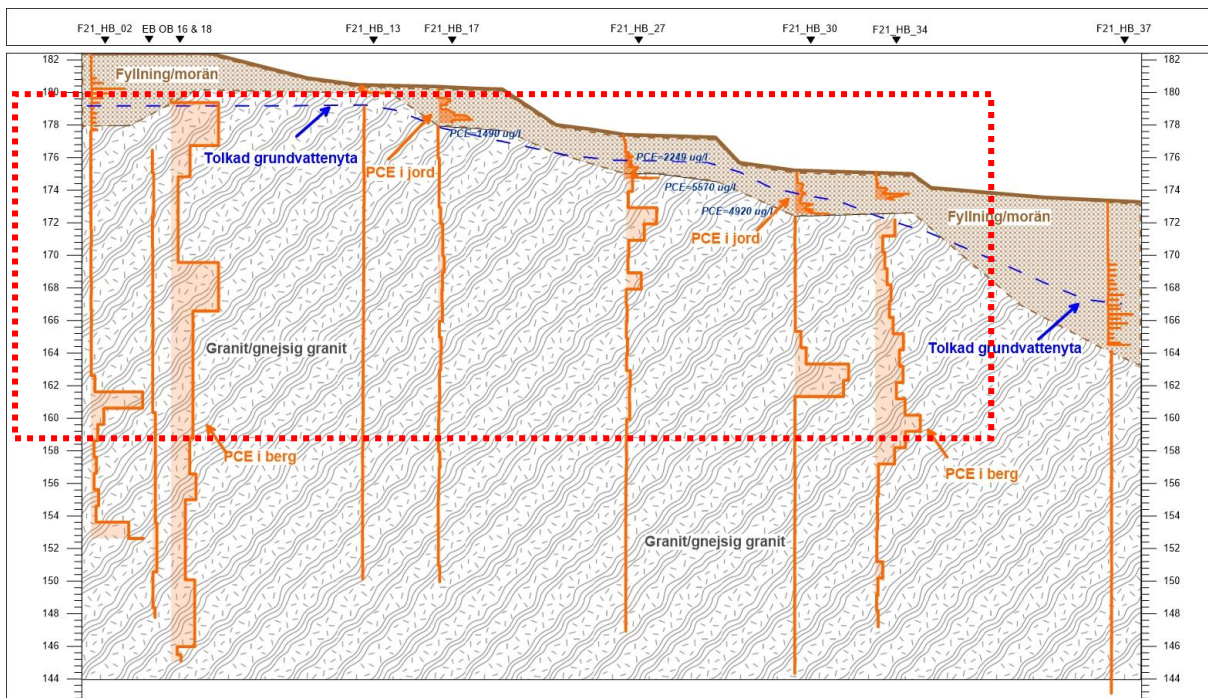
Ytterligare undersökningar behöver utföras för att med större säkerhet avgränsa åtgärdsområdet. Stora delar av denna avgränsning görs med fördel i samband

med åtgärden. Vissa undersökningar, t.ex. i spridningsriktningen mot Obygden 9 och 12, rekommenderas att utföras tidigare för att kunna bedöma om det finns ett åtgärdsbehov även inom dessa fastigheter. Fastigheterna som berörs av avgränsande undersökningar är utöver ovan nämnda även Obygden 13, 14 och 15. Åtgärdsområdet som anges i figuren motsvarar alltså området som bedöms vara i behov av åtgärd såsom det kan beskrivas i nuläget.



Figur 5. Åtgärdsområde för berg (ljusblått område). Åtgärdsområdet motsvarar ett område som bedöms vara i behov av åtgärd såsom det kan beskrivas i nuläget och berör fastigheterna Obygden 10, 11, 16 och 18. Det streckade området är ett område där avgränsande undersökningar behöver utföras.

Åtgärdsområdet i berg har antagits omfatta en mäktighet om mellan 14-20 meter (ner till +160 m över havet), beroende av markyta och bergnivå på de olika fastigheterna, se Figur 6. Eftersom marken sluttar kraftigt i området är bedömningen att fastigheterna Obygden 16 och 18 behöver åtgärdas lite djupare än Obygden 10 och 11. Detta för att inte riskera att en djupare förorening på Obygden 16 och 18 ska spridas med sprickor och återförorena ytligt berg på Obygden 10 och 11 (se tex Figur 5 för fastighetsbeteckningar).



Figur 6. Åtgärdsområde i berg i profil. Profilen går genom bedömt källområde från Obygden 18 till vänster ner till Obygden 11 till höger. Röd kvadrat redovisar tänkt åtgärdsområde.

Utifrån nuvarande kunskapsläge bedöms däremot inget åtgärdsbehov föreligga i grundvattnet i jord och berg nedströms åtgärdsområdena. Bedömningen är att halterna i grundvattnet kommer att minska efter att åtgärder genomförts i åtgärdsområdena.

Ytor och volymer för åtgärdsområdet redovisas i Tabell 2. Dessa har uppdaterats utifrån den nya kunskap som erhållits vid de åtgärdsförberedande undersökningarna som utförts under 2021.

Tabell 2. Area, djup och volym av förorenat berg inom antagna åtgärdsområde. Observera att data i tabellen bygger på nu tillgänglig information.

BERG	Mäktighet (m)	Area (m ²)	Volym (m ³)
Omfattning källområde*	16-20	240	4 000
Omfattning övrigt åtgärdsområde*	12-20	1 900	33 000

* Avgränsning är inte genomförd; area, djup och volym är antagna.

3.3 Arbetsområde

De åtgärdsförberedande undersökningarna, utöver själva föroreningssituationen, har även beaktat geotekniska och logistiska aspekter på åtgärdens genomförande. Dessa aspekter sammanfattas i detta kapitel.

3.3.1 Tekniska och geotekniska förutsättningar

Grundläggningen för bostadshusen varierar där en del hus är grundlagda direkt på berg och andra på jord. För flertalet bostadshus, främst husen på Obygden 15, 16 och 18 har omfattande sprängningar utförts efter att kemtvätten revs. Detta innebär att det troligen finns en zon mellan bostadshuset och berget på mellan ca 0,5 och 1,0 m där ett mer genomsläppligt material förekommer direkt på det förorenade berget. Det kan även finnas en risk att massor som förorenats använts som återfyllnadsmaterial under bostadshusen. Sprängningarna som sådana kan också ha gett upphov till nya, ytliga sprickbildningar, där förorening kan spridas.

Enligt den geotekniska rapport som tagits fram⁶ behöver en schaktsanering hålla ett avstånd om minst 1,5 meter från byggnader. Detta för att inte påverka stabiliteten under byggnaden, om slänten skulle erodera in i grundläggningsbädden under byggnaden. Där jorddjupet överstiger 4,0 m rekommenderas spont, i övrigt kan schakt utföras med slänt i 1:1 ner till 2,0 m (grundvatten/fritt vatten) och mellan 2,0 – 4,0 m i lutningen 1:1,5 eller flackare. Schakten ska tillämpas arbetsmiljösäkert. För att kunna utvidga schakten och undvika släntlutning behövs en spont även vid grundare schakt. En spont behöver slås betydligt djupare än schaktbotten för att säkra dess stabilitet. Eftersom schakten ska utföras ner till berg behöver en spont förankras på annat sätt, t.ex. genom en bakåtförankring som kommer behöva borras in i berget under byggnader. Att installera en spont som ökar schaktbarheten i området bedöms vara mycket tekniskt komplicerat och omfattar stora risker. Exempelvis innebär det risk för skador på byggnader och installationer när sponten vibreras ner. Sammanfattningsvis bedöms det att spontning inte rekommenderas pga komplexiteten och riskerna. En schakt utan spontning innebär att endast en mycket liten andel av föroreningarna kan avlägsnas. Därmed kan schakt avfärdas som ett åtgärdsalternativ om bostadshusen bevaras. I bilaga 1 finns en visualisering av vilka områden som bedöms möjliga att schakta ur utifrån de säkerhetsavstånd och släntlutningar som beskrivs ovan (utan spont och andra tekniskt komplexa lösningar) om bostadshusen bevaras.

Slänten som löper mellan Obygden 10 och Obygden 16 och 18 är inte stabil. Inom denna slänt finns en betydande andel av källområdet, både i jord och berg och en åtgärd i detta område är nödvändig. Tunga fordon (grävmaskiner, borrhjor osv) kan inte gå nära släntkrönet då det finns risk för ras ner mot bostadshuset på Obygden 10. Huset på Obygden 10 står ca 2-3 meter från släntfoten.

Uppvärmnings- och uppsamlingsbrunnar, injekteringsbrunnar osv som behövs vid en in-situ åtgärd behöver installeras med ett jämnt mellanrum, med ett avstånd på maximalt 4-5 meter. Kemiska och biologiska in-situ teknikers effektivitet är beroende av att behandlingsmedlen kan fördelas till områden där föroreningshalten är som högst samt att en jämn fördelning erhålls. Byggnader och andra konstruktioner försvårar detta då lokalisering av punkter måste styras utifrån markens tillgänglighet och inte utifrån optimal placering i för hållande till

⁶ SWECO, 2021. Teknisk PM geoteknik, Färgaren fältkampanj 1, Mariebo, Jönköping

föreningen. Borrningar behöver genomföras med vinkel in under byggnaderna vilket är mer komplicerat jämfört med om inga hinder förekommer. Borrhål in under byggnader riskerar att skada byggnader vilket är en osäkerhet som entreprenören behöver ta höjd för vid genomförandet.

Det är inte givet att det tekniskt går att borra vinklat in under byggnaderna om utrymmet för borrhjulen är för litet. Många borrningar kommer sannolikt behöva utgå vilket innebär en risk att förening lämnas kvar, särskilt under byggnader. Att borra inne i bostadshusen kräver att arbetsmaskiner kan ta sig in, vilket inte bedöms genomförbart. Borrning inne i bostadshus skulle innebära att det mesta av husets invändiga delar behöver rivas och att ett stort hål behöver tas upp för att komma in med borrhjulen.

