

Åtgärdsutredning



Insidan av byggnaden som ligger ovan källområdet TRI2. Foto: Ramboll, 8 juni 2021.

Whirlpool Sweden AB

Strömbrytaren 11, Norrköping

Malmö 2021-06-30

Strömbrytaren 11, Norrköping

Åtgärdsutredning

Datum	2021-06-30
Uppdragsnummer	330002634
Revision:	Slutversion

Marco Gardini
Uppdragsledare

Jonas Bruzell
Johanna Moreskog
Handläggare

Helen Legeby
Granskare

Ramboll Sweden AB
Lokgatan 8
211 20 Malmö

Telefon 010-615 60 00

Unr 330002634 Organisationsnummer 556133-0506

Executive Summary

A Remedial Options Assessment (ROA) has been conducted for soil and groundwater (soil aquifer above bedrock) impacted by chlorinated solvents (PCE and its degradation products) at Whirlpool's former production site in Norrköping, Sweden. The ROA has focused on two impacted areas, TRI1 and TRI2, which (to a large degree) are located beneath an industrial building. The impacted areas are located within the land parcel "Strömbrytaren 11".

Based on current understanding, the bulk contamination is in the unsaturated zone of area TRI2 (1 000 m²), and mainly in a silty lens (surrounded by sand deposits) located at 2-4 meters below ground level (m bgl). The volume of impacted soils in the unsaturated zone (0-6 m bgl), with concentrations exceeding risk-based remedial target levels for industrial land use, is estimated to range from 3 000- 4 000 m³. Treatment of these soils are likely to improve groundwater quality over time since remediation will prevent future migration from unsaturated to saturated zone. Since no soil samples in TRI1 are reported above risk-based remedial target levels for industrial land use, no remedial action is required in area TRI1.

PCE and its degradation products have been reported in concentrations in excess of site-specific guideline values for groundwater. The footprint of groundwater impact in the soil aquifer (mainly glaciofluvial sand deposits) is approximately 6 000 m² and laterally confined by the bedrock topography.

A preliminary screening of remedial alternatives identified several options of which the following were assessed to be suitable for further evaluation for unsaturated soils in area TRI2:

- Soil Vapor Extraction (SVE);
- Excavation, possibly in combination with ISCO/Soil mixing (deeper unsaturated soils, 4-6 m bgl); and
- Thermal remediation (TCH; thermal conductive heating).

The following remedial options were assessed suitable for further evaluation for groundwater (soil aquifer):

- Thermal remediation (TCH)
- In Situ Chemical Oxidation (ISCO); and
- Enhanced reductive dichlorination (ERD).

A semi-quantitative scoring system was developed to facilitate this evaluation based on assigning a weighted numerical value to seven criteria: costs, effectiveness, time scale, durability, practicability, health and safety, and sustainability/environmental impact. Each of the mentioned criteria has also been assessed qualitatively. Redevelopment plans (as communicated by the property owner) have been considered when assessing each option. Cost estimates have been developed for each remedial option (but are not intended to provide budget estimates to undertake the works).

Excavation is assessed the most suitable remedial option for the unsaturated zone in area TRI2. Excavation is cost-effective and practically feasible without significant difficulties once the building has been demolished. Excavation as remedial action does not prevent achieving stricter remedial targets (if land use is changed to residential in accordance with current plans). Remedial costs to reach risk-based remedial targets for industrial land use is estimated to range from 5.5. to 10.2 M Swedish Crowns (SEK). The timeline for active remediation is assessed 1 to 2 months.

The ISCO-approach was ranked highest by the developed scoring system, closely followed by ERD. Although ISCO is assessed the preferred option; ERD will not be discarded at this stage of the project. A recently undertaken investigation indicates impact in the bedrock (currently available as a draft report). The impact in bedrock will need to be further characterized and delineated prior to making a final decision on a remedial strategy for groundwater (the impact situation in the bedrock will affect decision making). Although the need for remedial action of the bedrock has not been assessed – some general discussions regarding remediation technologies of bedrock have been included to this report where extraction potential DNAPL in combination with ERD may be a cost-effective approach. Since ISCO and ERD are utilizing opposite redox conditions, it would be a challenge to utilize both techniques simultaneously. The groundwater aquifer in the soil aquifer is however fairly oxygenated and difficulties may exist in turning and maintaining it anaerobic.

Treatment costs for the soil aquifer with ISCO is estimated to 9 to 12 M SEK. ERD treatment of the soil aquifer is estimated to 7 to 9 M SEK. A groundwater monitoring program will be needed following remediation (1-2 M SEK), regardless of method. Key wells will be selected to verify successful remediation and to confirm limited impact in periphery wells. The monitoring program will last for at least two years. Ramboll recommends that average concentrations in selected wells should be reported below the remedial target level for groundwater during three consecutive sampling rounds for remediation closure.

The bedrock study will be shared once made final by WSP.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Myndighetsbeslut	1
1.3	Övergripande åtgärds mål	3
1.4	Administrativa uppgifter	3
2.	Bakgrund	3
2.1	Objektbeskrivning	4
2.2	Framtida planer	5
2.3	Utförda miljötekniska undersökningar och utredningar	7
2.4	Föreslagna mätbara åtgärds mål	8
3.	Konceptuell modell och riskbedömningsresultat	9
3.1	Geologi och hydrogeologi	9
3.2	Mark och grundvattenförorening	13
3.3	Övriga föroreningar	16
3.4	Summering av riskbedömningsresultat	16
3.5	Summering av undersökning i berg	17
4.	Antaganden i åtgärdsutredning	18
5.	Möjliga åtgärdstekniker	19
5.1	Screening av åtgärdstekniker	19
5.2	Åtgärdsalternativ som utvärderas närmare	23
6.	Detaljerad beskrivning av möjliga åtgärdsalternativ	24
6.1	Utvärderingskriterier	24
6.2	Osäkerheter	25
6.3	Termisk sanering, TCH	25
6.3.1	Utvärderingskriterier	27
6.4	Schaktning	29
6.4.1	Utvärderingskriterier	30
6.5	ISCO/soil mixing	31
6.5.1	Utvärderingskriterier	32
6.6	SVE	33
6.6.1	Utvärderingskriterier	34
6.7	ISCO	35
6.7.1	Utvärderingskriterier	37
6.8	ERD, injektering	38

6.8.1	Utvärderingskriterier	40
6.9	Utvärdering	41
7.	Möjliga åtgärder av berg	43
8.	Rekommenderade åtgärder	44
8.1	Schaktning	44
8.2	Grundvatten	45
8.3	Berg	46
8.4	Tidsplan	46
9.	Slutsatser	47
10.	Referenser	49

Bilagor

Bilaga 1 – Semi-kvantitativ utvärdering av åtgärdsalternativ

Bilaga 2A-C – Uppskattade ytor för schaktning

1. Inledning

Ramboll Sweden AB och Ramboll Italia S.r.l (Ramboll) har på uppdrag av Whirlpool Sweden AB (Whirlpool) tagit fram detta dokument som presenterar en åtgärdsutredning för hantering av klorerade lösningsmedel i mark och grundvatten inom fastigheten Strömbrytaren 11 i Norrköping (objektet). Flera miljötekniska undersökningar/utredningar har utförts inom Whirlpools före detta verksamhetsområde och åtgärdsbehov har bedömts föreligga för omättad jord samt grundvatten inom och i anslutning till två identifierade källområden, TRI1 och TRI2, inom Strömbrytaren 11.

Under arbetet med åtgärdsutredningen delgavs Ramboll ett rapportutkast som visar på identifierad förorening i berg (WSP, 2021-06-01). Ytterligare utredning krävs för att bedöma omfattning av förorening och om åtgärdsbehov föreligger. Möjliga åtgärdsalternativ i berg diskuteras endast översiktligt och principiellt i denna rapport.

1.1 Syfte

I denna åtgärdsutredning presenteras och jämförs olika åtgärdsalternativ för de förorenade områdena TRI1 och TRI2 inom fastigheten Strömbrytaren 11. Ett åtgärdsalternativ kan bestå av flera åtgärdsmetoder, till exempel schaktning kombinerat med en in-situ metod.

Det övergripande syftet är att presentera relevanta åtgärdsförslag samt att lyfta fram det åtgärdsförslag som anses mest lämpligt utifrån ett antal kriterier. Dessa inkluderar riskreduktion för att uppnå åtgärds mål baserat på den fördjupade riskbedömningen framtagen av WSP (WSP, 2020a) och relaterat föreläggande från Norrköpings kommun (Norrköpings kommun, 2021a).

1.2 Myndighetsbeslut

Byggnads- och miljöskydds nämnden i Norrköping har förelagt Whirlpool Sweden AB att redovisa förslag på åtgärder för att reducera risker med påvisad förorening av klorerade lösningsmedel. I relaterat beslut framgår att risker för människa och miljö ska reduceras för att förhindra en framtida risk med påvisad förorening enligt scenariot "framtida generell MKM" i WSP:s riskbedömning (framtagna riktvärden för yttlig jord ska beaktas för skydd av markarbetare). Därutöver framgår att grundvattnet i den isälvsformation som finns i området ska skyddas som en framtida naturresurs (och att åtgärds mål ska föreslås) (Norrköpings kommun, 2021a). Nedan listas punkterna från beslutet samt hänvisningar till rapporten där dessa punkter diskuteras och redovisas.

1. Risken för olägenhet för människors hälsa och miljön ska reduceras till den nivå som möjliggör scenariot "framtida generell MKM" och uppfyller de övergripande åtgärds målen redovisade i den fördjupade riskbedömningen

- (WSP, rev. 2021-03-17). - *Sammanfattas i avsnitt 1.3 (övergripande åtgärds mål och avsnitt 2.4 (mätbara åtgärds mål)).*
2. Risken för markarbetare inom fastigheterna Strömbrytaren 10-12 ska reduceras till den nivå som anges i scenariot för yttlig jord som presenteras i den fördjupade riskbedömningen. - *Sammanfattas i avsnitt 1.3 och 2.4.*
 3. Grundvattnet i den isälvsformation som berör fastigheterna Strömbrytaren 10, 11 och 12 ska skyddas som en framtida naturresurs. Specifikt åtgärds mål för åtgärden ska föreslås utifrån vad som är skäligt ur teknisk och ekonomisk synvinkel samt omständigheterna i övrigt. - *Sammanfattas i avsnitt 1.3 och 2.4.*
 4. Åtgärdsutredningen ska redovisa vilka relevanta åtgärder som kan vidtas för att nå de övergripande åtgärds målen och de förutsättningar som anges under punkt 1-3 samt ett förslag på den metod, eller den kombination av metoder, som bolaget anser vara mest lämplig. - *Sammanfattas i kapitel 6 och 8.*
 5. Redovisning ska ske avseende:
 - 5.1. Teknisk beskrivning av hur metoden fungerar och genomförs samt vilket område som berörs av åtgärden. *Sammanfattas i första delen under respektive åtgärd i kapitel 6.*
 - 5.2. Kostnader för genomförande av åtgärden. *Sammanfattas under urvalskriterier för respektive åtgärd i kapitel 6.*
 - 5.3. Hur mätning och uppföljande kontroll av metodens funktion kan ske. - *Sammanfattas för rekommenderad åtgärd i kapitel 6.*
 - 5.4. Tid för genomförande inklusive uppföljningsbehov och kontrollåtgärder i efterhand. - *Sammanfattas för rekommenderade åtgärder i avsnitt 8.4.*
 - 5.5. Eventuella behov av åtgärdsförberedande undersökningar och pilotförsök. - *Sammanfattas för rekommenderade åtgärder i kapitel 8.*
 - 5.6. Metodens säkerhet och hur beprövad den är. *Sammanfattas under urvalskriterier för respektive åtgärd i kapitel 6.*
 - 5.7. Förväntad effekt av åtgärden inklusive en bedömning av i vilken utsträckning de övergripande åtgärds målen och förutsättningarna under punkt 1-3 uppfylls. *Sammanfattas under urvalskriterier för respektive åtgärd i kapitel 6.*
 6. Åtgärderna som väljs får inte försvåra möjligheten att genomföra åtgärder med högre ambitionsnivå i framtiden, vid exempelvis ändrad användning av fastigheten till en känsligare. – *Finns med som del i utvärderingskriteriet "praktisk tillämpbarhet" i kapitel 6.*
 7. Resultaten av undersökningen i berggrunden ska riskbedömas och meddelas tillsynsmyndigheten samt inkluderas i åtgärdsutredningen. – *Möjliga åtgärder och resonemang diskuteras i kapitel 7.*
 8. Behov av eventuella kompletterande undersökningar som behöver ske för att kontrollera föroreningsituationen i delområden som inte åtgärdas ska redovisas. - *Åtgärd avses genomföras inom båda identifierade områden där åtgärdsbehov bedömts föreligga, dvs inom TRI1 och TR2. En diskussion kring behov för eventuellt ytterligare undersökningar till följd av förorening i berggrund diskuteras i kapitel 6.*

1.3 Övergripande åtgärds mål

Whirlpool har ansvar för åtgärder för industriell användning, dvs motsvarande Naturvårdsverkets scenario för Mindre Känslig Markanvändning. Följande övergripande åtgärds mål har tagits fram tidigare i projektet (WSP, 2020a):

- Tillfälliga besökare och yrkesverksamma inom verksamhetsområdet ska inte utsättas för oacceptabel hälsopåverkan från beaktade föroreningar.
- Boende och andra personer som vistas i närområdet (utanför verksamhetsområdet) ska inte utsättas för oacceptabel hälsopåverkan från beaktade föroreningar.
- Miljön inom och utanför verksamhetsområdet skall inte utsättas för en oacceptabel påverkan av föroreningar.
- Spridningen av beaktade föroreningar från verksamhetsområdet skall inte medföra en oacceptabel påverkan på omgivande dricksvattentäkter och recipienter (Motala Ström).

Utöver Whirlpools planerade åtgärder till industriell markanvändning så finns det även framtida planer att omvandla området till bostadsändamål. Vid utvärdering av lämplig åtgärds metod avses inte metoder beaktas som försvårar möjligheten att genomföra åtgärder med högre ambitionsnivå i framtiden.

1.4 Administrativa uppgifter

Uppdragsgivare:	Whirlpool Sweden AB
Kontaktuppgifter:	Shawn J Tollin
Email:	shawn_j_tollin@whirlpool.com
Fastighetsbeteckning:	Strömbrytaren 11
Kommun:	Norrköping
Län:	Östergötlands län
Miljökonsult:	Ramboll Sweden AB (Ramboll)
Kontaktpersoner:	Jonas Bruzell och Johanna Moreskog jonas.bruzell@ramboll.se/ johanna.moreskog@ramboll.se

2. Bakgrund

Det finns en hel del information om objektet och det direkta närområdet i tidigare utförda miljötekniska undersökningsrapporter, exempelvis i den fördjupade riskbedömningsrapport som togs fram av WSP under 2020 (WSP, 2020a). Nedan ges en summering av objektet, framtida planer samt utförda miljötekniska undersökningar och utredningar.