3.3.2 Logistiska förutsättningar

För att kunna utföra de efterbehandlingsåtgärder som krävs för att nå de mätbara åtgärdsmålen behöver ytan förberedas och tillgängliggöras ur teknisk synvinkel. Oavsett åtgärds teknik är det en förutsättning att träd och buskar, staket, murar, uteplatser, förråd och vissa garage rivs för att ge ett visst utrymme för borrhjulen, lyftkranar, schaktmaskiner osv. Trots nedtagning av växtlighet och rivning av dessa konstruktioner är utrymmet extremt begränsat.

Befintliga ledningar som el, fiber, vatten och avlopp kommer behöva grävas upp och ersättas med nytt när arbetet är klart. Även en sådan schakt kan bli svår att utföra säkert om området inte tillgängliggörs.

Vid åtgärden behöver vägar, etablerings- och uppslagsytor anläggas. Slänter mellan de olika fastigheterna behöver planas ut eller stabiliseras för att möjliggöra en sammanlänkning av åtgärdsområdet. Det behöver även göras plats för personalbodar och arbetsbodar, reningsanläggningar, uppslagsytor, vändplatser osv. Hela arbetsområdet måste vara sammanhängande och vara inhägnat och låst.

En utformning av en efterbehandlingsåtgärd måste också ta hänsyn till påverkan på närboende under genomförandet och det är därför önskvärt att hålla entreprenadytorna så samlat som möjligt.

Den mest lämpade ytan för en etablering är fastigheten Obygden 13, se Figur 7. Dels för att den är relativt plan inom delen ner mot Åsenvägen men framför allt för att den är lättillgänglig från Åsenvägen. Inga tunga transporter eller annan logistik behöver köra in i själva bostadsområdet på Mariebo om in och utfart till arbetsområdet kan ske från fastigheten Obygden 13. Därmed kan störningar för kringboende minimeras.



Figur 7. Förslag på arbetsområde som kan hägnas in och som även på bästa sätt minimerar störning på bostadsområdena runt Mariebogatan och Marielundsgatan. In och utfart sker direkt ut på Åsensvägen. Orangea områden på kartan är åtgärdsområde för jord. Ljusblått område är åtgärdsområde för berg. Det streckade området i svart är ett område där avgränsande undersökningar behöver utföras. Grönstreckade ytor är ytor för etablering av reningsverk och andra entreprenadrelaterade verksamheter.

3.3.3 Föroreningsituation

Sweco har under 2021 utfört kompletterande och fördjupade undersökningar för att utreda föroreningsituationen i bland annat jord, grundvatten och berg. Till stora delar bekräftas den tidigare kända föroreningsituationen av undersökningarna utförda under 2021. Källområdet för föroreningen är främst inom Obygden 10, 16 och 18. Källområdet är relativt väl avgränsat i jord men inte i berg. Föroreningen breder ut sig i jord och berg på fastigheterna Obygden 11, 13, 14 och 15.

Provtagningspunkterna som är utförda under 2021, men även tidigare, har inte helt fritt kunnat placeras inom undersökningsområdet med anledning av tekniska hinder såsom slänter, betongmurar, uteplatser, träd och inte minst befintliga bostadshus och garage. Föroreningsituationen under bland annat befintliga byggnader har således inte kunnat undersökas vilket innebär en stor osäkerhet kring faktiskt förekommande föroreningar under byggnader.

Provtagningar av porluften under bottenplattan, inomhusluften i bostadshusen samt närliggande jord- och grundvattenprov visar att det finns förorening under bostadshusen. Detta gäller speciellt för bostadshusen på fastigheterna Obygden 10, 11, 15 samt 18 där svackor eller lutningar i terräng och berg indikerar spridningsriktning in under bostadshusen. Omfattande undersökningar

inne i bostadshusen med hundsök⁷, provtagning av porluft under bottenplattor och husgrunder, avloppsledningar, dricksvattenledningar och inomhusluft har konstaterat påverkan på inomhusmiljön men har inte kunnat fastslå med säkerhet var källan till de föroreningar som tränger in i bostadshusen finns.

Kompletterande provtagning i såväl inomhusmiljö som utomhus i jord och berg med befintlig situation avseende på byggnader, slänter, fasta installationer etc skulle inte ge mycket mer information än den som nu är känd. Kompletterande provpunkter skulle behöva placeras i nära anslutning till redan tidigare utförda provpunkter pga utrymmesbrist vilket inte ger den data som krävs för att avgränsa föroreningen.

För att kunna utreda föroreningssituationen mer i detalj behöver mer mark friläggas och större åverkan på fastigheterna blir nödvändig. Slänter, betongmurar, uteplatser, träd och även befintliga byggnader behöver rivas. Sett till områdets totala yta så utgör den hittills undersökta ytan ca 20 %.

Föroreningssituationen är heller inte avgränsad mot Obygden 9 och 12 varför kompletterande provtagning även behöver utföras på eller i nära anslutning till dessa fastigheter. Intrång på dessa två fastigheter rör vad vi kan anta i nuläget främst körytor och parkeringsytor på fastigheternas södra delar.

Utan byggnader och andra markförlagda konstruktioner på platsen kommer föroreningen bättre kunna avgränsas och kvantifieras, sett till hela föroreningssituationen. Om byggnader och markförlagda konstruktioner är kvar innebär det stora osäkerheter som lämnas kvar till framtiden och en trolig restförorening under byggnader, infarter, terrasseringar, murar och ledningar och i närliggande jord. Risken att en eventuell åtgärd inte når in under byggnader och konstruktioner är överhängande.

Projektet erhåller mindre projektrisker vid genomförandet om det inte finns några byggnader på platsen jämfört med om byggnader står kvar. Färre projektrisker leder till kostnadsvinster i åtgärdens genomförande. Dels förväntas färre tekniska komplikationer och att åtgärden kan genomföras snabbare med högre kontroll över slutresultatet.

⁷ ORBICON, 2019. Forureningshund – Jönköping, Sverige. 2019-05-29

4 Fördjupad åtgärdsutredning

I detta kapitel presenteras de åtgärdstekniker och åtgärdsalternativ som projektgruppen bedömer vara aktuella baserat på de projektspecifika förutsättningar som beskrivits ovan. Endast åtgärdsalternativ som bedöms kunna uppnå de övergripande åtgärdsmålen har valts ut. Slutligen bedöms graden av riskreduktion och måluppfyllelse som kan uppnås vid de olika åtgärdsalternativen.

4.1 Åtgärdstekniker

De valda åtgärdsteknikerna som presenterats i tidigare åtgärdsutredning⁸ bedöms i huvudsak fortsatt vara tillämpbara och sammanfattas kort i Tabell 3 och Tabell 4. Teknikerna kan komma att behöva kombineras för att kunna uppfylla åtgärdsmålen. I Tabell 5 redovisas de tekniker som har valts bort. I tabellen redovisas även en motivering varför de har valts bort.

Tabell 3. Kortfattad sammanfattning över valda åtgärdstekniker i jord. Teknikerna kan komma att behöva kombineras för att kunna uppfylla åtgärdsmålen.

	Källområde		Övrigt åtgärdsområde
	Jord omäntad zon	Jord mäntad zon	Jord mäntad zon
Termisk behandling	Ja	Ja	Ja
Schakt av jord med deponering / behandling off site	Ja	Ja	Ja
Injektering av produkter som:			
orsakar en fastläggning av föroreningar och som ger en kraftig kemisk reduktion	Nej	Ja	Nej
direkt orsakar kemisk reduktion eller som stimulerar nedbrytning	Nej	Nej	Ja
stimulerar biologisk nedbrytning.	Nej	Nej	Ja
Porgasextraktion (SVE, soil vapour extraktion)	Ja	Nej	Nej

Tabell 4. Kortfattad sammanfattning över valda åtgärdstekniker i berg. Teknikerna kan komma att behöva kombineras för att kunna uppfylla åtgärdsmålen.

	Källområde i berg	Övrigt åtgärdsområde i berg
Termisk behandling	Ja	Ja
Recirkulering av produkter som:		
direkt orsakar kemisk reduktion eller som stimulerar nedbrytning	Ja	Ja
stimulerar biologisk nedbrytning	Nej	Ja

⁸ Sweco 2020. Färgaren kemiska tvätt, Reviderad åtgärdsutredning och riskvärdering. Uppdragsnummer 13006881, 2020-08-20

Tabell 5. Åtgärdstekniker/-lösningar som har valts bort i denna utredning.

Struken teknik/lösning	Motivering
In-situ jordtvätt med efterföljande stimulerad biologisk nedbrytning eller kemisk oxidation. Recirkulering av grundvatten.	Att tillföra vatten i den omåttade zonen bedöms inte genomförbart baserat på geotekniska aspekter. Området ligger i en brant sluttning med instabila slänter
Kemisk oxidation.	Oxidanter är dyra, mindre hållbara och innebär noggrann hantering av aktiva produkter för att undvika risker därför väljs det bort nu. Eventuellt kan det föreslås av anlita en entreprenör som en hantering av mindre förorenat grundvatten.
Permeabel reaktiv barriär av t.ex. järn för att rena grundvattnet i jord.	Skulle kunna användas i kombination med/ i tillägg till kemisk/biologisk behandling av grundvattnet men inte som enskild teknik.
Pumpa och behandla grundvatten (Pump and Treat). Grundvattnet behandlas genom kemisk oxidation i mobilt reningsverk. Återinfiltration av renat vatten i källområde för att tvätta ur förorening.	Åtgärder inte källområdet. Dock en möjlig teknik för att rena vatten i samband med annan åtgärdsteknik. Återinfiltration av renat vatten bedöms inte genomförbart baserat på geotekniska aspekter.
Solidifiering. Genom att solidifiera marken under byggnader kan spridning in i byggnaden via ånginträning förhindras.	Obeprövad metod. Begränsad tillgänglighet då byggnaderna ligger tätt.

4.2 Åtgärdsalternativ

Åtgärdsalternativen som redovisas nedan visar hur de valda åtgärdsteknikerna som framgår av Tabell 3 och Tabell 4 ovan kan appliceras i åtgärdsområdena för att åstadkomma en riskreduktion som uppfyller de övergripande åtgärdsmålen. Åtgärdsalternativen är till viss del olika ambitiösa avseende t.ex. mängdreduktion och vilka resthalter som kvarstår efter slutförd åtgärd. Åtgärder behövs i både jord och berg och alternativen omfattar båda. Det finns många olika varianter på kombinationer och alla kombinationen har inte tagits med då rapporten skulle bli väldigt omfattande. **Samtliga alternativ förutsätter att hela arbetsområdet (se Figur 7) tillgängliggjorts och att byggnader och andra konstruktioner har avlägsnats** före entreprenaden.

- Åtgärdsalternativ 1A – **Termisk** behandling i åtgärdsområdet (Maxalternativ), yttlig jord som inte är förorenad skyddas från uppvärmning
- Åtgärdsalternativ 1B – **Termisk** behandling i källområden och **biologisk** behandling av mättad zon i jord och berg i övrigt åtgärdsområde
- Åtgärdsalternativ 3A – **Schakt** av jord ner till berg i åtgärdsområdet och **kemisk/biologisk** behandling av berg i åtgärdsområdet
- Åtgärdsalternativ 3B – **Schakt** av jord i källområdet och **kemisk/biologisk** behandling av mättad zon i jord och berg i åtgärdsområdet
- Åtgärdsalternativ 6 – **SVE** (porgasextraktion) i den omättade zonen och **kemisk** behandling av mättad zon i jord och berg i hela åtgärdsområdet

De åtgärdsförberedande undersökningarna som utförts under 2021 har givit ett bättre underlag för att bedöma alternativens genomförbarhet och projektrisker. Den samlade bedömningen är att ett arbetsområde enligt Figur 7 rekommenderas för åtgärdens genomförande. Detta innebär att två åtgärdsalternativ, alternativ 2 och 4 som presenterats i tidigare åtgärdsutredning har valts bort i föreliggande åtgärdsutredning. Åtgärdsalternativ 2 omfattade termisk behandling i källområde med bibehållna bostadshus. Åtgärdsalternativ 4 omfattade schakt och biologisk behandling av källområde med bibehållna bostadshus. De nya resultatet innebär även att åtgärdsalternativ 1 och 3 har reviderats.

Åtgärdsalternativen som beskrivs i denna rapport sammanfattas i Tabell 6 och Tabell 7 nedan.

Tabell 6. Sammanfattning av åtgärdsalternativen för **jord**.

JORD			Jord omättad zon	Jord mättad zon		
			Källområde	Källområde	Övrigt åtgärdsområde	
Åtgärdsalternativ	1	A	Termisk behandling, ytlig jord skyddas från uppvärmning.			
		B	Termisk behandling, ytlig jord skyddas från uppvärmning	Injektion av produkter som stimulerar biologisk nedbrytning		
	3	A	Schakt av jord ner till berg med deponering eller behandling off-site , ytlig jord som inte behöver åtgärdas återanvänds			
		B	Schakt av jord ner till berg med deponering eller behandling off-site , ytlig jord som inte behöver åtgärdas återanvänds	Injektion av produkter som direkt orsakar kemisk reduktion eller som stimulerar nedbrytning		
	6		Porgasextraktion	Injektion av produkter som orsakar en fastläggning av föroreningar och som ger en kraftig kemisk reduktion	Injektion av produkter som direkt orsakar kemisk reduktion eller som stimulerar nedbrytning	

Tabell 7. Sammanfattning av åtgärdsalternativen för **berg**.

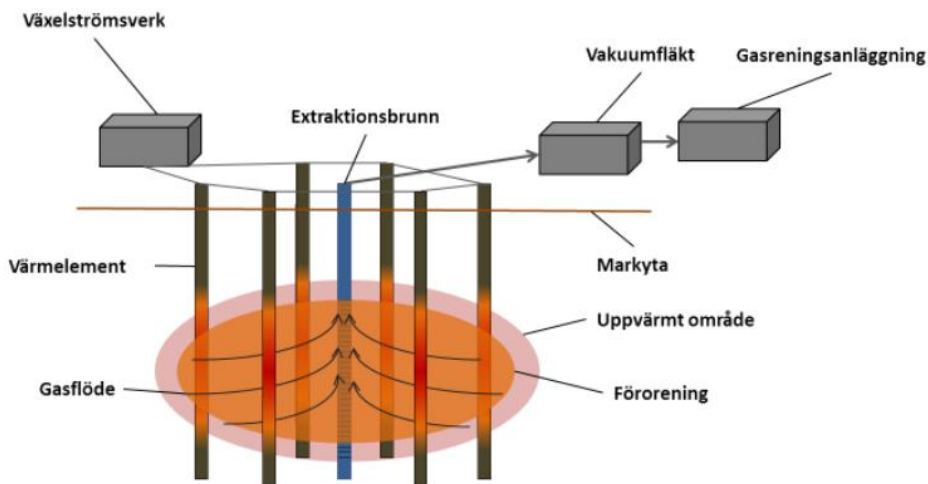
BERG		Källområde	Övrigt åtgärdsområde	
Åtgärdsalternativ	1	A	Termisk behandling	
		B	Termisk behandling	Tillsättning av produkt via recirkulationsbrunnar som stimulerar biologisk nedbrytning
	3	A	Tillsättning av produkt via recirkulationsbrunnar som direkt orsakar kemisk reduktion eller som stimulerar nedbrytning . Eventuell fri fas som ansamlas i brunnarna suggs upp .	
	6		Injektion av produkter i borrhållsbrunnar som ger en kraftig kemisk reduktion	Tillsättning av produkt via recirkulationsbrunnar som direkt orsakar kemisk reduktion eller som stimulerar nedbrytning

4.3 Teknisk beskrivning

I detta kapitel beskrivs de olika åtgärdsteknikerna. Beskrivningarna är generellt hållna och inte anpassade exakt till förutsättningarna inom arbetsområdet. Beskrivningen av åtgärdsteknikerna är i huvudsak hämtade från Åtgärdsportalen⁹ och mer information om teknikerna finns att läsa där. I kapitel 4.4 "Omfattning" nedan beskrivs en mer platsanpassad omfattning och utförande av teknikerna.

4.3.1 Termisk behandling

Termisk behandling (benämnt In-Situ Termisk Desorption, ISTD) innebär att föroreningar tvingas över till gasfas genom kraftig uppvärmning. Temperaturer upp mot vattnets kokpunkt behövs vilket medför att även vatten förångas. Gasfasen samlas sedan upp, kyls av och de klorerade föroreningarna avskiljs från luften genom t.ex. kolfilter, se Figur 8. *Termisk behandling är främst tillämplar på källområdet då metodens effektivitet och kostnadsnivå gör att den passar på områden med höga föroreningsnivåer och stort åtgärdsbehov.*



Figur 8. Termisk behandling - marken värms med hjälp av värmelement kopplade till växelströmsverk, varvid föroreningar från kemtvätten avgår i gasfas. Avdrivna gaser omhändertas i extraktionsbrunnar. Metoden måste således alltid kombineras med konventionell porgasextraktion där gaserna även renas innan de släpps ut till atmosfären. Illustration av Peter Harms-Ringdahl
Källa: Åtgärdsportalen (<https://www.atgardsportalen.se/>)

Åtgärden innebär installation utav uppvärmnings- och uppsamlingsbrunnar ner i jord och berg. Ovan markytan läggs ett tätande skikt med utsugspunkter som gör att uppvärmd uppstigande luft som inte fångas i uppsamlingsbrunnarna stoppas och samlas upp vid markytan.

⁹ <https://www.atgardsportalen.se/>



Figur 9. Bilden visar område inom vilket termisk åtgärd pågår. Ytan är tätad med betong.

Tekniken är mycket energikrävande vilket kräver att åtgärdsområdet är kopplat till en effektiv strömkälla. Som minst krävs 1 100 kW.

Samtliga ledningar och installationer i mark inom åtgärdsområdet samt direkt utanför behöver skyddas alternativt läggas ovan mark under tiden som åtgärden genomförs.

Tekniken förutsätter att alla volymer med fri fas och höga föroreningshalter är väl definierade. Om det råder osäkerhet kring avgränsningen av de mest förorenade volymerna föreligger risk för återkontaminering från området som inte har sanerats. Detaljeringsnivå på avgränsningen av åtgärdsområdet påverkar dock åtgärds-kostnaden. Om avgränsningen är osäker kan behandlingsvolymen bli för liten och då finns det risk att åtgärds-målen inte uppnås. Projektet drar då ut på tiden eftersom området måste utvidgas. Om behandlingsvolymen blir för stor på grund av kunskapsluckor, ökar åtgärds-kostnaderna proportionellt med volymökningen. En slutlig avgränsning av området kan utföras i samband med installationen av åtgärden. Teknikens effektivitet åtgärdar med hög säkerhet alla föroreningar som finns inom åtgärdsområdet.

4.3.2 Schakt av jord med deponering / behandling off site

Schaktsanering kan utföras i alla jordartstyper. Ofta är metoden begränsad till det maximala grävdjupet för den schaktutrustning som används. Men genom terrasserad eller pallvis schaktning kan även föroreningar på större djup avlägsnas. Urgrävda massor läggs om möjligt direkt på transportfordon/trailer för borttransport till behandlingsanläggning och/eller deponi.

Komplicerande faktorer kan vara förekomst av fri fas av föroreningar i schaktgropar. Scenariot skapar arbetsmiljörisker som måste regleras i upphandlingen av entreprenören.