2.1

Objektbeskrivning

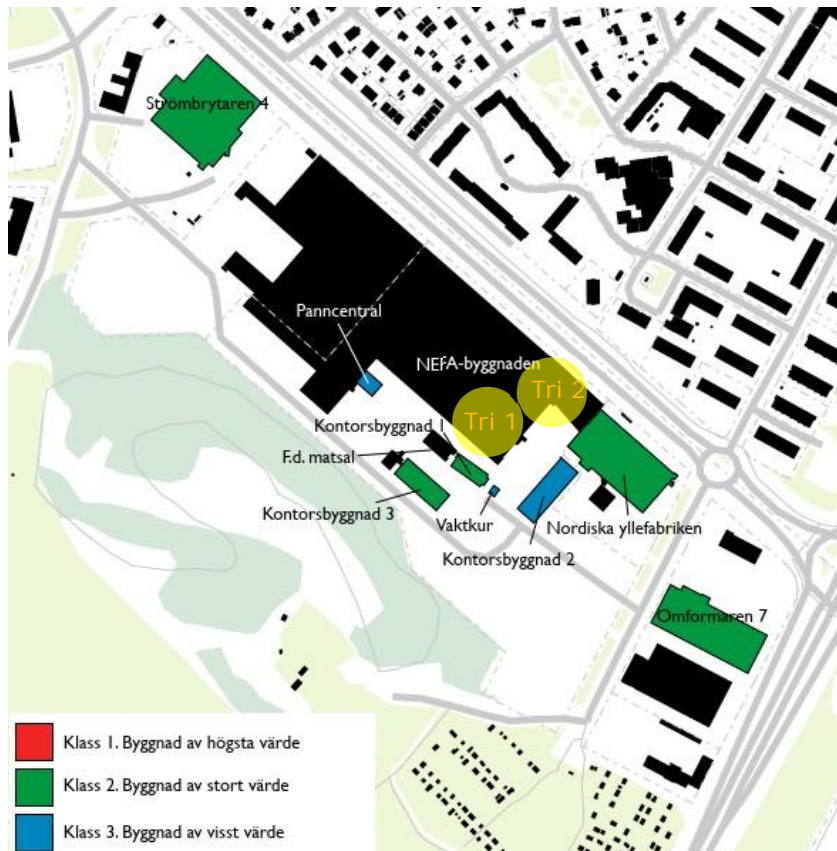
Fastigheterna där Whirlpool tidigare bedrivit verksamhet (Strömbrytaren 10-12), även kallade *Strömbrytarna* i detta dokument, ligger inom industriområdet Himmelstalund i de västra delarna av Norrköping, se figur 1. Denna rapport fokuserar på två identifierade förorenade områden, TRI1 och TRI2, inom den större av de tre fastigheterna, Strömbrytaren 11; 83 800 m². Totalt utgör Strömbrytarna 137 100 m².



Figur 1. Fastigheterna där Whirlpool bedrivit verksamhet i Norrköping. Åtgärdsbehov har bedömts föreligga inom Strömbrytaren 11, den centrala och större fastigheten av de tre fastigheterna som utgjort Whirlpools verksamhetsområde. Bildkälla: Modifierad figur från fördjupad riskbedömningsrapport (WSP, 2020a). Ursprunglig bildkälla: Lantmäteriet 2020. Ramboll Medgivande: 2021.

Inom Strömbrytarna har industriell verksamhet, vilket inkluderat produktion av elektronisk utrustning, pågått sedan 1940-talet. Radio- och tv-apparater samt stereoutrusning tillverkades fram till slutet av 1980-talet. Därefter har mikrovågsugnar tillverkats fram till 2014. Idag används somliga lokaler inom fastigheten främst som lager, men en del lokaler nyttjas även för handel och kontor, vilket Ramboll noterade vid platsbesök den 8 juni 2021. En del av industribyggnaderna inom Strömbrytarna har ett stort värde enligt en utförd antikvarisk utredning (Wilund, 2019), se figur 2. I figuren åskådliggörs också ungefärlig placering av de förorenade områdena TRI1 och TRI2 som beskrivs senare i denna åtgärdsutredning.

Innan industriell verksamhet etablerades bestod området av jordbruksmark och kolonilotter (WSP, 2014; WSP, 2020a).

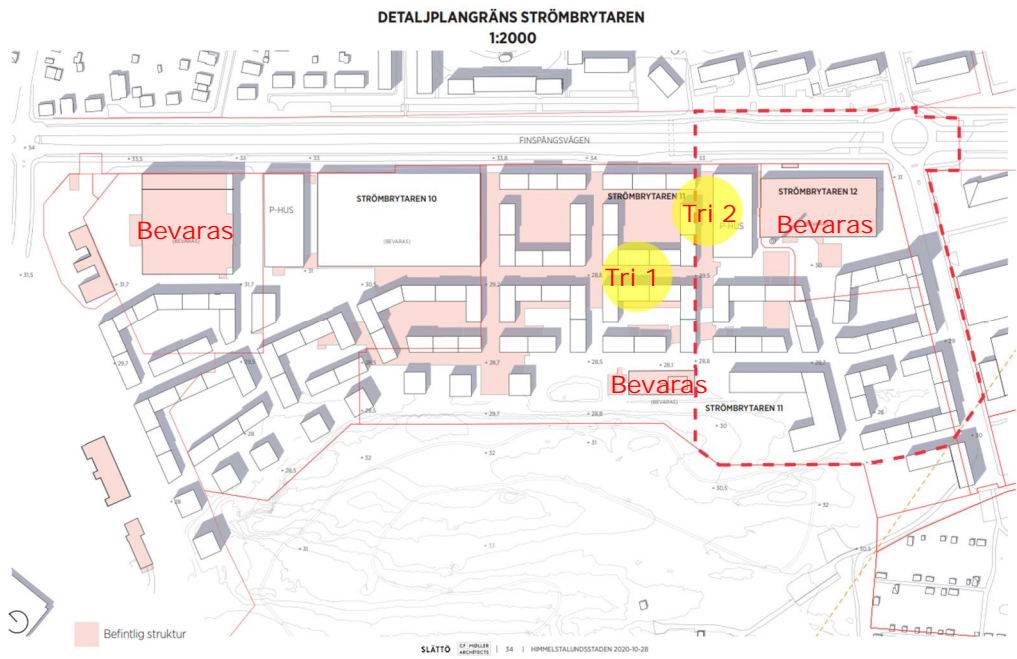


Figur 2. Byggnader av stort värde inom Whirlpools f.d. verksamhetsområde visas i grön färg. Byggnader av visst värde visas i blå färg. Ungefärlig placering av de förorenade områdena Tri1 och Tri2 visas i figuren.

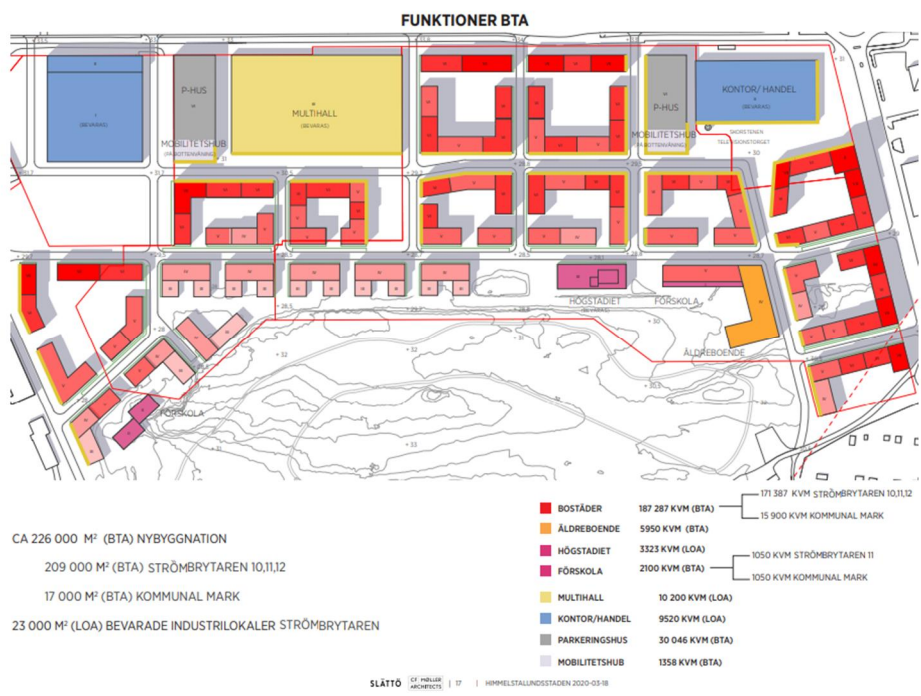
2.2

Framtida planer

Nuvarande fastighetsägare planerar att utveckla Strömbrytarna som del i pågående detaljplanearbete för norra Himmelstalund (Norrköpings kommun, 2021b). En ritning som åskådliggör planerad byggnation i förhållande till nuvarande industribyggnader inom Strömbrytarna redovisas i figur 3. En del av industrilokalerna inom fastigheterna avses bevaras, vilket framgår i figuren. Inom området planeras bostäder, kontor/handel, en multihall, parkeringshus och äldreboende, se figur 4. Ramboll noterar att det föreligger en del mindre skillnader mellan figur 3 och figur 4, men sammantaget ger figurerna en översiktlig bild avseende planerna för området. Cirka 23 000 m² industrilokaler kommer bevaras (Wilund, 2020). Utifrån information i figur 3 och figur 4 framgår att den f.d. produktionsbyggnaden där de förorenade områdena TRI1 och TRI2 är belägna kommer rivas och ersättas med bostadshus. Ett par närliggande byggnader av stort värde kommer bevaras (jmf. figur 2 med figur 3). Enligt figur 4 så kommer industribyggnaden inom Strömbrytaren 12 ("Nordiska Yllefabriken" i figur 2), direkt öster om TRI2, husa kontor och handel. I en industribyggnad söder om TRI1 planeras högstadieskola ("kontorsbyggnad 3" i figur 2).



Figur 3. Planförslag för området i relation till befintliga byggnader (strukturer), där en del kommer bevaras. Modifierad figur utifrån ritning av CP Möller Architects. Himmelstallnsstaden 2020-10-28.



Figur 4. Planerade funktioner inom Strömbrytarna. I figuren framgår att bostäder, högstadium, förskola, multihall, äldreboende, parkeringshus mm planeras inom området (Wilund, 2020). Figuren har modifierats för att inkludera ungefärlig placering av de förenade områdena som avses åtgärdas inom Strömbrytaren 11.

Enligt uppgifter från fastighetsägaren (juni 2021) är planen att påbörja rivningen av byggnaden under 2022 till 2023 och påbörja nybyggnation ungefär ett år efter rivningen.

2.3 Utförda miljötekniska undersökningar och utredningar

Ett flertal undersökningar har utförts inom Strömbrytarna och utgör underlag till den fördjupade riskbedömning som tagits fram av WSP under 2020 (WSP, 2020a). Resultat från respektive utförd miljöteknisk undersökning avses inte redogöras för som del av denna åtgärdsutredning. Utifrån framtagna riskbedömning (WSP, 2020a) och föreläggande från Byggnads- och Miljöskyddsnämnden i Norrköping föreligger ett åtgärdsbehov inom objektet (Norrköpings kommun, 2021a). Nedan listas miljötekniska rapporter relaterade till undersökningar och utredningar inom Strömbrytarna.

- 2008 - SWECO. Avlägsnande av underjordstank – Sanering av oljeförorening vid oljetank. Stockholm 2008-07-08.
- 2014 – WSP. Fastighetsbolaget Fair Femton KB- Miljöinventering Whirlpool Strömbrytaren 10 och 11, Norrköpings kommun, daterad 2014-02-14, WSP Environmental.
- 2014 - WSP. Avvecklingsbesiktning av verksamheten på fastigheterna Strömbrytaren 10 och Strömbrytaren 11 i Norrköpings kommun. Daterad 2014-06-18.
- 2014 - WSP. Översiktlig miljöteknisk markundersökning Strömbrytaren 10 och 11, Norrköping. Daterad 2014-08-18, Uppdragsnr: 10197743.
- 2015 – WSP. Kompletterande provtagning samt riskbedömning. Daterad 2015-03-23.
- 2017 - WSP. Miljöteknisk Markundersökning Strömbrytaren 11, Norrköping. Daterad 2017-11-02.
- 2017 - WSP. FL-A, Fält- och Lab resultat inkl. provtagningsplaner, hösten 2016 Detaljerad miljöteknisk undersökning avseende klorerade lösningsmedel på Strömbrytaren 11 och 12. Daterad 2017-06-25.
- 2017-WSP. FL-B, Fält- och Lab resultat inkl. provtagningsplaner, hösten 2016 Detaljerad miljöteknisk undersökning avseende klorerade lösningsmedel på Strömbrytaren 11 och 12. Daterad 2017-08-31.
- 2018 - WSP. Detaljerad miljöteknisk undersökning och fördjupad riskbedömning avseende klorerade lösningsmedel på Strömbrytaren 11 och 12, Huvudrapport, Daterad 2018-03-25.
- 2020 – WSP. Huvudrapport Daterad 2020-08-23.
- 2020 – WSP. FL-C, Fält- och Lab resultat inkl. provtagningsplaner, 2019-2020 – Whirlpool. Additional investigations, Daterad 2020-08-23.
- 2020 – WSP. Översiktlig miljöteknisk markundersökning, Strömbrytaren 10, 11 & 12 och Omformaren 7, Norrköping, Daterad 2020-08-23.
- 2020 – WSP. Fördjupad riskbedömning. Strömbrytaren 10,11 och 12, Norrköping, Norrköpings kommun.

2.4 Föreslagna mätbara åtgärds mål

Följande mätbara åtgärds mål kommer tillämpas för jord.

- Framtida generell MKM (WSP, 2020a; Norrköpings kommun, 2021a). Riktvärden har tagits fram för olika djupintervall. I föreläggande från Norrköpings kommun poängteras vikten av att reducera nivåer enligt scenario för yttlig jord i riskbedömning i syfte att reducera risker för markarbetare.

Grundvattnet i den isälvformation som berör fastigheterna Strömbrytaren 10, 11 och 12 ska skyddas som en framtida naturresurs. Norrköpings kommun har poängterat vikten av att lämpliga åtgärds mål ska föreslås med hänsyn till tekniska och ekonomiska aspekter (Norrköpings kommun, 2021b). Ramboll föreslår ett likartat tillvägagångssätt som för jord, dvs att det framtida scenariot enligt WSP:s riskbedömning (WSP, 2020a), är styrande vid val av åtgärds mål. Följande mätbara åtgärds mål (medelhalt i ett urval av grundvattenrör; beskrivs senare i rapporten) föreslås för grundvatten:

- Platsspecifika riktvärden för skydd av omgivande grundvatten enligt scenario framtida MKM i WSP:s riskbedömning (WSP, 2020a).

Åtgärds mål för jord- respektive grundvatten redogörs för i tabell 1 respektive tabell 2. För jord finns åtgärds mål för tetrakloreten (PCE) och trikloreten (TCE) framtagna men inte för nedbrytningsprodukterna dikloreten (cDCE) och vinylklorid (VC) då de knappt påvisats över laboratoriets rapporteringsgräns i jord. Anledningen till detta är att nedbrytning genom reduktiv deklorering främst sker i grundvatten (WSP, 2020a).

Tabell 1. Åtgärds mål för jord vid djupintervallen 0–2 respektive 2–6 meter under markytan (m u my).

Ämne	Omättad jord 0-2 m u my (mg/kg)	Omättad jord 2-6 m u my (mg/kg)
PCE	2,4	2,8
TCE	0,7	0,8

Tabell 2. Åtgärds mål för grundvatten.

Ämne	Åtgärds mål (µg/l)
PCE	600
TCE	600
cDCE	3 000
VC	30

3. Konceptuell modell och riskbedömningsresultat

Nedan avsnitt beskriver grundläggande geologiska och hydrogeologiska förutsättningar i området, föroreningsituationen samt en summering av den konceptuella modell som framtagits för objektet med fokus på de förorenade områdena TRI1 och TRI2. Beskrivningen baseras främst på information i senare miljötekniska rapporter (WSP, 2020a; WSP, 2020b).

Föroreningsituationen berörs till viss del i inledande geologi- och hydrogeologi-avsnitt 3.1, men beskrivs främst i avsnitt 3.2. Föroreningspåverkan som kräver åtgärd i omättad jord är begränsad till område TRI2. Föroreningspåverkat grundvatten har konstaterats inom både TRI1 och TRI2. De förorenade områdena i de båda områdena kan hänga samman till viss del i mättad zon.

Bedömningar i detta stycke är WSP:s bedömningar, om inte annat anges. Ramboll instämmer i WSP bedömningar, om inte annat anges.