Övergångszonen mellan jord och berg kan bestå av en blandning av morän och bergmaterial vilket medför att schakten av den sista delen mot bergöverytan kan bli komplicerad, se Figur 10. Det finns andra metoder än grävmaskiner för att avlägsna jord, t.ex. kan nämnas grävsug som suger ut jorden ur i sprickor.

Vatten som tränger in i schakten behöver tas om hand. Detta vatten kan vara kraftigt förorenat och behöver renas i en reningsanläggning.

Öppna schakter i områden med höga föroreningshalter kan ge upphov till luktproblem i omgivningen.



Figur 10. Exempelbild (OBS! Ej från det aktuella området!) på hur bergöverytan och således även schaktbotten antas se ut. FOTO: Wiktor Skoglund.

Djup schaktsanering nära vägar kan ge upphov till sättningar även om försiktighetsåtgärder (spont eller slänter) vidtas. Även ledningsdragningar kan behöva säkras under schakt.

Det kommer att förekomma tung lastbilstrafik som transporterar jord till och från området vilket ger ökad risk för trafikolyckor och visst slitage på vägnätet. Entreprenadmaskinerna kommer att orsaka buller så länge som schaktsaneringen pågår.

Åtgärdstekniken medför en större förbrukning av deponiyta (begränsad samhällsresurs) och återfyllnadsmaterial (begränsad naturresurs om jungfruligt material nyttjas) jämfört med in-situ metoder.

4.3.3 In-situ kemisk / biologisk behandling

In-situ - betyder "på plats" och innebär vid åtgärder av förorenade områden att föroreningarna i jord och grundvatten behandlas utan att först grävas eller pumpas upp.

Kemiska behandlingsmedel ger en direkt nedbrytning där Cl-C bindningar bryts kemiskt, oxidativt eller reduktivt. Det finns många produkter på marknaden med varierande nedbrytningsegenskaper (till exempel oxidationspotential). En viktig skillnad mellan produkterna är deras beteende i miljön där egenskaper såsom viskositet och vattenlöslighet gör de olika lämpliga för olika typer av jordarter.

Biologiska behandlingsmedel stimulerar den mikrobiella aktiviteten så att föroreningar bryts ned stegvis av mikroorganismer. Behandlingsmedlen kan påverka redoxförhållandena i marken så att de blir mer optimala för de mikrobiella nedbrytningsprocesserna. När det gäller klorerade alifater begränsas den mikrobiella nedbrytningen oftast i specifika steg. Exempelvis

kräver nedbrytningen av vinylklorid speciella enzystem som endast förekommer i ett fåtal mikrobiella arter. Därför kan det behövas tillsätta särskilda bakterier som tillsammans med övriga komponenter ger en komplett nedbrytning. Även för biologiska behandlingsmedel är en viktig särskiljande egenskap mellan produkter deras beteende i miljön gällande till exempel viskositet och vattenlöslighet.

Båda typerna av metoder innebär att ett behandlingsmedel tillsätts den förorenade marken vilket skapar en stegvis nedbrytning av föroreningen. Oavsett valet av kemisk eller biologisk metod är det svåraste med dessa tekniker att säkerställa att behandlingsmedlet når ut till föroreningarna.

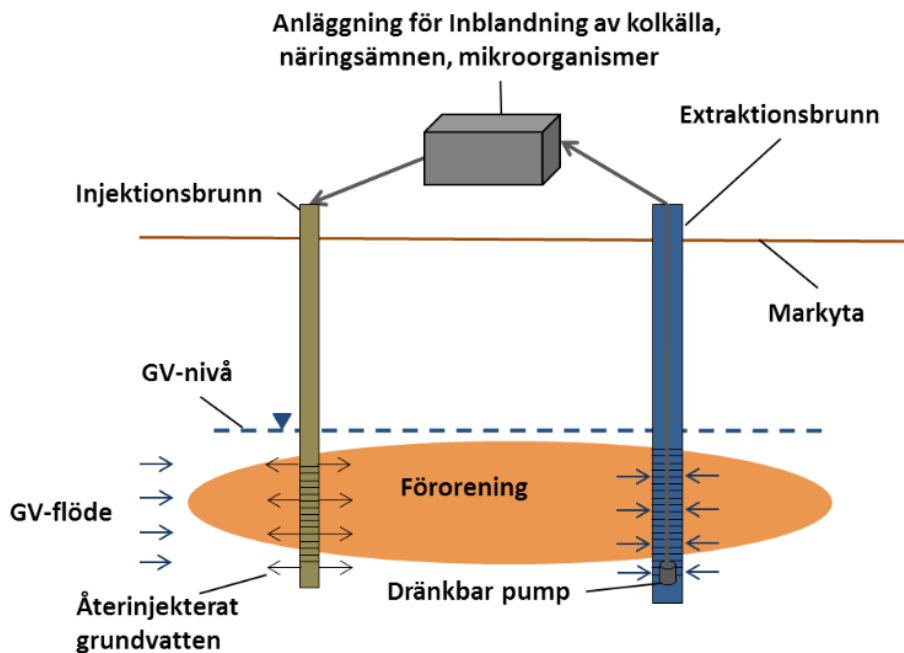
Huvudkomponenterna i en anläggning för in-situ behandling är en blandningstank eller cistern för tillblandning eller förvaring av behandlingsmedlet och en kompressoranläggning/pump för injektion med övertryck. Injektion kan antingen utföras i injektionsrör i form av grundvattenrör av PVC eller polyetenplast vilka installeras i förborrade hål eller med utrustning för så kallad Direct Push-teknik, vilket innebär att medlet injekteras via sondrör av stål vilka drivs ned med borrhandsvagn och därefter tas upp och flyttas till nästa injektionspunkt. För att säkerställa att behandlingsmedlet når ut till föroreningarna behöver medlet injekteras i många punkter med 2-5 meters mellanrum.

Behandlingen av grundvatten i berg utförs antingen via injektering i borrhade brunnar eller genom behandling av grundvatten ovan mark som sedan pumpas tillbaka till berget i ett recirkulationssystem, Figur 11. Fördelen med att recirkulera grundvattnet är möjligheten till en jämn fördelning av den tillsatta produkten i akvifären samt att behandlingseffektiviteten kan övervakas. Vidare kan extraktion av fri fas ske i samma system av brunnar som används för cirkulation av grundvatten.

Vilken typ av behandlingsmedel och metod som bör användas vid Färgaren överlämnas till anlita entreprenör att avgöra. I denna rapport har vi antagit att det blir någon form av kemisk reduktion in-situ (ISCR) och/eller en biologiskt betingad reduktiv dehalogenering (ERD).

En utmaning med åtgärdsalternativen är att säkerställa att behandlingsmedlet når ut till föroreningarna på ett effektivt sätt. Om föroreningsnivåerna är höga och förhållandena komplexa kan flera behandlingsomgångar behövas. Den osäkra bedömningen av hur många injekteringstillfällen som krävs eller hur länge recirkuleringen behöver pågå gör att projekttiden kan bli utdragen.

Liksom för termisk behandling så påverkas kostnader av behandlingsvolymen, om än inte lika kraftigt som för termisk behandling. Etablering och åtgärdsförberedande undersökningar utgör en större andel av totalkostnaden för kemiska/biologiska metoder jämfört med termisk behandling.

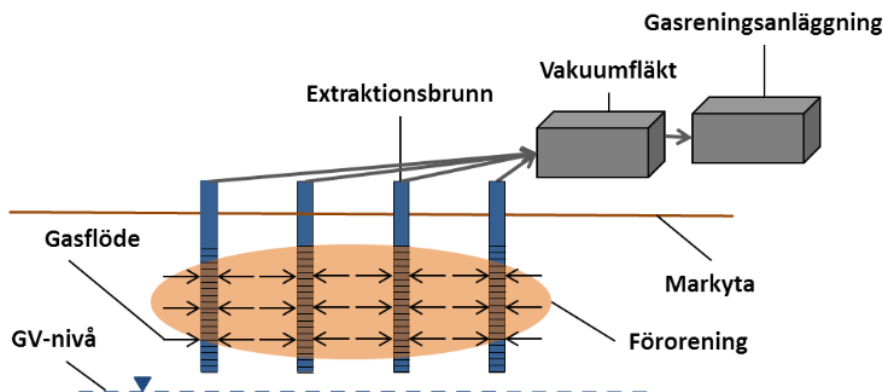


Figur 11. Bilden visar ett system för aktiv stimulerad biologisk nedbrytning in-situ med hjälp av grundvattenpumpning och återinjektering. Illustration av Peter Harms-Ringdahl Källa: Åtgärdsportalen (<https://www.atgardsportalen.se/>)

4.3.4 Porgasextraktion

Porgasextraktion (SVE, soil vapour extraktion) innebär att extraktionsrör installeras i den omättade zonen i jord för att pumpa/extrahera porgas från den omättade zonen, se Figur 12. Tekniken avlägsnar flyktiga föroeningar från yttlig jord ovanför grundvattenytan. Gasextraktionen utförs med hjälp av en eller flera vakuumpumpar/fläktar placerade ovanför markytan. Den föroenade porgasen behandlas på plats, ofta genom filtrering via aktiverat kol, kondensation eller genom katalytisk förbränning.

När porgas extraheras skapas ett undertryck i den omättade zonen, vilket i sin tur leder till ett passivt inflöde av atmosfärsluft. Inflödet av atmosfärsluft medför ökad luftomsättning och syresättning av porsystemet, vilket dels leder till ökad föroeningstransport via extraktionsbrunnarna, dels stimulerar pågående aerob biologisk nedbrytning.



Figur 12. Principfigur. Konventionellt system för porgasextraktion med gasreningsutrustning. Porgas extraheras via vertikala extraktionsbrunnar i den omättade zonen. Illustration av Peter Harms-Ringdahl Källa: Åtgärdsportalen (<https://www.atgardsportalen.se/>)

4.4 Omfattning

4.4.1 Åtgärdsalternativ 1A

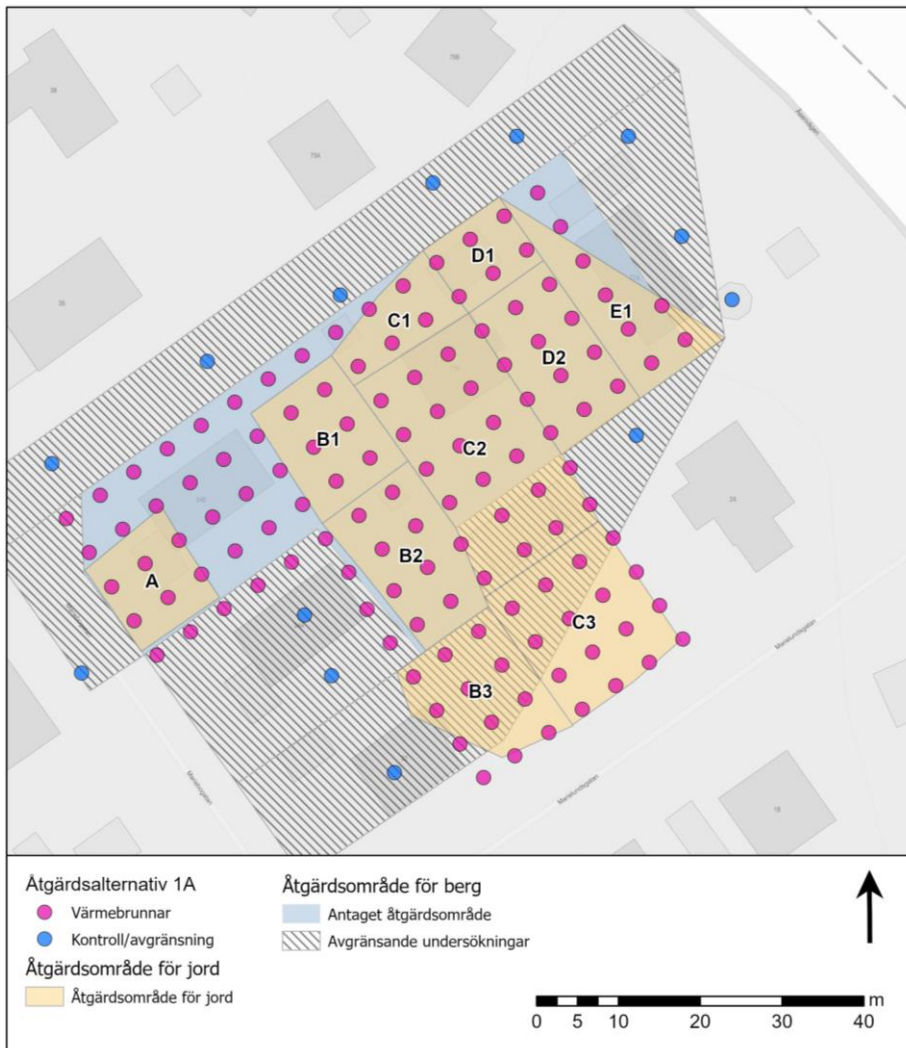
Åtgärdsalternativ 1A utgör ett förmodat maxalternativ där termisk behandling in-situ, en högeffektiv och välbeprövad åtgärdsteknik, riktas mot hela åtgärdsområdet i jord och berg.

Omfattningen beskrivs i volymer i Tabell 8. I Figur 13 visualiseras den antagna omfattningen. De avgränsande undersökningarna kan både öka och minska den uppskattade omfattningen (främst för berg men även i jord) vilket påverkar utbredningen av åtgärdsområdet främst inom fastigheterna Obygden 15 och 16.

Tabell 8. Area, djup och volym av förorenad jord och berg inom antaget åtgärdsområde. Observera att data i tabellen bygger på nu tillgänglig information.

JORD	Måktighet (m)	Area (m ²)	Volym (m ³)	Varav förorenad volym (m ³)
Omfattning källområde	0-5	560	2 300	1 680
Omfattning övrigt åtgärdsområde	0-5	1 720	6 000	4 580
BERG	Måktighet (m)	Area (m ²)	Volym (m ³)	
Omfattning källområde*	16-20	240	4 000	
Omfattning övrigt åtgärdsområde*	12-20	1 900	33 000	

* Avgränsning är inte genomförd; area, djup och volym är antagna.



Figur 13. Kartan visualiserar åtgärdsalternativ 1A med en antagen placering av värmebrunnar i ett rutnät på 5x5 meter. I ytterkanterna finns kontrollbrunnar och som även borrar för att kontrollera och avgränsa föroreningen.

Hur brunnar kan placeras redovisas i Figur 13. I exemplet i figuren antas ett avstånd mellan varje värmebrunn på 5 meter, vilket ger totalt 129 värmebrunnar inom åtgärdsområdet för jord och berg. Inom delar som enbart berör förorening i jord kommer brunnarna vara relativt grunda. I figuren har även 14 kontrollbrunnar markerats ut. Observera att figuren endast visualiserar ett exempel och att vid ett genomförande kommer entreprenören ta fram hur många brunnar som behövs och placeringen av dem.

Borrning av brunnarna utförs med en borrhög med hammarbörning. Vid borrningen används vatten för spolning och borrhaxet som kommer upp ur hålet tas om hand och vattnet renas i en reningsanläggning på plats.

Tekniken är mycket energikrävande. Den termiska åtgärden som utförts på kvarteret Renen i Varberg omfattar ungefär en lika stor volym. Mängden förbrukad energi uppgick till nästan 10 000 000 kWh. För att alternativet ska svara upp till visionen och de övergripande åtgärds målen är en förutsättning att förnybar energi används under genomförandet.

Den bedömt låga vattengenomströmningen i åtgärdsområdet gör att uppvärmningseffekten blir hög eftersom låg vattengenomströmning orsakar små värmeförluster. Detta talar för att energiförbrukningen kan bli mindre än för exemplet kvarteret Renen. Om vattengenomströmningen är hög måste ny värme hela tiden tillföras.

Eftersom åtgärdsområdena innehåller föroreningar i både jord och övergångszonen jord/berg, är tekniken fördelaktig då den inte påverkas av komplexa geologiska förhållanden i övergångszonen.

Åtgärdsalternativ 1A avslutas med ett kontrollprogram som följer upp åtgärden. Genom kontrollprogrammet kommer åtgärdens faktiska effekt fastställas och verifiering av uppfyllda åtgärds mål görs.

Åtgärdsalternativ 1A behöver innehålla krav på återställande av ytliga jordlager så att ny växtlighet kan etableras. I förslaget har antagits att ca 0,5-1 meter av den ytliga jorden (matjord) schaktas bort inom hela åtgärdsområdet innan arbetet påbörjas. Denna jord sparas för att sedan användas för finplanering av marken efter åtgärd. Den totala volymen antas bli ca 1 300 m³ (1800m²x0,75m)

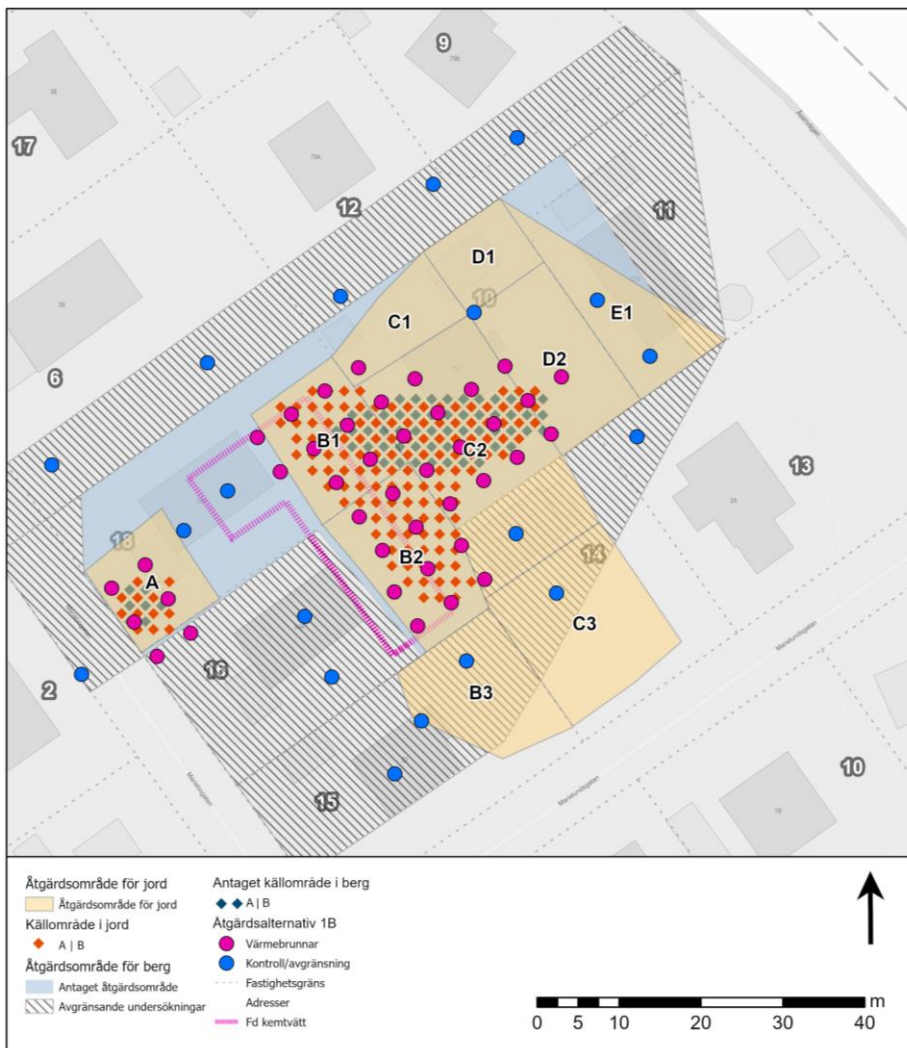
4.4.2 Åtgärdsalternativ 1B

Åtgärdsalternativ 1B utgör en mindre omfattande termisk behandling in-situ än åtgärdsalternativ 1A. Termisk behandling utförs enbart i källområden i jord och berg. För övriga delar av åtgärdsområdet utförs en stimulerad biologisk nedbrytning av föroreningarna i den mättade zonen i jord och i berg. Uppvärmningen av vattnet som kvarstår lång tid efter den termiska behandlingen ger positiva effekter på den biologiska aktiviteten och därmed effekten av den biologiska behandlingen.