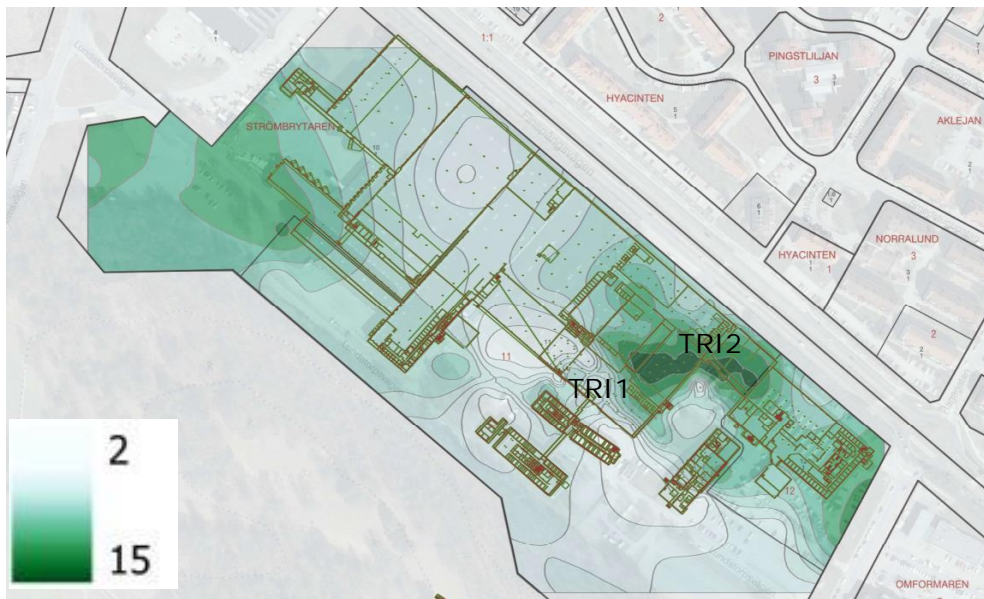
3.1 Geologi och hydrogeologi

Lösa jordlager inom Strömbrytarna består främst av sandigt isälvssediment. Siltigt mer finkornigt jordmaterial har påvisats inom en del områden, ofta ytligt ovan grundvattenytan. Grövre kornstorlekar (grus eller grusigare sand) som är mer vattenförande påträffas också inom en del områden, men då ofta under grundvattenytan.

Inom TRI2 förekommer siltigt jordmaterial ca 2-4 meter under markytan (m u my). Huvuddelen av den förorening som påvisats inom objektet förekommer inom detta djupintervall i omättad zon av TRI2 (vilket beskrivs mer utförligt under nästkommande avsnitt 3.2).



Figur 5. Berg i dagen förekommer inom delar av objektet, dels sydväst om TRI1 (Foto: Ramboll, 8 juni 2021), men även inom andra delar av objektet (se bild t.h.; modifierad bild från: WSP 2020a; där jordlagerkarta är hämtad från Statens geotekniska instituts databas, 2020).



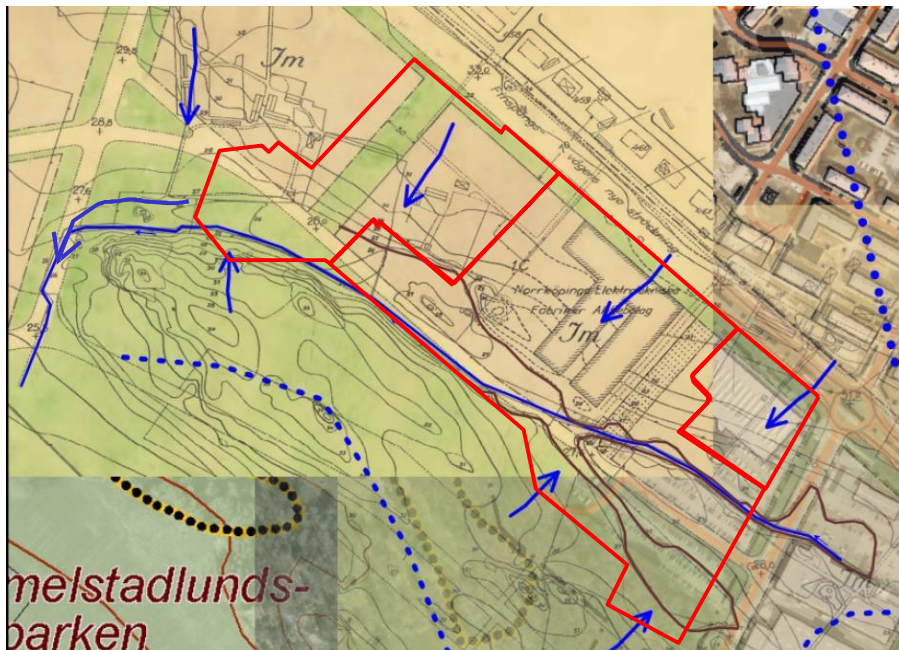
Figur 7. Jorddjup och ungefärligt läge för TRI1 och TRI2. Bildkälla: (WSP, 2020a).

Grundvattenytan ligger kring +26 meter över havet (m ö h) inom Strömbrytarna. Markytan är ca 4 meter högre vid TRI2 än vid TRI1 vilket medför att grundvattenytan ligger ca 6 meter under markytan (m u my) vid TRI2 och ca 2 m u my vid TRI1. Nivåskillnaden för markyta och grundvattenytan mellan TRI1 och TRI2 åskådliggörs exempelvis i figur 6. Större delen av påvisad förorening (inom TRI1 och TRI2) ligger som tidigare nämnts, under befintlig huskropp.

Objektet ligger en dryg kilometer öster om vattenskyddsområdet Glan. Glan förser Norrköping med dricksvatten och rinner ut i Motala ström som sedan går vidare mot Bråviken. Glan ligger uppströms objektet sett till bedömd grundvattenriktning och bedöms därmed inte påverkas av förorenande ämnen från objektet. Både Glan och stora delar av Motala ström är klassade som dricksvattenförekomster. Strömbrytarna ligger också inom en grundvattenförekomst med uttagsmöjligheter i jordlager och berg. Som tidigare angetts är ett övergripande åtgärds mål att spridning av föroreningar inte ska medföra en oacceptabel påverkan på skyddsvärt grundvatten och ytvattenrecipienter (Motala Ström). Föreslagna mätbara åtgärds mål innefattar skydd av omgivande grundvatten enligt scenario framtida MKM i WSP:s riskbedömning (WSP, 2020a). Utförd riskbedömning visar att grundvattnet som naturresurs (skyddsvärt grundvatten i jordakvifer) inte är oacceptabelt påverkat av förorening i nuläget, men att det inte går att utesluta en framtida påverkan om ingen åtgärd utförs.

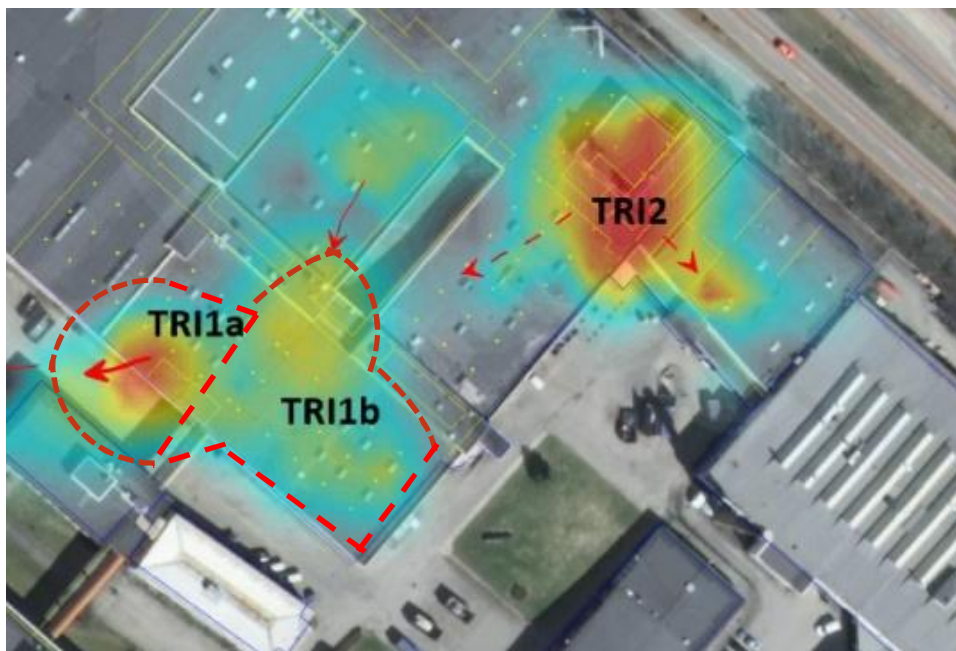
Tidigare har det runnit en bäck/dike inom Strömbrytarna. WSP har bedömt att grundvattenflödet inom jordakvifern främst går mot den f.d. bäcken/diket. Ramboll instämmer med WSP:s bedömning, främst med tanke på de topografiska

skillnaderna. Bäckens avleds till Motala Ström. Grundvattnets flödesriktningar och den f.d. bäcken åskådliggörs i figur 8.



Figur 8. Topografisk karta (1941) och grundvattenflödesriktningar (blå pilar). Den f.d. bäcken åskådliggörs med blå linje. Strömbrytarna åskådliggörs med röd linje. Bildkälla: WSP 2020a.

Trots att spridningen från källområdena bedöms vara begränsad, anses viss spridning ändå kunna ske och då främst i sydlig/sydvästlig riktning, se figur 9 (se även avsnitt 3.2). I figuren har TRI1 delats in i två områden a och b, där den västra delen (Tri1a) uppskattas till ca 800 m² och den östra delen (Tri1b) till ca 700 m² enligt en grov skattning av Ramboll utifrån information i WSP:s underlag. Denna uppdelning av TRI1 i två områden användes av WSP i huvudstudien (WSP, 2020b) men inte i senare riskbedömningsrapport (WSP, 2020a).



Figur 9. Uppskattad föroreningsituation och bedömda spridningsriktningar inom källområden. Röd streckad linje är en ungefärlig skattning av det förorenade området under grundvattenytan inom TRI1 (a och b) samt TRI2 (jordakvifer, mättad zon). Bild: modifierad bild där original hämtats från WSP 2020a.

3.2

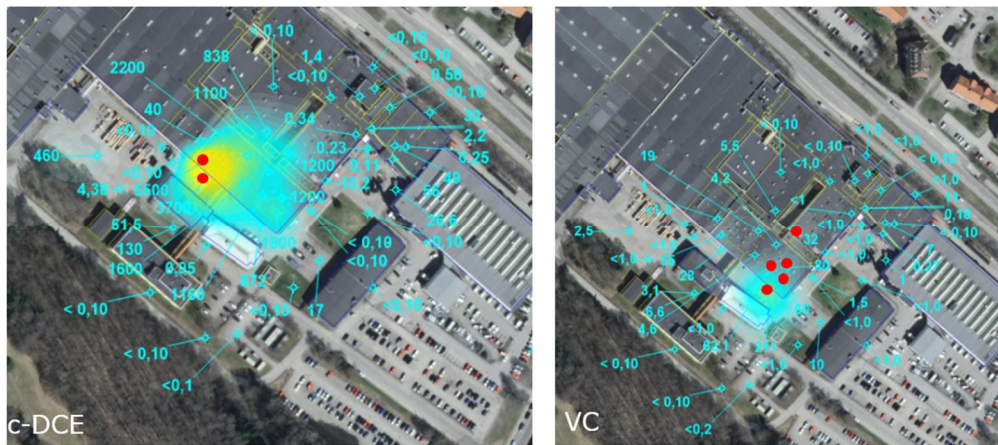
Mark och grundvattenförorening

Åtgärdsbehov har konstaterats föreligga inom två områden av objektet – TRI1 och TRI2. I tidigare rapporter anges dessa områden som källområden. I TRI1 påvisas ingen eller mycket begränsad förorening i omättade jordlager och i framtagna rapporter anses anledningen till detta vara att föroreningen inom TRI1 redan lakat ur från jord till grundvatten (WSP, 2020a). En annan möjlighet som Ramboll inte utesluter är att den förorening som påvisats i grundvattnet inom både TRI1 och TRI2 härrör från TRI2. Huvudsakligt bedömd spridningsriktning från TRI2 är mot TRI1, se figur 9. Föroreningen i omättad zon inom TRI2 pekats i riskbedömningen ut som den största risken för påverkan på människa (ånginträngning) och miljö (skydd av grundvatten som naturresurs) i ett framtida möjligt scenario där föroreningen är mer mobil jämfört mot idag.

PCE och TCE har påvisats i förhöjda halter i omättad zon inom TRI2. Följande är värt att påpeka utifrån resultat från miljötekniska undersökningar (WSP, 2020a; WSP, 2020b):

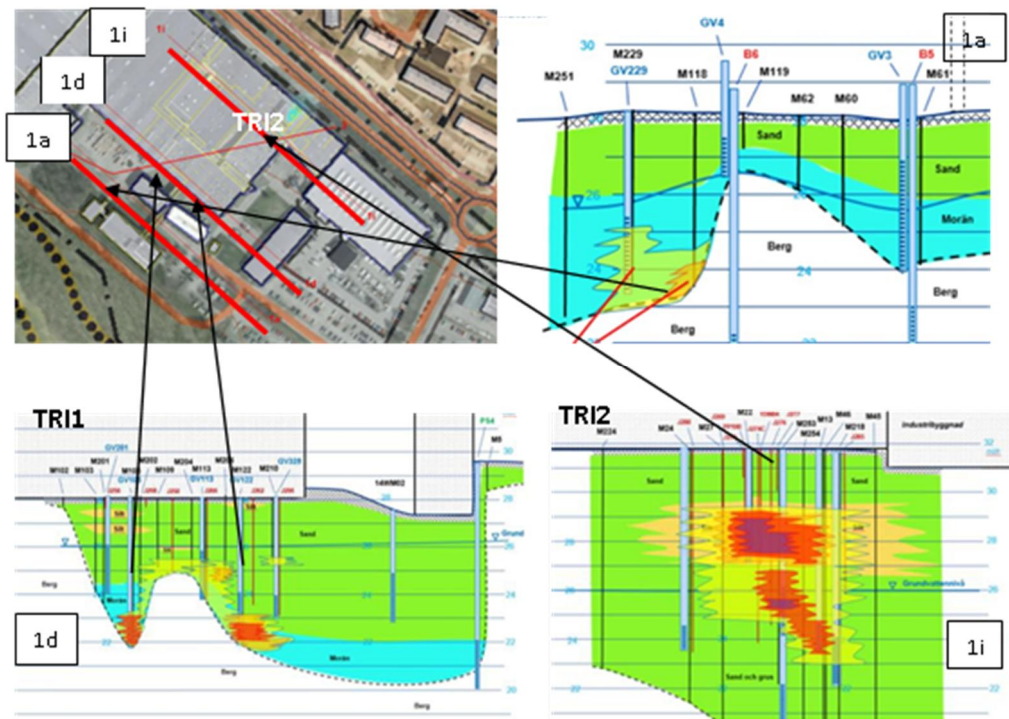
- Uppskattningsvis finns det ca 750 kg klorerade lösningsmedel i marken, varav mer än 90 % vid TRI2 och då framförallt i omättad zon.
- Huvuddelen av föroreningen inom TRI2 ligger i ett siltigt jordlager som påvisas ca 2 m u my.
- Det förorenade området har bedömts vara i storleksordning 1000 m² och 4 000 m³.

av den mättade zonen). Dock påvisas relativt likvärda haltnivåer i både ytligt och djupt grundvatten inom TRI2.



Figur 11. Uppmätta maxhalter av c-DCE och VC i $\mu\text{g/l}$ mellan 2014 och 2020; där lokaler med halter över föreslagna åtgärdsgränser är markerat med röd cirkel. Föreslaget åtgärdsgränsvärde för c-DCE och VC är 3000 respektive 30 $\mu\text{g/l}$. Något modifierade figurer, där ursprunglig bildkälla är: WSP 2020a.