Omfattningen beskrivs i volymer i Tabell 8.

Hur brunnar kan placeras redovisas i Figur 14. I exemplet i figuren antas ett avstånd mellan varje värmebrunn på 5 meter, vilket ger totalt 34 värmebrunnar inom åtgärdsområdet för jord och berg. I figuren har även 19 kontrollbrunnar markerats ut. Observera att figuren endast visualiserar ett exempel och att vid ett genomförande kommer entreprenören ta fram hur många brunnar som behövs och placeringen av dem.

Inom övrigt åtgärdsområde i jord och berg utförs en biologisk behandling av den mättade zonen enligt någon av teknikerna som beskrivs i kapitel 4.3.3. Området som berörs av biologisk behandling har enbart redovisats som en yta (orangea och ljusblå områden) i Figur 14. För jord antas att behandlingsmedlet tillsätts med hjälp av Direct Push-teknik. I berg tillsätts behandlingsmedlet i borrhållsbrunnar. Hur många brunnar och placering av dem är inte klarlagt utan behöver projekteras av anlita entreprenör. Borrning av brunnarna utförs med en borrhög med hammarborrning. Vid borringen används vatten för spolning och borrhögskaxet som kommer upp ur hålet tas om hand och vattnet renas i en reningsanläggning på plats. Behandlingsmedlet kan tillsättas direkt i brunnarna eller ovan mark via ett recirkulerande system.

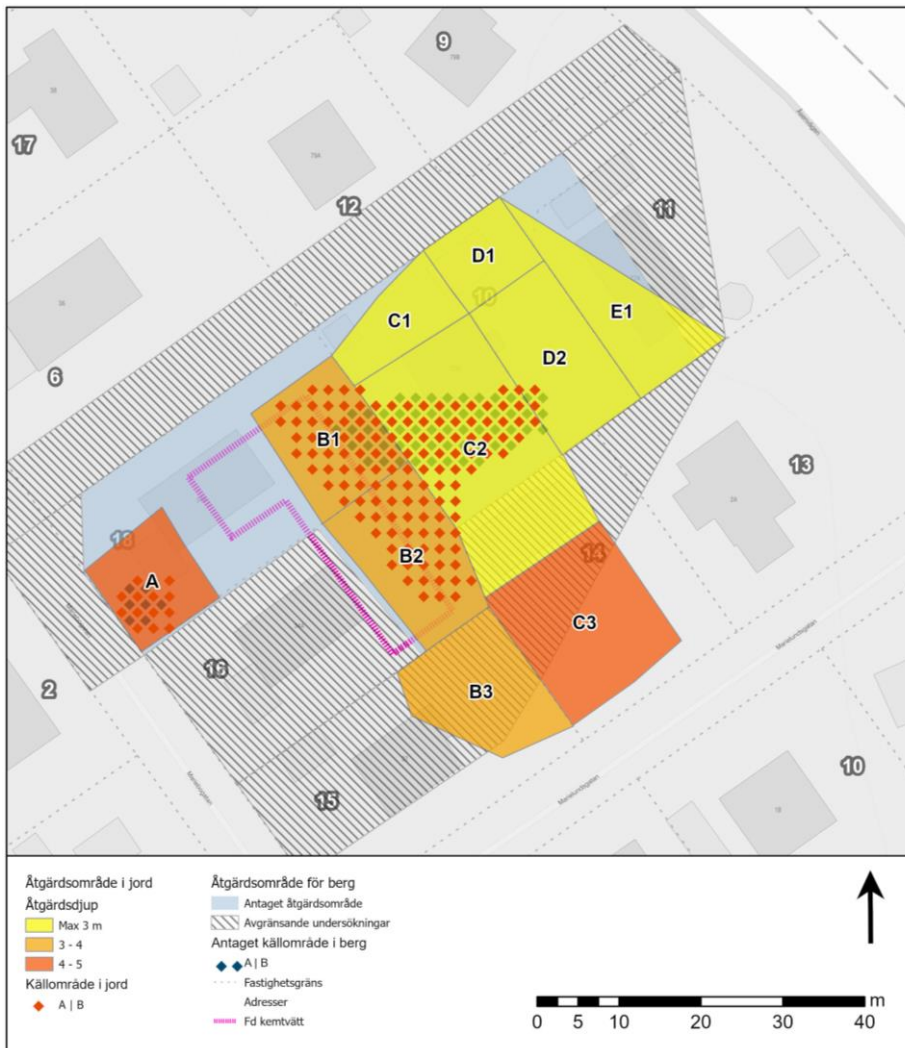


Figur 14. Kartan visualiserar åtgärdsalternativ 1B med en antagen placering av värmebrunnar i ett rutnät på 5x5 meter inom källområdena i jord och berg. I ytterkanterna finns kontrollbrunnar och som även borras för att kontrollera och avgränsa föroreningen. Biologisk behandling av den mättade zonen utförs inom orangea och ljusblå områden som ej berörs av den termiska uppvärmningen.

4.4.3 Åtgärdsalternativ 3A

Åtgärdsalternativ 3A innebär schakt av jord ner till berg i hela åtgärdsområdet (orange och gula ytor i Figur 15) och kemisk/biologisk behandling av berg i åtgärdsområdet (ljusblå yta i Figur 15). Omfattningen beskrivs i volymer i Tabell 8. De avgränsande undersökningarna kan både öka och minska den uppskattade omfattningen i berg vilket påverkar utbredningen av åtgärdsområdet i berg främst inom fastigheterna Obygden 15 och 16.

Jorden transporteras till en mottagningsanläggning. För att alternativet ska svara upp till visionen och de övergripande åtgärdsmålen är en förutsättning att jorden behandlas och att deponering av jorden ska undvikas. Ytlig jord som inte är förorenad och som behöver schaktas för att komma åt förorenad jord återanvänds inom området. Eventuellt kan även behandlad jord tas tillbaka och återanvändas. Detta ingår inte i alternativet utan kan utredas vidare om schakt blir aktuellt.



Figur 15. Kartan visualiserar åtgärdsalternativ 3. I alternativ 3A utförs schakt inom alla orangea och gula ytor och i alternativ 3B inom källområdet för jord. Kemisk/biologisk behandling av berg utförs i det ljusblå området. För alternativ 3B utförs även kemisk/biologisk behandling inom de orangea och gula ytorna, exkl. källområdet i jord som schaktas.

Schaktområdet omgärdas av både vägar och övrig bebyggelse, och schakt kommer att behöva drivas till relativt stort djup, i vissa delar upp till 5 meter under markytan. Skyddsåtgärder som direkt spontning eller schaktkassetter kan komma att vara nödvändiga. Om bergövertytan är kraftigt kuperad samtidigt som övergångszonen mellan jord och berg består av en blandning av morän och bergmaterial blir sista delen mot bergövertytan komplicerad. I detta område kan det även förekomma mycket grundvatten som är kraftigt förorenat. I alternativet ingår att pumpa upp detta vatten och rena det.

Det är viktigt att ta bort hela den förorenade jordmatrisen ända ner till bergövertytan eftersom det misstänks att fri fas förekommer i denna övergångszon. För att få bergytan helt ren kan det även behöva tvättas med t.ex. högtryckstvätt.

Under schaktarbetet blottläggs de olika jordlagren och en tydligare bild av övergången till berget erhålls. Detta kan ge ny information som påverkar hur det

är mest lämpligt att driva åtgärden vidare både rörande omfattning och metod/teknik i berg.

Inom åtgärdsområdet i berg utförs en kemisk/biologisk behandling genom att tillföra behandlingsmedel i borrade brunnar. Behandlingsmedlet kan tillsättas direkt i brunnarna eller ovan mark via ett recirkulerande system. Eventuell fri fas som ansamlas i brunnarna suggs upp och tas om hand. Området som berörs av biologisk behandling har enbart redovisats som en yta (ljusblå områden) i Figur 15. Hur många brunnar och placering av dem är inte klarlagt utan behöver projekteras av anlita d entreprenör. Borrning av brunnarna utförs med en borrhög med hammarborrning på samma sätt som beskrivs ovan i kapitel 4.4.2.