Föreningssituationen i jord och grundvatten illustreras i figur 12 nedan.



Figur 12. Illustration av föroreningsituationen inom de förorenade områdena TRI1 och TRI2. Bildkälla: WSP2020a/WSP2020b.

3.3 Övriga föroreningar

Utöver klorerade lösningsmedel i TRI1 och TRI2 inom Strömbrytaren 11, har en översiktlig markundersökning genomförts av Strömbrytaren 10, 11, 12 och Omformaren 7.

Av de analyserade föroreningarna var det enbart kobolt som påträffats i halter över Naturvårdsverkets generella värde för MKM. Kobolt påträffades i halter över MKM i fyra punkter på Omformare 7 (72 – 170 mg/kg ts) och i en punkt på Strömbrytare 12 (60 mg/kg ts). Det generella riktvärdet för MKM är styrande av skydd av markmiljö och är 35 mg/kg ts. Enligt figur 3 och figur 4 är Omformaren 7 belägen utanför det område som planeras utvecklas för bostadsändamål.

Med bibehållen markanvändning bedömde WSP att inget åtgärdsbehov föreligger och att marken är lämplig för pågående industriell markanvändning. Ramboll har inte noterat att kobolt skulle använts inom verksamheten, och om så är fallet, bedömer Ramboll det för sannolikt att kobolt härrör från fyllnadsmassor snarare än verksamheten.

3.4 Summering av riskbedömningsresultat

Viktiga resultat och slutsatser från utförd riskbedömning (WSP, 2020a) summeras nedan.

De mänskliga skyddsobjekt som utvärderats i riskbedömningen är människor som arbetar inom området samt besökande och kringboende (inklusive barn). Skyddsobjekt i omgivningen som utvärderats innefattar skyddsvärt grundvatten nedströms verksamhetsområdet (ska kunna användas som dricksvatten), ytvattenrecipienten Motala ström, markekosystemet på platsen samt människor som utför temporära mindre markarbeten. I riskbedömningen framgår att inga miljö- och hälsorisker sannolikt föreligger vid nuvarande markanvändning och utifrån de platsspecifika förutsättningar som råder idag.

I riskbedömningen utvärderas också risker för människa och miljö utifrån ett framtida scenario (framtida generell MKM) där befintliga byggnader rivs och ersätts med mindre byggnader. I detta scenario poängteras följande (WSP, 2020a):

- Föroreningen i omättad zon vid TRI2 utgör en potentiell miljö- och hälsorisk. Påverkan på grundvattnet som naturresurs går inte att utesluta om spridningsförutsättningarna förändras (ökad infiltration genom det förorenade området). En potentiell hälsorisk föreligger i huvudsak via ånginträngning i mindre byggnader som uppförs i området.
- Eventuellt utgör föroreningen i mättad zon/grundvatten inom TRI1 och TRI2 en miljö- och hälsorisk. Miljörisken grundas på ett scenario med betydligt större grundvattenflöden än vad som uppmätts och där ingen hänsyn tas till pågående naturlig nedbrytning och på så vis är bedömningen konservativ (WSP, 2020a). Ramboll noterar att tillförsel av förorening genom t.ex. diffusion från sekundära källor i berg ej

inkluderats, då föroreningen i berg ej var känd när riskbedömningen skrevs.

- En potentiell hälsorisk relaterat till ånginträngning i byggnader via grundvatten utesluts inte, men sannolikheten för en sådan risksituation bedöms liten eftersom utförda modelleringar baseras på föroreningshalter i djupare grundvatten (där föroreningshalter är höga) medan föroreningshalter i ytligt grundvatten är styrande vad avser risker med ånginträngning (WSP, 2020a).

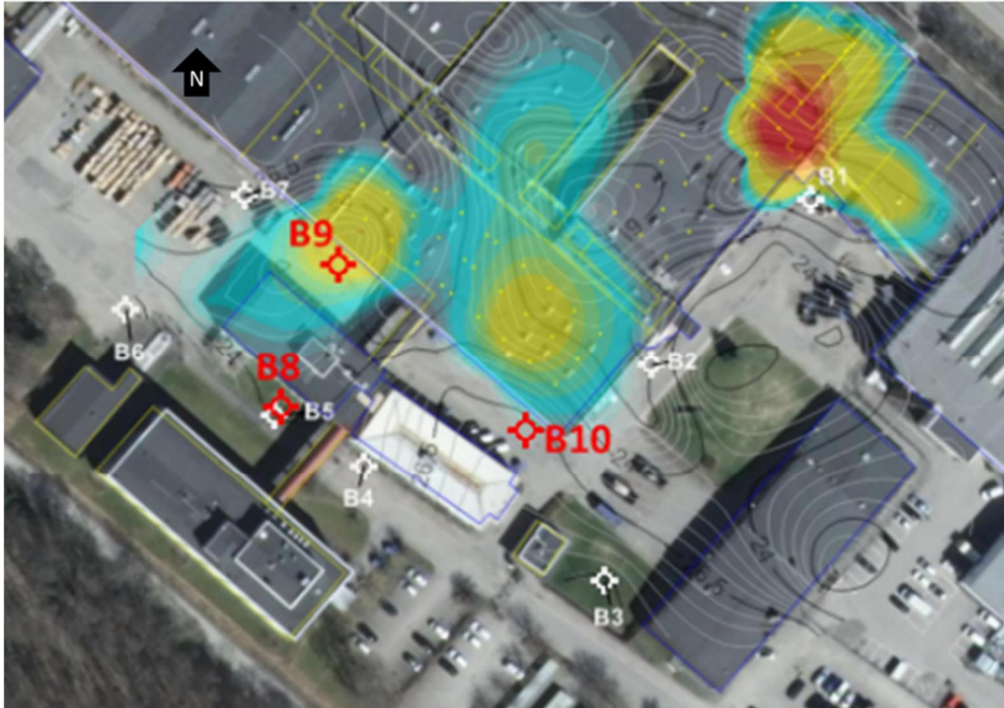
I riskbedömningen dras slutsatsen att de övergripande åtgärdsmålen (se avsnitt 1.3) är uppfyllda vid nuvarande markanvändning, men att det i ett framtida scenario inte går att utesluta risker för människa och miljö. Denna åtgärdsutredning fokuserar därmed på att nå åtgärds mål som ska förhindra en eventuellt framtida risk för människa och miljö vid fortsatt industriell markanvändning inom fastigheten.

3.5 Summering av undersökning i berg

Under arbetet med åtgärdsutredningen har Ramboll fått ta del av ett rapportutkast som visar på förorening i berg (WSP, 2021-06-01). WSP har i rapportutkastet gjort bedömningen att det krävs ytterligare utredningar för att bedöma föroreningens utbredning och huruvida de utgör en risk. En mycket kort summering, utifrån rapportutkastet, ges i detta avsnitt.

Berggrundsundersökningens syfte var att klargöra om förekomst av klorerade kolväten i berg är av stor vikt, dvs om förorening i berg förekommer över stora arealer och i höga koncentrationer samt om föroreningen transporteras från objektet och därmed kan utgöra en risk för människa och miljö. Det förorenade området bedöms inte vara avgränsat av WSP.

Resultaten visar på ett möjligt källområde av PCE vid en punkt som benämns B10-2020. Denna punkt ligger inom den sydöstra delen av TRI1. Höga VOC-halter har uppmätts med fältinstrument (PID). Möjligen sker en föroreningstransport i berg i östvästlig riktning mot punkter som benämns B5 samt B8-2020 (som ligger i sydvästra delen av TRI1). I rapporten utesluts inte att föroreningsspridning även kan ske i andra riktningar. Nämda borrhållningars placering redovisas i figur 13.



Figur 13. Lokalisering av undersökningspunkter för berg. Ett möjligt källområde av PCE har identifierats i B10. Spridning sker möjligen via sprickzoner i berg i öst-västlig riktning mot B8 och B5. Eventuell spridning i andra riktningar går inte att utesluta källa: (WSP, 2021-06-01).

4. Antaganden i åtgärdsutredning

Utifrån historik, tidigare undersökningar, riskbedömningen samt den konceptuella modellen har Ramboll gjort följande antaganden som åtgärdsutredningen baseras på:

- Utgångspunkten är att områdets markanvändning är industriell och att åtgärd vidtas för att undvika en eventuell framtida risk för människors hälsa och miljön. Dock planerar nuvarande fastighetsägare att omvandla området till bostäder. Whirlpools ambition är att, om möjligt, föreslå åtgärder som inte försvårar möjligheten att genomföra åtgärder med högre ambitionsnivå i framtiden, vid exempelvis ändrad användning av fastigheten till en känsligare, så som bostadsändamål.
- Denna åtgärdsutredning är framtagen för de identifierade förorenade områdena TRI1 (ca 1 500 m²) och TRI2 (ca 1 000 m²) som identifierats i WSP:s huvudstudie (WSP, 2020b). Ramboll har inte noterat någon information som ger skäl att avvika från dessa bedömda arealer.
- Föroreningsutbredning och föroreningsmängder i omättad zon och mättad zon (ovan berg) är enligt den uppskattning som presenterats i tidigare utförda undersökningar (såtillvida inget annat anges).

- Denna åtgärdsutredning fokuserar på omättad zon ovan grundvattenyta (TRI2) och mättad zon i jordakvifer ovan berg (TRI1 och TRI2). WSP har utfört en berggrundsundersökning, där resultaten är så pass nya att de ännu inte hunnit beaktats mer än översiktligt i denna åtgärdsutredning. Ramboll har fått ett utkast av WSP:s rapport som beskriver berggrundsundersökningen (WSP, 2021-06-01). Resultaten visar på att förorening finns, och det går därmed inte att utesluta att åtgärdsbehov föreligger även i berg.
- Byggnaden ovan de förorenade områdena TRI1 och TRI2 kommer rivas av fastighetsägaren (utifrån planerna för området).
- Enligt information som Ramboll fått via Whirlpool så avses nybyggnation att påbörjas ca 1 år efter att byggnaden som ligger på TRI1 och TRI2 rivits.

5. Möjliga åtgärdstekniker

5.1 Screening av åtgärdstekniker

I detta avsnitt presenteras en teknik-screening som underlag till ett första urval av metoder som kommer beskrivas närmare senare i rapporten.

Flera in-situ metoder bygger på att tillsatser av olika substrat som dessutom kan cirkuleras genom den förorenade matrisen för att öka sannolikheten mellan substrat och enskilda klorerade ämnen. Ett antal identifierade åtgärdsalternativ redovisas i tabell 3 nedan, tillsammans med en kort kommentar om dess lämplighet för vidare utredning. Ett mindre antal åtgärdsalternativ diskuteras sedan i mer detalj i avsnitt 5.1. En eller ett fåtal av dessa metoder kan sedan utredas närmre i åtgärdsförberedande undersökningar i samband med att en åtgärdsplan tas fram. Det kan inkludera t.ex. bänkskaleförsök och pilotförsök eller insamling av andra parametrar för analys som är av vikt för åtgärden. Dessa typer av studier utförs för att säkerställa önskad effekt och för att förbättra slutligt val av åtgärdsstrategi.

Tabell 3. Screening av potentiellt möjliga åtgärdsmetoder inom objektet. Grönmarkerade åtgärdsmetoder utvärderas närmare i nästkommande avsnitt av rapporten.

	Åtgärdsmetod	Utförande	Kort utvärdering
1.	1. Schaktning (konventionell med grävmaskin)	Jord avlägsnas fysiskt. Transport av massor till extern anläggning. Spontning kan komma att krävas.	Metodik lämplig för åtgärd av omättad zon i TRI2. Kan utvärderas närmare för detta område.
2.	In situ Termisk behandling alternativ 1 - "ISTD-Thermal desorption", ERH (electrical resistance heating – elektrisk resistivitetsuppvärmning)	Jord och grundvatten värms upp till gas-fas med elektroder. Behandling av avgående ångor sker ovan mark. Ofta tillförs vatten för att bibehålla markens elektriska ledningsförmåga.	Fungerar ofta bra vid tätare finkornigare jordar. Dessa förutsättningar råder inte inom objektet (varken inom TRI1 eller TRI2). Kombinerar med porgasextraktion för omhändertagande av avdrivna ämnen.
3.	In situ Termisk behandling alternativ 2 – "SEE" (Steam Enhanced Extraction - ånguppvärmning)	Vattenånga injiceras i den förorenade jordmatrisen. Syftet är att lösa ut och förånga föroreningarna för att därefter samla upp dem i extraktionsbrunnar för porgasextraktion.	Kan vara lämplig inom källområden med höga halter i genomsläppliga jordar. Ofta förknippad med en lång behandlingsperiod och viktigt med säkerhetsåtgärder (för att undvika skada på människa och djur till följd av värme). Behöver liksom andra termiska metoder kombineras med porgasextraktion för omhändertagande av avdrivna klorerade föreningar.
4.	In situ Termisk behandling alternativ 3 - "TCH" (Thermal Conducive Heating – termisk konduktiv uppvärmning)	Värmeenergi tillförs via värmeelement som installeras i behandlingsområdet.	Metoden kan till skillnad från övrigt nämnda termiska metoder fungera både vid förorening i jord (med måttlig till hög genomsläpplighet) och berg. Sannolikt kortare behandlingstid jämfört med SEE. Kombinerar med porgasextraktion för omhändertagande av avdrivna ämnen.
4.	Flerfasextraktion	Metoden omfattar porgasextraktion och extraktion av förorening i vätskefas (samt fri fas vid förekomst).	Metoden är främst lämplig för behandling av kolväteföreningar i zonen strax ovanför grundvattenytan (men kan kombineras med andra tekniker). Föreningar kan åtkomliggöras genom grundvattensänkning. Förutsätter homogena och luftgenomsläppliga jordar (dessa förutsättningar råder inom objektet).

	Åtgärdsmetod	Utförande	Kort utvärdering
5.	Porgasextraktion/Vakuumextraktion (SVE)	Metoden används för behandling av jord ovan grundvattenytan (och ofta på platser där schaktning är svårt att tillämpa). Porgas extraheras i omättad zon via extraktionsbrunnar. Metoden kan kombineras med andra tekniker för sanering under grundvattenyta.	En förutsättning för att metoden ska fungera är att jorden är relativt genomsläpplig. Metoden används ofta vid behandling av källområden (likt TR12).
6.	Airsparging	Luft injekteras via rör med perforering under grundvattenytan. Den injekterade luften strömmar radiellt ut från injekteringsnivån. Flyktiga föreningar som avgår i gasfas till omättad zon och kan samlas upp genom exempelvis porgasextraktion (SVE).	Förutsätter genomsläppliga jordar, vilket finns i stora delar av objektet. Kombinerar ofta med andra metoder så som vakuumextraktion.
7.	Anaerob reduktiv deklorering (stimulerad biologisk nedbrytning)	En anaerob grundvattenmiljö skapas genom att en kolkälla tillsätts i marken i syfte att gynna reduktiv deklorering (nedbrytning av klorerade lösningsmedel).	Förutsätter relativt homogena jordar och kännedom/studier på förutsättningarna för nedbrytning i området.
8.	Kemisk oxidation (ISCO)	Injektering av exempelvis Kaliumpermanganat. Ämnet sprids i marken genom rundpumpning eller med hjälp av naturlig gradient.	Förutsätter homogena jordarter som finns i stora delar av objektet.

	Åtgärdsmetod	Utförande	Kort utvärdering
9.	Övervakad naturlig nedbrytning (MNA)	Metoden förutsätter gynnsamma förhållanden för naturlig nedbrytning, vilket övervakas med kontrollprogram.	Naturlig nedbrytning pågår i viss utsträckning inom objektet, men akviferen är samtidigt kraftigt syresatt vilket inte gynnar nedbrytning av klorerade kolväten.
10.	Pumpning och behandling (Pump & Treat)	Pumpning och behandling av grundvatten. Metoden innefattar uttagsbrunnar eller dräneringsledningar med lämplig placering och utformning samt en behandlingsutrustning.	Metodiken är vanligtvis effektiv för att förhindra spridning, men det kan vara svårt att nå massreduktion utan långa tidsrymder; framförallt i akviferer med hög genomsläpplighet (som inom objektet).
11.	Jordstabilisering (soil mixing)	En "mixer-stav" blandar järnpartiklar i jorden, som bryter ner föroeningen till mindre och ofarliga delar. Omblandningen försvagar jordens bärkraft, därav tillsätts stabiliserande medel, exempelvis cement.	Svår att tillämpa om föroening ligger på lite större djup., men kan med fördel kombineras med schaktning.
12.	Förstärkt reduktiv deklorering (ERD; enhanced reductive dechlorination)	Åtgärd som förstärker/stimulerar det naturliga mikrobiella nedbrytningsförloppet av en föroening. För de allra flesta klorerade lösningsmedel stimuleras de mikroorganismer som använder reduktiv deklorering som nedbrytningsmetod.	Naturlig nedbrytning pågår i mer eller mindre omfattning inom objektet och kan sannolikt påskyndas/förstärkas.

5.2

Åtgärdsalternativ som utvärderas närmare

De åtgärdsalternativ som utvärderas närmare, efterföljt den "screening" som redovisats i föregående avsnitt, summeras i Tabell 4 nedan. I tabellen har respektive åtgärdsalternativ delats in utifrån den del- eller de delar av markprofilen där metoden anses mest applicerbar (en övre och en nedre del av den omättade zonen samt inom mättad zon av jordakviferen). Som nämnts tidigare diskuteras endast en eventuell åtgärd i berg översiktligt (se avsnitt 6 av denna rapport) och redovisas ej under kapitel 5.

Endast ett alternativ, termisk sanering, bedöms kunna åtgärda föroreningen på samtliga nivåer av markmatrisen. Den slutligt rekommenderade åtgärden kan dock komma att omfatta en kombination av åtgärdstekniker. Varje åtgärdsmetod som nämns i tabellen nedan utvärderas i avsnitt 5.

Tabell 4 Tabell över åtgärdstekniker som utvärderas närmare.

Matris	Möjlig åtgärdsmetod
Övre omättad zon jord, 0-4m (TRI2)	Termisk
	Schaktning
	SVE
Nedre omättad zon jord, 4-6m (TRI1)	Soil mixing
	Termisk
	Schaktning
	SVE
Mättad zon (TRI1+TRI2)	Termisk
	ISCO
	ERD

6. Detaljerad beskrivning av möjliga åtgärdsalternativ

I detta kapitel beskrivs de möjliga åtgärder som presenterats i tabell 4 och som bedömts mest lämpliga efter den initiala screeningen (tabell 3). Varje åtgärdsalternativ börjar med en teknisk beskrivning, följt av för- och nackdelar och avslutas med en generell bedömning utifrån utvärderingskriterierna som beskrivs i avsnitt 6.1.

6.1 Utvärderingskriterier

Åtgärdsalternativen utvärderas utifrån ett antal kriterier som bedöms särskilt viktiga att beakta, främst:

1. Möjlighet att nå önskvärd riskreduktion (övergripande åtgärds mål och föreslagna åtgärds mål enligt avsnitt 1.3). Finns behov för åtgärdsförberedande undersökningar, pilotförsök för att säkerställa önskad effekt. Motsvarar punkt 5.7 i föreläggandet.
2. Tidsaspekt för att nå åtgärds mål. Tidsaspekten bedöms vara en viktig faktor i projektet. Whirlpool önskar avsluta sina åtaganden inom rimlig tidsram då de lagt ner verksamheten in Sverige. Vidare finns framtida planer för objektet (se avsnitt 2.2). Eventuella uppföljningsbehov och kontrollåtgärder i efterhand påpekas för respektive metod och är viktiga att beakta avseende tidsaspekter.
3. Åtgärds kostnad. Kostnader har översiktligt uppskattats för respektive åtgärdsalternativ. Kostnaderna är översiktligt framtagna för att jämföra alternativ sinsemellan och representerar inte budgetestimat för att utföra åtgärden. Motsvarar punkt 5.2 i föreläggandet.
4. Praktisk tillämpbarhet Finns begränsningar avseende åtkomst/markanvändning inom området vid tillämpning av metoden, krävs uppföljande kontroller avseende metodikens funktion under genomförandetiden, vilka kontrollåtgärder krävs, finns det aspekter med metoderna som skulle kunna försvåra eventuellt kompletterande saneringsåtgärd med högre ambitionsnivå (exempelvis om bostäder ska byggas på platsen). Motsvarar punkt 6 i föreläggandet. Om åtgärden kan verka försvårande för en eventuell åtgärd i berg så påpekas detta.
5. Långtidsverkan och beständighet (dvs metodikens möjlighet att nå riskreduktion permanent med liten risk för återkontaminering/rebound-effekter).
6. Arbetsmiljö; vilket kan omfatta risker avseende hantering av kemikalier, teknisk utrustning mm.
7. Miljöpåverkan (och hållbarhet); exempelvis buller, avgaser, damning, utsläpp till luft och vatten och koldioxidutsläpp mm.

Utvärderingen har även kvantifierats i avsnitt 6.9 där bedömningen av respektive utvärderingskriterium har omvandlats till ett värde mellan 1 och 5 för varje åtgärdsalternativ. En vikt har även angetts för varje utvärderingskriterium och på så vis har en kvantitativ värdering resulterat i en rekommenderad åtgärd.

Vid beskrivning av respektive åtgärdsalternativ har ett flertal källor till information använts; förutom Ramboll:s erfarenhet via internt nätverk så har även rapporter från bl.a. Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2009; Naturvårdsverket, 2016; Naturvårdsverket, 2007) och information som finns tillgänglig i referenssidor så som åtgärdsportalen (SGF, 2021) och Enviro WIKI (Enviro Wiki, 2021) eller i annan åtgärds-specifik referenslitteratur använts.

6.2 Osäkerheter

Denna åtgärdsutredning är framtagen utifrån miljötekniska undersökningar som utförts i omättad zon och mättad zon ovan berg. En nyligen utförd undersökning har dock konstaterat förorening även i berg (WSP, 2021-06-01) vilket kom Ramboll till känna när en åtgärdsstrategi redan var framtagen och denna åtgärdsutredning till stor del var färdigställd. Sannolikt föreligger fortsatt undersökningsbehov och karakterisering av förorenings-situationen i berg innan åtgärdsbehov kan bedömas och en eventuell åtgärdsstrategi kan presenteras för berg. Åtgärdsstrategier kan komma att behöva förbättras alternativt revideras i senare skede när förorenings-situationen och relaterade risker är bättre klarlagda.

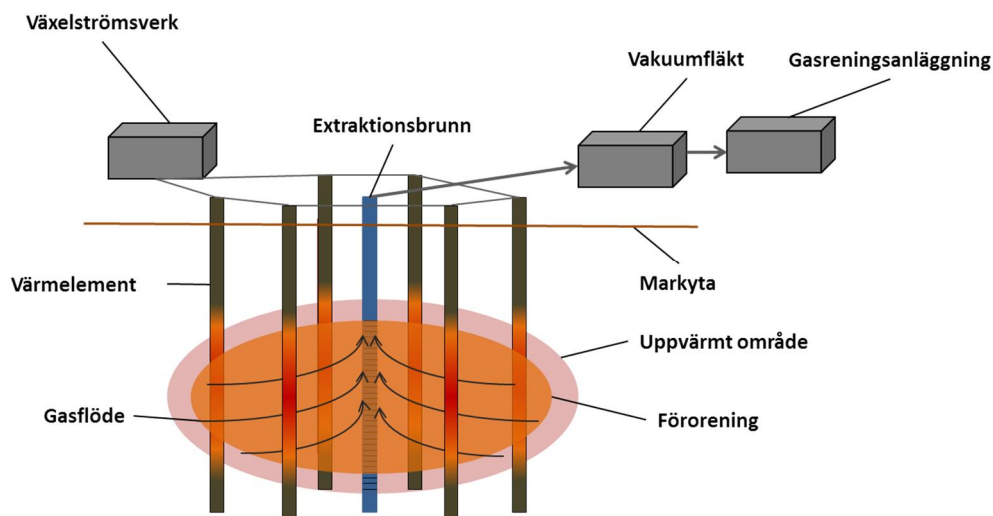
Den omättade zonen i TRI2, huvudsakligt källområde, kommer saneras enligt lämplig metodik (vilket utvärderas i denna rapport) och påverkas inte lika mycket av berggrundsresultaten som en åtgärd av grundvattnet i jordakvifären (en ågärd i jordakvifären kan påverka en åtgärd i bergakvifären och tvärtom). Att avlägsna källan kan permanent minska eller eliminera spridning till grundvatten och porluft samt minska sannolikheten för direktexponering av förorening. Föroreningskällan kan avlägsnas fysiskt genom urschaktning av jord eller genom s k in-situ metoder som omvandlar eller bryter ner de klorerade lösningsmedlen på plats. Åtgärd av förorening i grundvatten vid TRI1 och TR2 kan dock komma att behöva justeras något när föroreningen i berg är ytterligare utredd.

6.3 Termisk sanering, TCH

Vid termisk behandling används värme för att mobilisera, lösa upp, ta bort och/eller bryta ner organiska föroreningar i mättad och omättad zon. Termisk sanering genom termisk konduktiv uppvärmning (TCH) kan även tillämpas för att åtgärda fri fas (DNAPL) i bergsprickor. Behandlingskostnaderna för termisk sanering är att betrakta som höga relativt övriga åtgärds-tekniker som berörs i detta dokument, vilket gör att metoden ofta används vid specifika omständigheter, exempelvis för att behandla källområden alternativt områden förknippade med en specifik riskbild där behov för relativt snabb massreduktion är viktigt. Metoden kan också vara aktuell vid eventuella hinder/svåråtkomlig förorening som medför att andra åtgärds-metoder inte är tillämpbara (i dessa fall kan även metoden då vara kostnadseffektiv). Metoden tillämpas oftast i källzoner (med stark förorening och/eller begränsad utbredning). Om behandling även innefattar plymområden kombineras den ofta med andra åtgärds-metoder (som t.ex. övervakad naturlig nedbrytning, stimulerad biologisk nedbrytning eller kemisk oxidation/reduktion).

Termisk sanering, oavsett metod, fordrar att de gaser som drivs av med hjälp av uppvärmning samlas upp och tas omhand. Vid termisk sanering med TCH tillförs värmeenergi via värmelement som installeras i behandlingsområdet.

Utrustning som används vid elektrisk konduktiv uppvärmning är: växelströmsverk, värmelement, vakuumpump/fläkt för porgasextraktion, extraktionsbrunnar och reningsutrustning för omhändertagande av avdrivna kolväten, t.ex. kolfilter eller katalytisk förbränningsanläggning, se figur 14.



Figur 14. Principskiss ECH källa: (SGF, 2021).

För att projektera en efterbehandling med hjälp av den här tekniken krävs platsspecifik kännedom vilket innefattar kunskap om jordartsförhållanden, hydrogeologi inklusive inflödet av grundvatten som måste värmas upp för att hålla processen igång, föroreningens utbredning i yt- och djupled (inklusive i berg om behandling även ska ske där), förekomst av eventuella ledningar eller markförlagda installationer som kan påverkas av åtgärden eller försvåra åtgärdens genomförande. Det finns mycket information om objektet, men ytterligare studier är aktuellt i samband med detaljprojektering om denna åtgärds metod framlyfts som huvudsakligt åtgärdsalternativ.

Fördelar

- Föroreningsmängder kan reduceras med relativt kort behandlingstid.
- Ofta nås god massreduktion
- Metodiken bedöms lämplig utifrån jordlagrens permeabilitet inom objektet.
- Metodiken kan tillämpas både i mättad och omättad zon samt för att reducera föroreningsnivåer i berg.
- Metodiken kan tillämpas för åtgärd av fri fas i sprickigt berg.

- Är en relativt beprövad metodik med dokumenterad effekt (även i Sverige). Klorerade lösningsmedel är den vanligast föreningen som termisk behandling används för.
- Metoden kan kombineras med andra metodiker, exempelvis schaktning för omhändertagande av lättåtkomlig förorening.
- Ramboll Sverige har erfarenhet av metoden.

Nackdelar

- Kraftiga grundvattenflöden kan ha en avkylande verkan och därför försvåra behandling.
- Föroreningen förstörs ej in situ, utan separeras och förstörs off-site.
- Metoden är kostsam och bör sättas i relation till riskbilden (dock kan den ofta tillämpas för åtgärd av svåråtkomlig förorening och därmed vara kostnadseffektiv under särskilda omständigheter).
- Kan medföra risk för sättningar.
- Kan innebära risk för olyckor på grund av höga marktemperaturer. Saneringsområden bör inhägnas/bevakas och vara oåtkomliga för människor och djur. Området kan behöva vara inhägnat även en tid efter behandling på grund av höga marktemperaturer.
- Ofullständig avdrivning av klorerade lösningsmedel kan leda till ansamling under intilliggande byggnader och husgrunder (skyddsvärda byggnader som avses kvarstå inom objektet även i framtida planer beskrivs under avsnitt 2.2.). Spontning kan innebära skydd som motverkar avdrivning av förorening i gasfas.

6.3.1 Utvärderingskriterier

Nedan redogörs för hur åtgärden förhåller sig till de utvärderingskriterier som listades i avsnitt 6.1.

1. Möjlighet att nå önskvärd riskreduktion: Metoden bedöms kunna uppnå åtgärds målen, men anses på grund av den energiåtgång och kostnadsbild som krävs, mest tillämpar inom källområden med hög riskbild. Metodiken har fördelen att den kan tillämpas för att åtgärda jord och grundvatten samt eventuell fri fas i berg (som dock behöver vara kartlagd i detalj för att kunna rikta åtgärden – kunskapsluckor föreligger idag).
2. Tidsaspekt: En fördel med termisk sanering är att behandlingstiden är relativt snabb (ofta kan en sanering avslutas inom ett års tid), dock krävs en del förberedande arbete för projektering och installation av systemen. Därutöver behöver föroreningen vara väl avgränsad innan en saneringsinsats sätts in (gäller även berggrund) för att undvika återkontaminering. Efterföljt avslutad sanering tar det tid innan värmen i jorden gått ned (mätning av jordtemperaturer bedöms krävas cirka ett halvår efter avslutad sanering). Därutöver krävs jord- och grundvattenprovtagning efterföljt saneringsåtgärd för att utesluta "rebound"/återkontamineringseffekter; sannolikt under minst 1–3 års tid. På grund av höga marktemperaturer kommer sannolikt en del av grundvattenrören inom objektet inte kunna kontrolleras under åtgärdens

genomförande. Tidsåtgången från åtgärdsförberedelser till slutkontroll uppskattas från 5 till 7 år. En detaljerad tidsuppskattning ges nedan:

- Åtgärdsförberedelser inkl. kompletterande undersökningar (inklusive av föroreningsituation i berg): 3 år.
- Aktiv sanering: 1 år (kan gå snabbare vid optimal funktion).
- Uppföljande kontroller: 1-3 år.

Kan gå fortare om åtgärdsbehov av berg ej föreligger.