4.4.4 Åtgärdsalternativ 3B

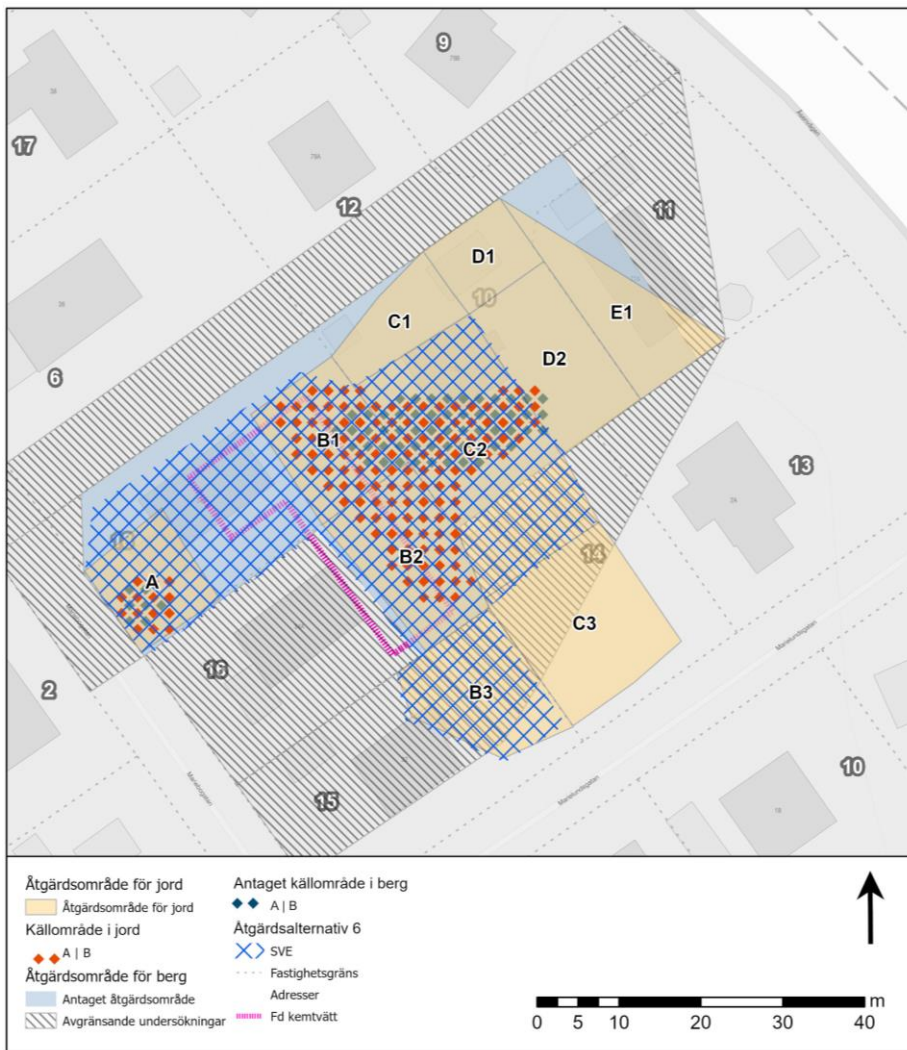
Åtgärdsalternativ 3B utgör en mindre omfattande schakt än alternativ 3A. Schakt utförs av jord i källområden, se Figur 15. För övriga delar av åtgärdsområdet utförs kemisk reduktion eller stimulerad biologisk nedbrytning i jord enligt någon av teknikerna som beskrivs i kapitel 4.3.3. För berg är alternativet det samma som alternativ 3A. Omfattningen beskrivs i volymer i Tabell 8.

4.4.5 Åtgärdsalternativ 6

Åtgärdsalternativ 6 kombinerar porgasextraktion i delar av den omättade zonen (blårutig yta i Figur 16) tillsammans med en kemisk eller biologisk behandling i den mättad zonen i både jord och berg i hela åtgärdsområdena. För att med säkerhet åtgärda fri fas har det antagits att inom källområdena behövs en mera kraftfull kemikalie som i jord orsakar en fastläggning av föroreningar och som också ger en kraftig kemisk reduktion.

Omfattningen beskrivs i volymer i Tabell 8. Observera att för berg är omfattningen och avgränsningen osäker på samma sätt som beskrivs ovan och samma avgränsande undersökningar behövs även för detta åtgärdsalternativ.

För jord antas att behandlingsmedlet tillsätts med hjälp av Direct Push-teknik (inom orangea område i Figur 16). I berg (ljusblått område i Figur 16) tillsätts behandlingsmedlet i borrade brunnar. Hur många brunnar och placering av dem är inte klarlagt utan behöver projekteras av anlita d entreprenör. Borrning av brunnarna utförs med en borrhög med hammarborrning. Vid borringen används vatten för spolning och borrhögaxet som kommer upp ur hålet tas om hand och vattnet renas i en reningsanläggning på plats. Tillsätts behandlingsmedlet kan utföras direkt i brunnarna eller ovan mark via ett recirkulerande system.



Figur 16. Kartan visualiserar åtgärdsalternativ 6. Porgasextraktion (SVE) utförs i delar av den omrättade zonen (blårutig yta). Inom den orangea och ljusblå ytorna utförs kemisk/biologisk behandling. För att med säkerhet åtgärda fri fas har det antagits att inom källområdena behövs en mera kraftfull kemikalie som i jord orsakar en fastläggning av föroreningar och som också ger en kraftig kemisk reduktion.

4.5 Bedömd riskreduktion och måluppfyllelse

Alla åtgärdsalternativ ska ha förmågan att uppnå de övergripande åtgärdsmålen. En översikt och kortfattad beskrivning ges i Tabell 9. Graden av föroreningsreduktion varierar mellan alternativen samt tiden det tar att uppnå målen. Åtgärdsalternativ som innebär kemisk och eller stimulerad reaktiv deklorering av föroreningen i berg kan behöva pågå i många år då det antagligen finns fri fas av förorening i minimala sprickor svårtillgängligt i berget. Entreprenaden behöver övervakas noga, styras och justeras efter hand som den pågår.

Boendemiljön säkerställs med hög säkerhet. Nya bostadshus kan även uppföras på ett sätt som säkerställer att ånginträngning förhindras.

Den termiska metoden har en så hög uppvärmningseffekt att den höga temperaturen kommer döda allt liv i marken. Efter avslutad åtgärd kan markens funktionalitet vara kraftigt nedsatt. Därför är det viktigt att enbart värma upp den del som är förorenad och att övrig jord skyddas. Detsamma gäller när jord schaktas ur. Genom att skydda den ytliga jord som inte behöver åtgärdas bibehålls markfunktionerna i jorden och jorden kan användas för återställning efter utförd åtgärd.

Tabell 9. Tabell över de övergripande åtgärdsmålen och de olika alternativens förmåga att uppnå målen.

Övergripande åtgärds mål	1		3		6
	A	B	A	B	
1. Området ska kunna användas för bostadsändamål i enlighet med nuvarande markanvändning utan att risker för människors hälsa uppkommer på grund av förorening.	Ja med stor säkerhet	Ja, möjlighet finns att bygga med skyddsåtgärder som förhindrar ånginträngning	Ja, möjlighet finns att bygga med skyddsåtgärder som förhindrar ånginträngning		Ja, möjlighet finns att bygga med skyddsåtgärder som förhindrar ånginträngning
2. Förekomst av föroreningar ska inte inverka på de ekologiska funktioner som markanvändningen kräver.	Ja, ytlig jord som inte behöver åtgärdas skyddas så att markfunktionerna bibehålls och användas vid återställning		Ja, ytlig som inte behöver åtgärdas behöver skyddas och användas vid återställning		Ja med stor säkerhet
3. Föroreningsmängden ska minskas så att eventuell spridning av föroreningar i grundvatten kan omhändertas genom naturliga processer.	Ja med stor säkerhet	Ja	Ja, viss osäkerhet till när det kan uppnås		Ja, viss osäkerhet till när det kan uppnås
4. Föroreningsmängden ska minskas så att markarbeten i jord inom området kan utföras fritt utan restriktioner	Ja med stor säkerhet	Ja, viss osäkerhet till när det kan uppnås	Ja med stor säkerhet	Ja, viss osäkerhet till när det kan uppnås	Ja, viss osäkerhet till när det kan uppnås
5. Föroreningsmängden ska minskas så att uttag av energi i berg och andra arbeten i berg (t.ex., borming och sprängning) ska vara möjliga att genomföra.	Ja med stor säkerhet	Ja	Ja, viss osäkerhet till när det kan uppnås		Ja, viss osäkerhet till när det kan uppnås

4.6 Kostnad

Kostnaderna för åtgärderna har beräknats mycket översiktligt i denna rapport. En mer detaljerad beräkning behöver utföras för valt åtgärdsalternativ. Beräkningen baseras på volymen som behöver åtgärdas och utifrån en schablon av vad åtgärdsmetoderna normalt kostar per enhet, se Tabell 10. För samtliga alternativ har ytterligare 10 % lagts till för projektering och 20 % oförutsett. Kostnaderna redovisas för respektive alternativ i Tabell 11. Kostnader som genereras av att byggnader och konstruktioner behöver tas bort och efter åtgärd ersättas, ingår inte. Denna kostnad är samma för alla alternativen.