3. Åtgärds kostnad: Metoden är kostsam och energikrävande. De ekonomiska riskerna bedöms stora då det finns risk för energiförluster, framförallt utanför tydliga källområden där det kan vara svårt att rikta åtgärden mot föroreningen energieffektivt. Kraftiga grundvattenflöden har avkylande effekt, vilket minskar metodikens effektivitet/funktion om temperatur för förångning inte uppnås. Det kan delvis gå att hantera med tekniska lösningar (vertikala barriärer) som dock medför extra kostnader. Utöver energiförbrukning så kräver metoden höga etablerings och installationskostnader samt kostnader för kontroll och övervakning både under och efter sanering. För att till fullo kunna utvärdera metodikens lämplighet krävs god förståelse av föroreningsituationen (även i berg) samt platspecifikt besök och estimat från entreprenör. I detta stadie av projektet görs en mer övergripande kostnadsbedömning där kostnader uppskattas från ca 60 till 80 Mkr om termisk sanering tillämpas inom hela objektet. En detaljerad redogörelse för kostnader ges nedan:
 - Åtgärdsförberedelser i form av kompletterande undersökningar (krävs för bergförorening för att överväga och bedöma om metoden är intressant) samt projektering och upphandling av entreprenader: 3–10 Mkr.
 - Termisk in-situ sanering av både TRI1 och TRI2, för kostnadsberäkningen har en volym om 20 000 m³ antagits, där åtgärds kostnad bedöms uppgå till ca 2 600 – 3 150 kr/m³ utifrån fallstudier inom Färgaren 3 i Kristianstad, Järnsågen 3 i Trollhättan och Kvarnholmen i Stockholm (Hultenberg, 2020): 52-63M kr. Saneringen som utfördes inom Järnsågen 3 i Trollhättan omfattade även berggrundsvatten.
 - Miljökontroll, projekt/saneringsledning, byggledning och uppföljning: 3-5M kr.
4. Praktisk tillämpbarhet: Området som saneras behöver kunna hägnas in och kontrolleras en tid efter åtgärdens genomförande, vilket medför att området inte kan användas till någon form av annan verksamhet (inklusive byggstart) under genomförandetiden samt till dess marktemperaturer återgått till normala. Metodiken bedöms kostnadsineffektiv totalt sett, särskilt om större volymer med lättare förorening som behöver åtgärdas till striktare åtgärds mål (som tillåter att området används till bostäder). Avdrivning av ångor måste samlas upp effektivt för att undvika ansamling utanför området, exempelvis under skyddsvärda byggnader. För vissa termiska metoder kan uppvärmningen leda till att ledningar under mark som är av metall värms upp. Sådana

eventuella risker behöver hanteras och kontrolleras i samråd med saneringsentreprenör i samband med projektering. Inga begränsningar, termisk åtgärd kan genomföras i berg.

5. Långtidsverkan och beständighet: Möjligheterna att nå en permanent riskreduktion bedöms goda under förutsättning att tillräckligt gott förarbete/projektering utförs.
6. Arbetsmiljö: Kontrollåtgärder krävs för att förhindra obehöriga tillträde till området (bedöms vara största risken). Därutöver krävs införande av strikta arbetsmiljöplaner för arbetande inom området.
7. Miljöpåverkan/hållbarhet: Den termiska behandlingens miljöpåverkan beror på energikonsumtionen i förhållande till effektiviteten av åtgärden. Saneringsmetoden kräver mycket energi. Energikonsumtionen förväntas ligga kring 240-300 kWh/m³ Utifrån erfarenheter från tidigare nämnda projekt Färgaren 3 i Kristianstad och Järnsågen 3 i Trollhättan. Vidare krävs lämpliga kontroller för att säkerställa att avdrivna ångor omhändertags korrekt via installerat porgasextraktionssystem (så att avdrivna ångor ej ansamlas på andra ställen, exempelvis under närliggande byggnader).

6.4 Schaktning

Urschaktning av förorenad jord är ett åtgärdsalternativ för den omrättade zonen inom TRI2.

Metoden innebär att jord som är förorenad i halter över åtgärdsgränser grävs bort för omhändertagande på extern mottagningsanläggning. Urschaktade områden ersätts med tillförda dokumenterat rena eller jungfruliga massor. Vid tillämpning ovan grundvattenytan, bedöms metoden enkel och rättfram (vid antagandet att byggnaden som idag står ovan föroreningen är riven och inga andra fysiska hinder finns på platsen). Föroreningen inom TRI 2 finns huvudsakligen mellan 2-4 m u my, men viss schaktning på djupare nivåer kommer att krävas för att få bort all förorening som påvisats i halter över åtgärdsgränserna.

Metoden anses överlag enkel, snabb, säker och kostnadseffektiv, dock kan spontning komma att krävas då schaktning skulle vara aktuell på djupare nivåer (ned till ca 6 m u my). Spontning kan bli nödvändigt särskilt vid den byggnad som ska behållas. Det finns mångårig erfarenhet av schaktsanering i Sverige och flera liknande objekt har sanerats med schaktning utan större problem. Flera mottagningsanläggningar finns dessutom i nära anslutning till objektet, vilket medför kort avstånd avseende transporter av förorenade jordmassor. I samband med schaktning utförs kontrollprovtagning i schaktväggar och schaktbotten, vilket kan uppmärksamma eventuellt bristfälliga avgränsningar av föroreningens utbredning som då enkelt kan åtgärdas. Vid tillämpning av metoden går det genom kontrollprovtagning att enkelt få analysresultat i relation till olika typer av åtgärdsgränser, vilket därmed inte försvårar möjligheten att genomföra åtgärden till en högre ambitionsnivå (vid exempelvis ändrad användning av fastigheten till en känsligare så som bostadsändamål). Då åtgärden kräver en del transporter och

åtkomst för stora maskiner så behöver det säkerställas att det finns god infrastruktur och väl fungerande transportleder in- och ut från verksamhetsområdet. Avstämning och planering kan komma att krävas i samråd med omgivande verksamheter för att undvika onödiga störningar i åtgärdsskedet.

Fördelar

- Välbeprövad metod
- Enkel, snabb och överlag säker
- Kostnadseffektiv i omättad zon och främst inom övre 3-4 m u my.
- Möjliggör miljökontroll under arbetets gång för att kontrollera föroreningsnivåer mot åtgärds mål.
- Metodiken går enkelt att kombinera med andra åtgärds metoder (exempelvis en in-situ åtgärd i mättad zon).
- Ramboll Sverige har erfarenhet av metoden.

Nackdelar

- Djupa schakt kan kräva stabiliserande åtgärder (exempelvis spontning), vilket medför kostnader.
- Föroeningen förstörs ej utan grävs ut och deponeras på annat håll.
- Åtgärden innebär transporter av förorenade massor och ersättningsmassor (med relaterad miljöpåverkan, exempelvis utsläpp till luft, behov för jungfruligt material mm). En möjlighet som inte helt utesluts i detta skede är behandling av de urschaktade massorna (som exempelvis kan läggas i limpor på plats) genom porgasextraktion (för att sänka halter i massor innan externt omhändertagande på mottagningsanläggning alternativt inför återanvändning på plats). Detta bedöms kunna vara ett relevant och kostnadseffektivt komplement till urschaktning vid eventuell hantering av relativt stora mängder massor med höga halter. Behandlingskostnaden uppskattas till ca 100-150 kr/ton, men är beroende av föroreningsgraden. Porgasextraktion som metod beskrivs under avsnitt 6.6.
- Uppgrävt naturligt material innehåller ofta organiskt material som skapar en gynnsam miljö för markmiljön. Denna ersätts ofta med sprängsten eller annat geotekniskt lämpligt material som medför ogynnsamma förhållanden för markmiljön.
- Arbetena medför buller, avgaser, damning som behöver planeras och kontrolleras.

6.4.1 Utvärderingskriterier

Nedan redogörs för hur åtgärden förhåller sig till de utvärderingskriterier som listades i avsnitt 6.1.

1. Möjlighet att nå önskvärd riskreduktion: Möjligheten att permanent avlägsna föroreningskällan i omättad zon i TRI2 och därigenom minska framtida risker med spridning till grundvatten och porluft eller minska sannolikheten för direktexponering av förorening bedöms mycket goda. Metoden behöver kombineras med annan åtgärd för behandling av mättad zon inom objektet.

2. Tidsaspekt: Åtgärden av omättad zon i TRI2 bedöms kunna utföras inom 1–2 månaders tid. Inför åtgärd krävs projektering och planering. Miljökontroll för att bekräfta uppfyllelse av åtgärds mål görs som del av åtgärden.
3. Åtgärds kostnad: Den totala åtgärds kostnaden för Whirlpool bedöms ligga mellan 5,5 och 10,5 Mkr (baserat på ca 3–4 000 m³ massor). De slutliga kostnaderna kommer bero på behov för spontning, föroreningsgrad och faktisk tidsåtgång att utföra åtgärden. Kostnaderna baseras på priser erhållna från närliggande mottagningsanläggning som har tillstånd att ta emot massorna. Metodiken kommer behöva kombineras med en åtgärd för mättad zon vilket innebär ytterligare kostnader.
4. Praktisk tillämpbarhet: Under förutsättning att byggnaden som ligger ovan de förorenade områdena rivs bedöms metodiken lämplig och praktiskt genomförbar utan nämnvärda svårigheter. Visst behov av stabiliserande åtgärder kan komma att krävas (spontning). Metodiken bedöms kostnadseffektiv och försvårar inte möjligheten att genomföra åtgärder med högre ambitionsnivå i samband med åtgärd eller i framtiden (vid exempelvis ändrad användning av fastigheten till en känsligare så som bostadsändamål). Mindre begränsningar, planering av schakt och eventuella kompletterande borrhål i berg behöver koordineras.
5. Långtidsverkan och beständighet: Möjligheterna att nå en permanent riskreduktion i omättad zon inom TRI2 bedöms mycket goda.
6. Arbetsmiljö: Vid god planering bedöms arbetsmiljörisker kunna hanteras väl.
7. Miljöpåverkan/hållbarhet: Metoden är förenad med lokal miljöpåverkan under genomförandefasen med buller, avgaser (även klimatpåverkan), damning och utsläpp till luft som behöver kontrolleras. Det finns även risk för spill från maskiner, som kräver beredskap. Urschaktade massor behöver ersättas med nya verifierade rena alternativt jungfruliga massor, vilket anses mindre hållbart jämfört mot rening som utförs tillfyllest in situ. En nackdel är att föroreningen inte förstörs, utan flyttas till en annan geografisk plats (deponi), även om den är bättre lämpad genom skyddsåtgärder och kontrollprogram.

6.5 ISCO/soil mixing

In Situ Chemical Oxidation, eller ISCO, genom soil mixing (inblandning i jordmassor) finns som ett komplement till schaktning vid större djup för att undvika spontning. Ett oxidationsmedel (se vidare information om ISCO generellt under avsnitt 6.7) blandas. Utrustningen som används är densamma som för att göra kalk-cementpelare (KC-pelare), men istället för en kalkcementblandning används t.ex. cement och oxidationsmedel. För persulfat kan cementen även fungera som en aktivator. Cementen används även för att stabilisera marken eftersom den annars lätt kan förlora stabilitet.

Beroende på mängden cement som tillsätts kan marken stabiliseras i olika utsträckning. En låg dos cement kan möjliggöra kompletterande injektering,

medan en hög dos cement kan möjliggöra både inneslutning samt stabilisera marken inför konstruktion. Efter genomförd åtgärd kan det vara svårt att fortsätta åtgärd till ett striktare åtgärds mål (t.ex. för bostadsändamål) samt att metoden kan påverka grundläggningsförutsättningar. Metoden bedöms således enbart vara aktuell om den genomförs med den känsligaste markanvändningen som åtgärds mål.

Fördelar

- Goda förutsättningar för att skapa bra kontakt mellan oxidationsmedel och förorening.
- Ytan och volymen massor som Whirlpool ska åtgärda är begränsad. Metoden är en möjlig lösning för Whirlpools del i och med att metoden kan ersätta behov för spontning.
- Medför både destruktion och inneslutning av eventuell restförorening.
- Ramboll Sverige har erfarenhet av metoden.

Nackdelar

- Kräver noggrann avgränsning och dosering, eftersom möjlighet till upprepade behandling kan vara begränsad beroende på mängd cement som tillsätts.
- Svårare att hantera förorening, särskilt ovan grundvattenytan, som inte nått åtgärds målet efter behandling.
- För lite cement kan medföra geotekniska stabilitetsproblem vid nybyggnation.
- För mycket cement, och skillnader i markens hårdfasthet, kan medföra att olika grundläggningsförutsättningar behövs vid nybyggnation.
- Kan medföra hög kostnad per mängd förorening för massor med föroreningshalter under MKM men över KM.

6.5.1 Utvärderingskriterier

Nedan redogörs för hur åtgärden förhåller sig till de utvärderingskriterier som listades i avsnitt 6.1.

1. Möjlighet att nå önskvärd riskreduktion: Soil mixing medför generellt en god möjlighet att nå önskvärd riskreduktion vid god kontakt mellan förorening och oxidationsmedel. Metoden kan medföra svårigheter att uppnå åtgärds mål om restförorening kvarstår efter åtgärd när cementen härdat. Dock är riskbilden avsevärt annorlunda efter åtgärd, eftersom föroreningen i något mått är innesluten.
2. Tidsaspekt: Soil mixing skulle kunna utföras efter det att huset är rivet. Bekräftande provtagning kan genomföras 2 till 6 månader efter soil mixing.
3. Åtgärds kostnad: För att nå åtgärds mål för industriell markanvändning uppskattas kostnaden uppgå till ca 1,5 Mkr för soil mixing, därutöver tillkommer oxidationsmedel.
4. Praktisk tillämpbarhet: Förutsatt att den ytliga föroreningen är bortschaktad samt att schaktet är återfyllt med för soil mixing lämpligt

material (dvs ej för stor sten) är det en förhållandevis rättfram metod vad gäller genomförbarhet.

5. Långtidsverkan och beständighet: Eftersom metoden är en kombination av destruktion och inneslutning är risken för återkontaminering efter åtgärd mycket liten.
6. Arbetsmiljö: Arbetet innebär stora maskiner och grova slangar med oxidationsmedel. Arbetsmiljörisker föreligger och behöver hanteras.
7. Miljöpåverkan/hållbarhet: Eftersom föroreningen destrueras och innesluts är risken för miljöpåverkan genom spridning låg. I övrigt gäller den miljöpåverkan som kommer vid arbete med stora maskiner (miljö- och hållbarhetsaspekter bör beaktas). Ett spill som medför en belastning på dagvattennätet skulle kunna påverka nätets infrastruktur, och innebära recipientpåverkan med kraftigt oxiderande förhållanden samt, om permanganat används, lila missfärgningar.

6.6 SVE

Porgasextraktion tillämpas för behandling av jord ovanför grundvattenytan. Metoden tillämpas ofta inom områden där konventionell urschaktning är svår att tillämpa, till exempel där det förorenade området har bebyggelse och/eller där någon form av verksamhet pågår. En fördel med metoden, jämfört med konventionell schaktsanering, är att jordmassor renas på plats in situ. Detta minskar behov för ersättningsmassor utifrån miljöaspekt. Metoden fungerar endast bra vid genomsläppliga jordar (sand, grus), vilket överlag förekommer inom objektet.

Åtgärdsmetoden innebär att porgas extraheras från omättad zon via en eller flera extraktionsbrunnar som är sammanbundna med vakuumpumpar placerade ovanför markytan. Principen är att luft och föroreningar i gasfas sugas ut ur marken med ett mer eller mindre kraftigt vakuum. Vid porgasextraktionen skapas ett undertryck i den omättade zonen, vilket i sin tur leder till ett passivt inflöde av atmosfärsluft. Inflödet av atmosfärsluft leder till ökad luftomsättning och syresättning som medför ökad transport av flyktiga föreningar via extraktionsbrunnarna. Den extraherade porgasen behandlas på plats, ofta med hjälp av filtrering via aktiverat kol.

Metoden används för behandling av omättad zon och kombineras ofta med andra åtgärdsmetoder för hantering av den mättade zonen (exempelvis termisk behandling eller air sparging).

Fördelar

- Metoden kan tillämpas inom områden som är svåråtkomliga med konventionella tekniker så som urschaktning.
- Jord saneras på plats (in situ) vilket minskar behov för ersättningsmassor och relaterade transporter vid jämförelse mot konventionell schaktsanering.
- Metoden kan kombineras med andra metoder för åtgärd av mättad zon.

- Jordförhållandena inom objektet är överlag permeabla och bedöms goda för att metoden ska fungera bra.
- Ramboll Sverige har erfarenhet av metoden.

Nackdelar

- Extraktionsbrunnarna kommer vara som mest effektiva inledningsvis och därefter avtar effektiviteten med tiden. Av erfarenhet från andra projekt, kan detta medföra att "gamla brunnar" har behövt ersättas med "nya" innan åtgärds mål uppnåtts. Det beror på att permeabla gångar/"preferential pathways" bildas i samband med extraktionen vilket minskar effektiviteten inom influensradien. Detta är en aspekt att beakta i projekteringsstadiet för att säkerställa att extraktionsbrunnarnas placering blir optimal i relation till föroreningen samt om systemet bör dimensioneras med några "extra" extraktionsbrunnar för att påskynda åtgärden.
- På grund av risk för att mer permeabla gångar bildas vid åtgärd så finns en risk att fickor uppstår som inte kommer åtgärdas (dvs viss restförorening kan sannolikt förekomma även efter åtgärd).
- Pilotförsök kan underlätta dimensioneringen av åtgärden. Detta tas upp som en nackdel för detta objekt, då det medför att mer tid krävs innan åtgärden kan utföras.
- Behandlingstiden är något oförutsägbar då modifikationer av systemet sannolikt kommer krävas för att nå åtgärds mål under större delen av området under behandlingstiden. Pilottest och detaljerad projektering (vilket kräver tid) kan motverka detta.
- Risk för ineffektivt åtgärdsförfarande om striktare krav avses uppnås i senare skede och ytterligare sanering kan komma att krävas, tex. schaktsanering.

6.6.1 Utvärderingskriterier

Nedan redogörs för hur åtgärden förhåller sig till de utvärderingskriterier som listades i avsnitt 6.1.

1. Möjlighet att nå önskvärd riskreduktion: Möjligheten att nå åtgärds mål i omrädd zon bedöms goda, dock finns risk för fickor med restförorening och äldre extraktionsbrunnar kan komma att behöva ersättas efter en tid för att nå önskad riskreduktion över hela området.
2. Tidsaspekt: Åtgärdstiden är mer osäker att förutspå jämfört med konventionell schaktning, men bedöms till 2–3 år. Inför åtgärd krävs projektering och planering och pilotförsök bör övervägas. Miljökontroll för att bekräfta uppfyllelse av åtgärds mål görs genom jordprovtagning innan saneringsåtgärd bedöms färdig.
3. Åtgärds kostnad: Åtgärds kostnaden, inklusive förberedande arbete och projektering bedöms till 5-6Mkr baserat på Rambolls interna erfarenhet från liknande uppdrag.

4. Praktisk tillämpbarhet: Åtgärden bedöms kunna utföras inom TRI2 utan nämnvärda praktiska svårigheter. Det finns en risk att ytterligare sanering kan komma att krävas i efterhand, om strängare åtgärds mål behöver uppnås inom området vid bostadsbyggnation alternativt om restförening kvarstår inom vissa mindre områden efterföljt åtgärd. Jordprovtagning är nödvändigt för att verifiera att åtgärds mål uppnåtts. Därutöver behövs regelbundna kontroller av systemet under tiden för åtgärden i syfte att verifiera önskad funktion och effektivitet vad avser omhändertagna mängder av flyktiga föreningar inom området. Risker relaterade till återkontaminering i omättad zon efter åtgärd bedöms överlag låga. Dock är saneringstiden osäker då effektiviteten av åtgärden påverkas av flera faktorer (platsspecifika förutsättningar och systemets funktion). Medför inga begränsningar av åtgärd i berg.
5. Arbetsmiljö: Vid god planering bedöms arbetsmiljörisker kunna hanteras väl med skyddsutrustning och med åtgärder för att minska buller till omgivningen.
6. Miljöpåverkan/hållbarhet: Porgasextraktion är en in-situ metod och medför således inte deponering av massor eller omfattande transporter. Dock anses metoden ineffektiv om ytterligare sanering ändå krävs i efterhand p.g.a. att striktare åtgärds mål behöver uppnås, exempelvis av fastighetsägare inför byggnation av bostäder. Åtgärds metoden bedöms inte innebära någon ökad risk för förorenings spridning.

6.7

ISCO

ISCO, eller In Situ Chemical Oxidation, är en metod som utgår från att tillsätta ett oxidationsmedel som oxiderar föroeningen genom elektronöverföring eller med fria radikaler. En kort beskrivning av de vanligaste oxidationsmedlen som används ges nedan:

- **Permanganat**: Permanganat är det svagaste oxidationsmedlet (av de som jämförs i detta dokument) men har längst hållbarhet i mark (månader till år) och har därmed en långtidsverkan. Permanganaten oxiderar genom direkt elektronöverföring. När permanganaten reducerats bildas manganoxider vilket kan täppa igen porer, injekteringsrör eller bergsprickor och försämra genomsläppligheten i markmatrisen.
- **Persulfat**: Persulfat har en kortare hållbarhet i mark (veckor till månader). Persulfat oxiderar både genom elektronöverföring och fria radikaler. Exoterma reaktioner kan skapas i mark genom att fria radikaler reagerar med t.ex. naturliga mineral, organiskt material eller aldehyder, samt om begränsat med vatten finns i akviferen som kylmedel.
- **Ozon**: Ozon tillsätts som gas och förutsätter att ett injekteringssystem installeras med behållare ovan mark och rörledningar ner i mark. Ozon är lämpligt för kemisk oxidering ovan grundvattenytan och oxiderar både genom direkt elektronöverföring och fria radikaler. Ozon är väldigt instabilt och behöver produceras på plats.

- Modifierad Fentons reaktion/väteperoxid: Kraftigt oxidationsmedel med kort hållbarhet i mark (timmar till dagar). En fördel är att det kan mobilisera bunden förorening, till skillnad från t.ex. permanganat som i huvudsak behandlar löst förorening. Arbetsmiljörisker föreligger vid arbete med väteperoxid i flytande form eftersom ämnet är explosivt, brandfarligt samt korrosivt. Väteperoxid skall hanteras med stor varsamhet. På grund av dess korta livslängd används en katalysator, t.ex. järn, för att propagera reaktionen med fria radikaler (Fentons reaktion). Exoterma reaktioner liknande de som beskrivs för persulfat kan uppstå.

För att ISCO effektivt ska reducera föroreningshalter krävs att oxidationsmaterialet kommer i kontakt med föroreningen. Därför är ofta metoden för hur materialet förs ner i mark viktigt att utvärdera utifrån platsspecifika förutsättningar. Exempel på tillsättningsmetoder inkluderar:

- ISCO-ISS/soil mixing: Kan användas för förorening ovan grundvattenytan, men är en kostsam metod. Metoden är lämplig om en stor mängd oxidationsmedel är nödvändig till ett begränsat område, så som ett källområde. Se vidare metodbeskrivning under kapitel 6.5.
- Direct push-injektering med borrhög: Lämpligt om injektering planeras vid ett tillfälle eller för kompletterande injekteringar mellan befintliga injekteringsrör. Injektering kan även genomföras på skrå, vinklat in under t.ex. en byggnad. Återinjektering i samma/nära tidigare injekteringspunkter eller grundvattenrör medför en risk för s.k. *daylighting*, dvs att injekterat material kommer upp genom en *preferential pathway* till ytan, t.ex. tidigare borrhål och grundvatten- eller injekteringsrör.
- Injektering genom installerade brunnar: Metodiken innefattar pumpning av oxidationsmedlet ned i marken genom fasta, dedikerade injekteringsrör. Metoden är lämplig vid återkommande injekteringar i särskilda i områden som kräver hög dosering och kräver inte borrhög vid injekteringen efter att rören är satta. Injekteringsrörets filter kan dock sättas igen om t.ex. permanganat används.
- Recirkulering: Ökad kontakt mellan oxidationsmedel och förorening kan erhållas genom att grundvattnet, efter injektering, pumpas upp genom ett antal extraktionsrör, och recirkuleras ned i ett eller flera uppströms belägna rör.

Eftersom metoden är lämplig vid förorening i huvudsak under grundvattenytan och upprepade injekteringar förutses, bedöms injekteringen huvudsakligen ske via förinstallerade rör, eventuellt i kombination med recirkulering av vattnet. Kompletterande injektering med direktinjektering kan även genomföras mellan injekteringsrör om behov finns.

Vad gäller oxidationsmedel kan permanganat eller persulfat vara lämpliga oxidationsmedel, men det finns även möjlighet att kombinera oxidationsmedel.

Om åtgärdsbehov av berg föreligger kan det medföra att motstridiga redoxförhållanden behöver uppnås för grundvatten i berg resp. i jord. Detta kan lösas med en barriär förutsatt att lämpligt material till barriären kan identifieras. Materialet bör vara tyngre än vatten och ha tillräckligt hög viskositet för att inte flyta ner i berggrundssänkan innan åtgärd är klar. Viskositeten behöver samtidigt vara tillräckligt låg för att kunna distribueras i mark.

Fördelar

- Generellt en snabb och effektiv metod, förutsatt kontakt mellan oxidationsmedlet och föroreningen och tillräcklig dosering.
- Åtgärd kan initieras innan byggnad är riven (t.ex. genom vinklad injektering).
- Väl dokumenterad effekt internationellt, men även med ökande grad i Sverige.
- Lätt att justera dosering eftersom kontinuerlig övervakning av grundvattnet genomförs.
- Kan kombineras med recirkulering.
- Ramboll Sverige har erfarenhet av metoden.

Nackdelar:

- Okända faktorer kan påverka doseringen i fält, t.ex. kan andra oxiderbara substanser förbruka en större del av oxidationsmedlet än vad som beräknats.
- Om god kontakt inte kan erhållas och upprepade återinjekteringar krävs, kan åtgärden ta längre tid än planerat.
- Eventuell okänd, eller obehandlad sekundär källa (t.ex. berg), kan orsaka återkontaminering av grundvattnet.
- Det kan vara svårt att skapa och behålla oxiderande och reducerande förhållanden inom samma objekt, t.ex. om reduktiv deklorering skulle vara en lämplig metod för eventuell åtgärd av berg (se vidare under kapitel 7). En möjlig lösning kan vara att grundvattnet i berg och jord avskiljs för att reducera påverkan mellan de två lagren.
- Om halter av krom finns i grundvattnet eller jordmatrisen finns det en risk att krom(III) kan oxideras till krom(VI).
- Behandlar i huvudsak löst fas, men tensider kan tillsättas som ökar lösligheten på föroreningen och ökar möjligheten till kontakt mellan oxidationsmedel och förorening.

6.7.1 Utvärderingskriterier

Nedan redogörs för hur åtgärden förhåller sig till de utvärderingskriterier som listades i avsnitt 6.1.

1. Möjlighet att nå önskvärd riskreduktion: Förutsatt att kontakt kan erhållas är ISCO en väl beprövad metod för kraftig reduktion av föroreningshalter. Fördelen med injektering jämfört med t.ex. soil mixing är att det är enklare att utföra upprepade injekteringar, samt innebär lägre kostnad vid större djup.

2. Tidsaspekt: Goda möjligheter till massreduktion och nå åtgärds mål, inom det 12-24 månaders fönstret som definierats finns. Om vinklade injekteringar används kan massreducerande åtgärder initieras innan byggnaden rivs.
3. Åtgärds kostnad: Kostnaden uppskattas till ca 9-12 Mkr baserat på att område på 2 500 m² ska behandlas, 84 ton permanganat fördelat över 100 injekteringspunkter under två till tre injekteringsrundor. Utöver arbetet med injektering och material tillkommer ca 1-2 Mkr för kontrollprogram.
4. Praktisk tillämpbarhet: Förutsätter att byggnaden rivs för fullskalig injektering eftersom det annars kan vara svårt att få till en bra distribution av oxidationsmedlet. ISCO som åtgärd av förorenat grundvatten i jord kan försvåra en reduktiv metod i berg. ISCO i berg bedöms inte som lämpligt eftersom det finns risk för återdiffusion från bergmatrisen samt att oxidationsmedlet kan medföra utfällningar som kan täppa till sprickor. ISCO kan användas som åtgärd för grundvatten i jord om de två akvifererna kan separeras med en barriär.
5. Långtidsverkan och beständighet: Om det finns en okänd källa för återdiffusion och som inte hanteras, kan återkontaminering av akviferen ske.
6. Arbetsmiljö: Allt arbete med oxidationsmedel medför en viss arbetsmiljörisk, särskilt vid långvarig/uppprepade hudkontakt. Skadorna som kan uppstå varierar mellan olika oxidationsmedel. Med rätt skyddsutrustning och arbetsmetod kan dock riskerna vara hanterbara.
7. Miljöpåverkan/hållbarhet: Begränsad produktion av nedbrytningsprodukter, begränsad miljöpåverkan.

6.8 ERD, injektering

Enhanced reductive dechlorination (ERD), eller förstärkt reduktiv deklorering, är en metod som förbättrar förhållandena för att stimulera naturlig nedbrytning av förorening. Effekten kan även kombineras med *In situ chemical reduction* (ISCR), en abiotisk reduktiv nedbrytning, eller recirkulering för ökad effekt. För en lyckad biologisk sanering av CAH förutsätts att reducerande förhållanden kan skapas och upprätthållas, samt att rätt mikroorganismer finns närvarande som är kapabla till att bryta ner CAH fullständigt till eten.

Anaerob miljö: Enligt mätningar i tidigare undersökningar är grundvattnet inom fastigheten syrerikt med halter löst syre uppmätta till 5 -20 mg/l.

eRdoxpotentialen (ORP) ligger i huvudsak mellan +100mV till + 200 mV. I enstaka rör är ORP kring 0 mV. Lämpliga förhållanden för reduktiv deklorering uppstår vid ca -200 till -400 mV. Alltför reducerande förhållanden kan gynna metanogena bakterier som konkurrerar ut dehalogenerande bakterier och istället producerar metan från tillsatt substrat. Vidare är substrat som t.ex. laktat tyngre än vatten, vilket kan bidra till att det efter injektering sprider sig samma väg som föroreningen. Eftersom grundvattnet inom området är så pass syresatt kan det

finnas viss svårighet att vända akviferen till reducerande förhållanden, samt att bibehålla dessa förhållanden över tid.

Vattengenomströmning: Den hydrauliska konduktiviteten är $10^{-5} - 10^{-7}$ m/s vilket innebär en måttlig flödes hastighet på grundvattnet. Eftersom den huvudsakliga föroreningen är lokaliserad i en depression i berget finns det en möjlighet att utblandningen av inströmmande, syresatt, grundvatten är begränsad. Detta kan öka möjligheten att upprätthålla en anaerob (syrefattig) miljö.

Nedbrytningsförutsättningar: För att reduktiv deklorering ska ske behöver pH vara mellan 6 och 8, bakterier som kan bryta ner PCE hela vägen till eten, samt övriga näringsämnen så som kalium, kväve och fosfor måste finnas närvarande i grundvattnet i tillräcklig mängd. Det har i dagsläget inte analyserats för om de funktionella generna som finns hos mikroorganismerna (*t.ex. Dehalococcoides spp.*) som kan bryta ner PCE hela vägen till eten finns närvarande. Dessa bakterier påträffas ofta i akviferer med klorerade kolväten, men kan vara inaktiva till dess förhållandena blir reducerande. Eftersom grundvattnet i jord är syresatt kommer detektionen av dessa bakterier därmed sannolikt vara låg. Istället kan det vara lämpligt att augmentera (tillsätta) med bakterier vid ERD. Näringsämnen har inte heller analyserats, däremot påvisar uppmätt pH att förhållandena stadigt håller sig inom det spann där dessa typer av mikroorganismer trivs.

Abiotiskt komplement (ISCR): För att påskynda den reduktiva nedbrytningen genom att lägga till abiotisk nedbrytning kan även nollvärt järn (zero valent iron; ZVI) tillsättas. ZVI kan antingen vara i mikrometerskala (mZVI) eller nanoneterskala (nZVI). mZVI är generellt billigare men det kan också vara svårare att få en jämn distribution i matrisen samt att nå ut till planerad influensradie. Det är generellt lättare att få jämnare distribution med nZVI men kostnaden för materialet är högre. Om tillsats av nollvärt järn avsevärt kan förkorta efterbehandlingstiden kan det tala för ERD som lämplig metod. Detta utreds lämpligen genom ett bänkskaleförsök.