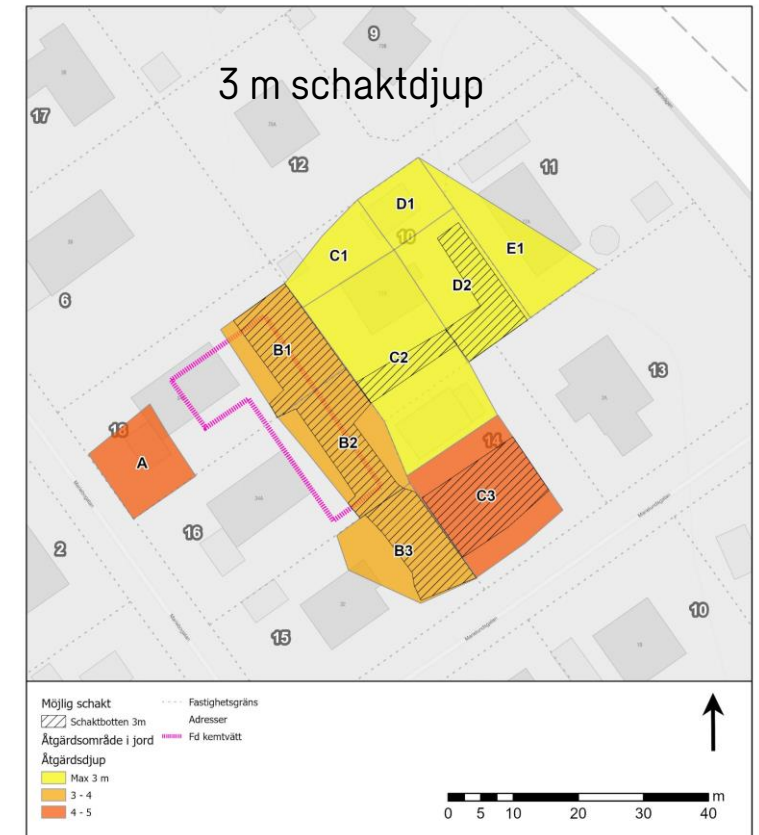
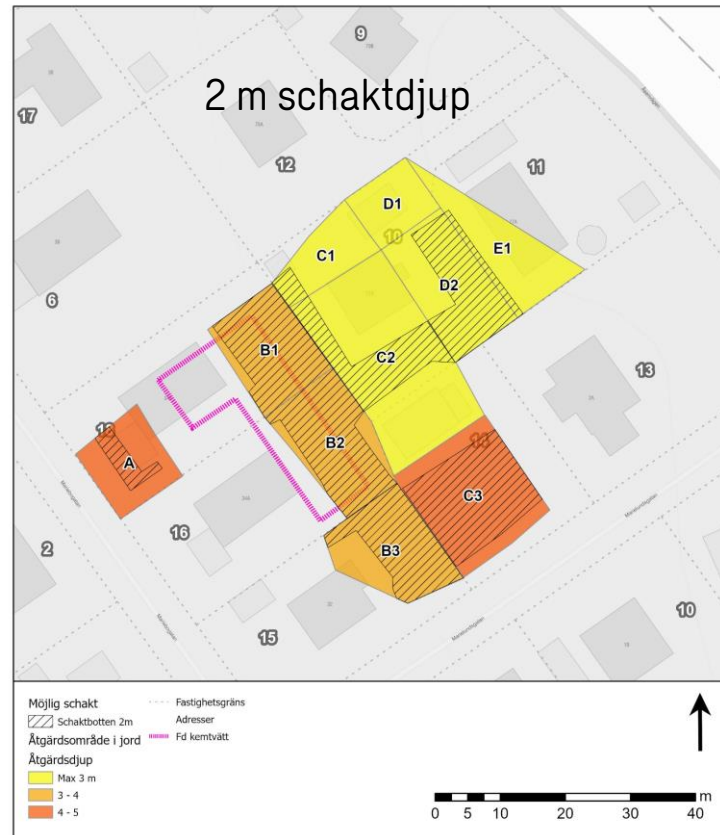
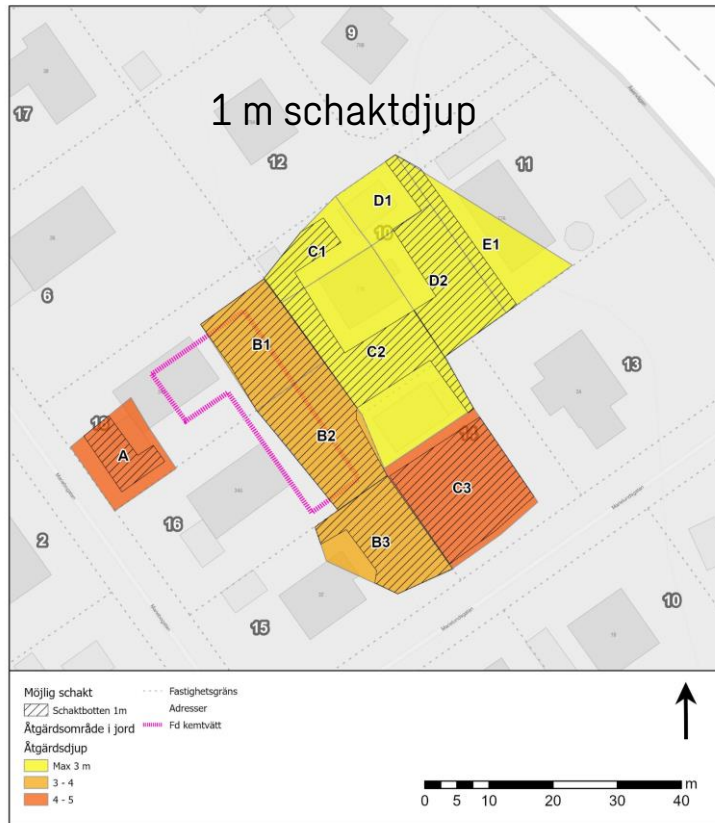
Tabell 10. Schablonkostnad för olika åtgärdsmetoder.

Metod	Kostnad kr/m ³
Biologisk stimulering	500
Kemisk reduktiv deklorering	700
Kemisk reduktiv deklorering med fastläggning	1 000
Termisk behandling	2 500
Schakt och deponering	1 500

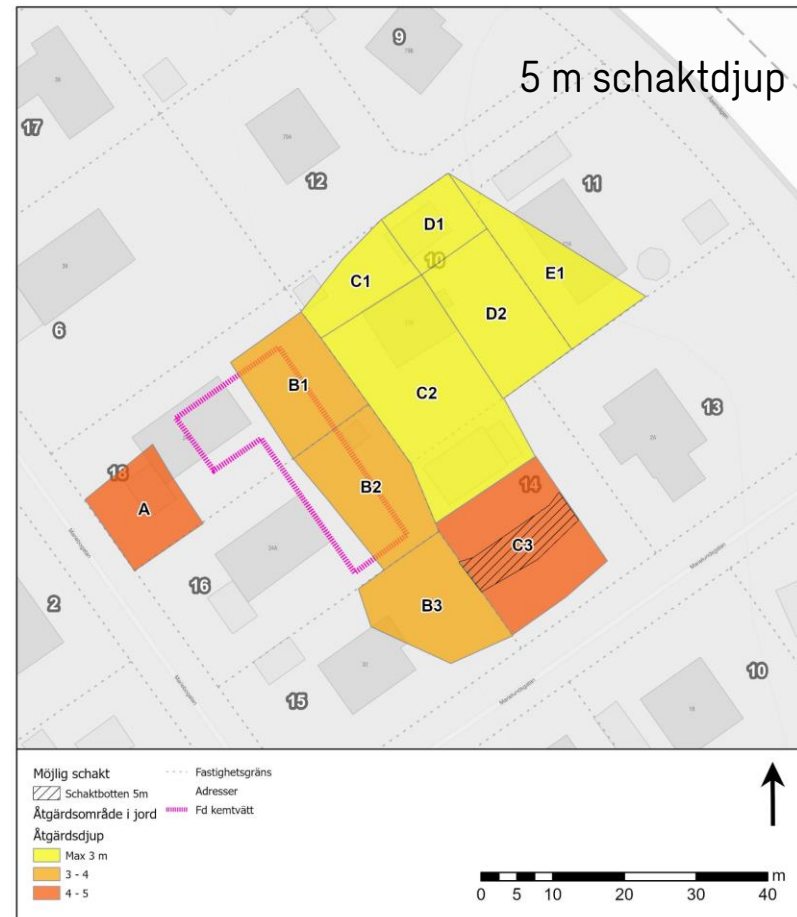
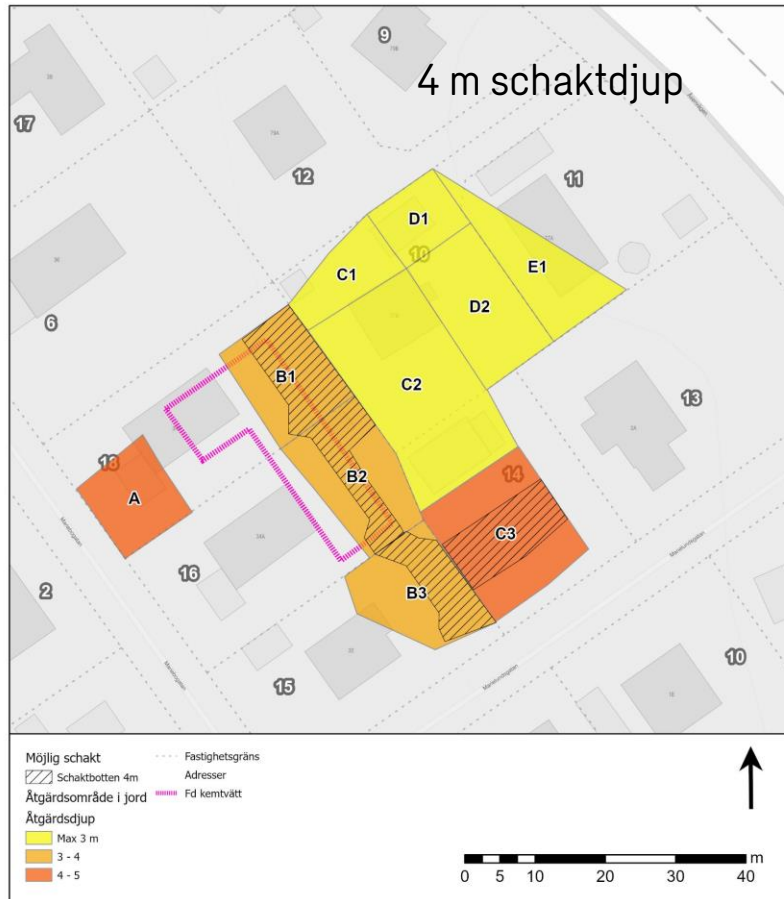
Tabell 11. Tabellen redovisar kostnaden (Mkr) för respektive alternativ.

Kostnad	1		3		6
	A	B	A	B	
Jord	21	9	13	8	6
Berg	122	35	34	34	36
Summa	143	44	47	42	42

Tekniska aspekter – exempel schakt



Tekniska aspekter – exempel schakt



- Inom område A går det ej att gräva djupare än 2 meter. Förorening finns ner till berg på ca 5 m.
- Inom delar av område C och D kommer schakten behöva avbrytas innan föroreningarna nås.