Recirkulering: Större utblandning av vattnet genom t.ex, recirkulering kan erhållas genom att grundvattnet, efter injektering, pumpas upp genom ett antal extraktionsrör och recirkuleras ned i ett eller flera uppströms belägna rör. Recirkulering medför att det reducerande substratet får en jämnare fördelning i grundvattnet och det blir därmed lättare att vända akviferen från oxiderande till reducerande förhållanden samt att bibehålla dessa. Däremot introducerar recirkulering en risk att syre tillsätts till vattnet. Denna risk kan dock hanteras genom planering.

Ramboll bedömer generellt att reduktiv deklorering är en framkomlig väg för åtgärd, särskilt om åtgärdsbehov föreligger för grundvatten i berg. Tidsaspekten är dock en viktig aspekt att beakta för att åtgärden ska kunna avslutas inför

byggstart. Åtgärdstid kan påskyndas genom recirkulering, samt eventuellt genom att tillsätta ZVI (om ett bänkskaleförsök visar på ökad nedbrytning vid tillsats).

Positiva aspekter

- Något billigare metod än ISCO eftersom injekterat material är billigare och volymerna som ska injekteras ofta mindre.
- Väl dokumenterad och beprövad metod.
- Åtgärd kan initieras innan byggnad är riven (t.ex. genom vinklad injektering).
- Lätt att justera dosering eftersom kontinuerlig övervakning av grundvattnet genomförs.
- Kan kombineras med recirkulering förutsatt att systemet är lufttätt och inte syresätter vattnet.
- Effekten från det injekterade materialet sprider sig bättre i akviferen och kan även hantera diffusion från sekundära källor i mark och/eller berg på längre sikt förutsatt att inte näringsämnes- eller substratbrist råder.
- Kan göras mer aggressiv genom att tillsätta ZVI.
- Ramboll Sverige har erfarenhet av metoden.

Negativa aspekter

- Kan vara svårt att vända en aerob miljö till reducerande förhållanden, och upprätthålla denna. Detta kan medföra att åtgärden tar längre tid. Det dock kompenseras för i viss utsträckning genom mindre avstånd mellan injekteringspunkter och fler injekteringstillfällen när utgångsförhållandena är aeroba.
- Om allt för reducerande förhållanden skapas kan metanogena bakterier konkurrera ut deklorerande bakterier och metangas kan skapas. Detta kan dock övervakas genom att inkludera metan i grundvattenövervakningsprogrammet.
- Det kan vara svårt att skapa och behålla oxiderande och reducerande förhållanden inom samma objekt, t.ex. om reduktiv deklorering skulle vara en lämplig metod för eventuell åtgärd av berg (se vidare under kapitel 7). En möjlig lösning kan vara om grundvattnet i berg och jord kan avskiljas på något sätt för att reducera påverkan mellan de två lagren.
- Tidsramen kan vara något längre än för t.ex. ISCO.
- Svårare än ISCO att kombinera med recirkulering av grundvattnet eftersom det riskerar att syresätta vattnet varför de önskvärda reducerande förhållandena motarbetas. Ett syrefritt recirkuleringsystem kan konstrueras men är mer kostsamt.

6.8.1 Utvärderingskriterier

Nedan redogörs för hur åtgärden förhåller sig till de utvärderingskriterier som listades i avsnitt 6.1.

1. Möjlighet att nå önskvärd riskreduktion: Reduktiv deklorering är, givet att tid och gynnsamma förhållanden finns och kan upprätthållas, en väl

beprövad metod för att reducera halter, även om DNAPL finns närvarande. Svårigheten med aktuellt objekt är att bibehålla reducerande förhållanden över tid.

2. Tidsaspekt: En biologisk metod tar generellt längre tid än t.ex. ISCO eller termisk sanering. Inom aktuellt objekt föreligger det även en eventuell svårighet i att både vända akviferen från oxiderad till reducerad samt att hålla den reducerad, vilket kan förlänga åtgärdstiden.
3. Åtgärds kostnad: Åtgärden uppskattas till ca 7-9 Mkr inklusive vissa åtgärdsförberedande undersökningar samt 1-2Mkr för kontrollprogram. Kostnaden beror i stort på hur många injekteringar som behövs för att uppnå och bibehålla reducerande förhållanden samt om ZVI eventuellt tillsätts och vattnet recirkuleras. ZVI är ej inkluderat i priset ovan, men cirkapris varierar mellan \$60-\$120/kg, och storleksordningen på mängd nZVI som kan behövas bedöms till ett antal hundra kg. En NAVFAC rapport redovisar kostnader för nZVI till \$30 000 till \$40 000 i ett projekt.
4. Praktisk tillämpbarhet: Metoden innebär injektering av substrat och övervakning av halter genom ett kontrollprogram. Injektering görs enklast när byggnaden är riven, men kan även påbörjas innan genom att injektera inomhus alternativt använda vinklad injektering genom rör eller direktinjektering. Medför inga begränsningar av åtgärd i berg.
5. Långtidsverkan och beständighet: Om reducerande förhållanden kan upprätthållas finns det mycket goda förhållanden för att hantera föroreningen långsiktigt.
6. Arbetsmiljö: Huvudsaklig risk består av arbete med tunga maskiner. Injekterade substrat är ofta *food grade*, dvs att materialet kan användas för konsumtion av människor alternativt komma i kontakt med mat som ska konsumeras av människor.
7. Miljöpåverkan/hållbarhet: Om ofullständig nedbrytning sker, t.ex. för att rätt bakterier saknas, finns en risk att föroreningen omvandlas till den mer lösliga och spridningsbenägna vinylkloriden. Vidare kan de förändrade redoxförhållandena leda till ej planerad mobilisering av andra ämnen, t.ex. arsenik.

6.9

Utvärdering

Ett semikvantitativt poängsättningsystem har utarbetats i syfte att översiktligt jämföra de olika åtgärdsalternativen som presenteras i avsnitt 1.1 mot bedömningskriterierna i avsnitt 6.1.

Vartdera bedömningskriteriet har tilldelats en viktningfaktor (X1 till X3) för att reflektera dess relativa värde i den övergripande besluts/urvalsprocessen. För detta projekt bedöms exempelvis tidsaspekten vara av stor vikt. Andra viktiga aspekter är att inte försvåra åtgärd till känsligare markanvändning så som bostadsändamål och kostnadseffektivitet, dvs sannolikheten att nå åtgärds mål i relation till kostnad.

Vartdera åtgärdsalternativ eller kombination av åtgärdsalternativ har jämförts mot varandra utifrån de 7 bedömningskriterierna och tilldelats poäng enligt följande skala:

- Mycket dåligt: 1
- Ganska dåligt: 2
- Medelmåttligt: 3
- Bra: 4
- Mycket bra: 5

Poänggivningssystemet är tänkt som ett verktyg i beslutsprocessen, snarare än ett slutligt ställningstagande. Förändringar i den relativa viktningen kommer påverka resultaten och kan bli aktuellt vid ändrade förutsättningar som i dagsläget inte är kända. Revisioner i åtgärdsutredningen går inte att utesluta av denna anledning.

De poäng som tilldelats vartdera bedömningskriterium har multiplicerats med bedömningskriteriets viktade värde. Det samlade resultaten för vartdera åtgärdsalternativ har därefter summerats, ju högre summa desto lämpligare metod. Resultaten är detaljerade i bilaga 1. I nedan tabell 5 presenteras en summering av resultaten. Utifrån tabellen framgår att en kombination av schaktning och ISCO är det bästa åtgärdsalternativet för omättad zon och mättad zon ovan berg.

Tabell 5. Utvärdering av framlyfta åtgärdsalternativ. Högst summapoäng av aktuella metoder för respektive media och djupnivå är markerat med fet stil och i rött.

Teknologi	Mål 1a Reduktion av ytlig förorening i omättad zon (TRI 2), 0-4 m u my	Mål 1b Reduktion av djup förorening i omättad zon (TRI 2), 4-6 m u my	Mål 2 Reduktion av förorening i mättad zon (TRI 1+TRI 2)
Porgasextraktion (SVE)	53	48	IA
Schaktning	77	77	IA
Termisk sanering	60	60	42
Soil Mixing (ISCO)	IA	64	IA
ISCO	IA	IA	62
ERD	IA	IA	61

IA = Icke applicerbart (utvärderas ej för detta media/djupintervall)

7. Möjliga åtgärder av berg

Eftersom föroreningen i berg endast är konstaterad i dagsläget och inte till fullo utredd, vare sig till omfattning eller huruvida åtgärdsbehov föreligger, är det egentligen något förhastat att göra en åtgärdsutredning avseende föroreningen i berg. Med det sagt så ser Ramboll baserat på tillgänglig information i huvudsak tre möjliga åtgärdsprinciper för berg. Dessa åtgärdsalternativ beskrivs översiktligt nedan. Värt att nämna är att sanering av förorening i berggrund är komplext och åtgärdsstider och kostnader kan vara svårbedömda vid jämförelse med sanering av jordlager ovan berg.

Termisk sanering (TCH), som finns beskrivet i avsnitt 6.3, är ett av åtgärdsalternativen. Även om kostnaden för tillfället talar emot en termisk efterbehandling så kan eventuella kompletterande utredningar av berg förändra förutsättningarna vid val av efterbehandlingsåtgärd. Principen för termisk sanering skiljer sig inte nämnvärt om föroreningen är belägen i berg eller jord och kommer inte diskuteras vidare här.

Det andra alternativet är en biologisk åtgärd genom reduktiv deklorering (ERD) som finns beskrivet i avsnitt 6.8. Detta åtgärdsalternativ skulle kunna kombineras med en extraktion av DNAPL i sprickor. En sådan extraktion utförs innan ERD initieras. En fördel med denna metod är att borrhål i berg som används för karaktärisering och avgränsning, även kan användas för extraktionsåtgärden. En nackdel är att bergmatrisen inte direkt åtgärdas, utan återdiffusion är att förvänta under en längre tid. Som nämns i utvärderingen av ISCO som alternativ under avsnitt 6.7 är det dock svårt att kombinera två metoder som bygger på motstridiga redoxförhållanden inom samma objekt och samtidigt (ISCO och ERD). Så som beskrevs under ISCO-metoden i avsnitt 6.7.1 är en möjlig lösning att separera de två akvifererna med en barriär. En barriär skulle bestå av ett trögflytande och svårgenomsläppligt ämne med en densitet högre än vatten och med en liten benägenhet att röra sig i matrisen, särskilt i närhet av identifierade sprickor. Ett annat krav är att det inte är lättoxiderat så det förbrukar oxidationsmaterial som injekteras till jordakviferen. På så vis skulle, åtminstone teoretiskt, två separata "rum" kunna skapas med en avgränsning vid bergets överyta, för att möjliggöra två metoder som förutsätter olika redoxförhållanden. Ett annat alternativ är, eftersom utfallet bara marginellt talar för ISCO, att arbeta med reduktiv deklorering även i grundvattnet i jord för att undvika att skapa motstridiga redoxförhållanden i grundvattnet. Som nämns i utvärderingen av ERD i avsnitt 6.8 ovan så är grundvattnet i jorden kraftigt syresatt och det kan medföra vissa svårigheter att både konvertera och bibehålla reducerande förhållanden i akviferen.

Slutligen kan en variant av Natural Source Zone Depletion (NSZD), ett definierat protokoll för naturlig självrening där det finns fri fas närvarande, ett åtgärdsalternativ. Denna metod kan övervägas eftersom det finns indikation på att föroreningen bryts ned reduktivt i berg. Det är inte heller osannolikt att de

nedbrytningsprodukter som rapporterats i det ytliga grundvattnet snarare härrör från förorening i berg, eftersom grundvattnet är så pass syresatt. Även NSZD skulle kunna påverkas negativt om ISCO implementeras i grundvattnet utan att sammanbindande sprickor tätas.

Även om ISCO inte kan uteslutas helt, finns det en del aspekter som behöver hanteras. Dels finns det en risk att sprickor tätas igen när mineral oxideras och vilket försvårar saneringsåtgärd. Detta kan till viss del hanteras genom noggrant val av oxidationsmedel och bänkskaleförsök. Eftersom DNAPL sannolikt finns, eller har funnits, inom de förorenade områdena har den sannolikt även diffunderat in i bergmatrisen. Även om föroreningen enbart når enstaka millimeter till centimeter in i bergmatrisen kan den utgöra en tillräcklig källa av återdiffusion av förorening till sprickorna. Vidare är de kemiska oxidationsmedlen inte särskilt långlivade i matrisen och är inte heller en lämplig lösning på lång sikt. Att åtgärda förorening i berg genom ISCO skulle potentiellt förutsätta upprepade injekteringar under en lång tid för att hantera denna återdiffusion av förorening.

Ramboll anser, baserat på tillgängligt underlag, att en metod baserat på ERD är den mest lovande åtgärdsmetoden att utreda vidare om ett åtgärdsbehov föreligger i berg eftersom undersökning kan kombineras med åtgärd.

8. Rekommenderade åtgärder

Som åtgärd rekommenderar Ramboll följande;

- Ytlig förorening i hela omrättade zonen i TRI2 schaktas. Metoden kommer inte försvåra möjligheten att genomföra åtgärder med högre ambitionsnivå i samband med åtgärd eller vid senare åtgärd i framtiden (vid exempelvis ändrad användning av fastigheten till en känsligare).
- Åtgärdsförberedande undersökningar genomförs för att klargöra huruvida ISCO eller ERD är lämpligast väg framåt för jordakviferen (och då med beaktande för föroreningssituationen i berg).
- Undersöka föroreningssituationen i berg samt bedöma åtgärdsbehov. En provtagningsplan rekommenderas tas fram. Målet med ytterligare undersökningar är att bedöma utbredning, risk samt om åtgärdsbehov föreligger för berg. Eftersom en förorening i berg kan påverka den långsiktiga effekten av en åtgärd av jordakviferen så kan en karaktärisering av förorening i berg även underlätta slutligt val av åtgärdsmetod för jordakviferen.

8.1 Schaktning

För åtgärd av den omrättade zonen i TRI2 rekommenderar Ramboll urschaktning. Åtgärden bedöms kunna uppfylla åtgärds mål och försvårar inte möjligheten att genomföra åtgärder med högre ambitionsnivå i samband med åtgärd eller i senare

skede (vid exempelvis ändrad användning av fastigheten till en känsligare så som bostadsändamål). För schaktsanering krävs inga vidare förberedande undersökningar förutom att bedöma omfattningen av spontningsbehov. Kvarvarande osäkerheter i avgränsning och miljökontroll kan hanteras genom den anmälan enligt §28 förordningen av miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (1998:899) som kommer upprättas inför en schaktsanering.

Schaktade massor avses omhändertas på extern mottagningsanläggning med relevanta tillstånd. Där finns mottagningsanläggningar med tillstånd att ta emot de förorenade jordmassorna i närområdet. Tillgång av lämpligt återfyllnadsmaterial bedöms finnas i närområdet.

Uppskattade ytor för schaktning, indelat i djupintervall, redovisas som Bilaga 2A-2C.

8.2 Grundvatten

För grundvattnet (ovan berg) Ramboll att både ISCO och ERD utvärderas framgent innan slutligt beslut fattas i den åtgärdsplan som avses att upprättas. Dels eftersom de föll ut snarlikt i den semi-kvantitativa åtgärdsutredningen, dels eftersom det finns starka för- och nackdelar med båda. Den metod vars nackdelar bäst kan hanteras kommer slutligen att rekommenderas. Avgränsning och karaktärisering av förorening i berg kan bidra med ytterligare information inför slutligt val av åtgärd, t.ex. huruvida en återdiffusion från berg till grundvatten i jord är att förvänta sig.

För att utreda möjligheten för ERD bör följande frågeställningar utredas.

- Redoxförhållanden: Analys av dominerande kväve-, järn-, mangan- och sulfatformer i grundvattnet.
- Näringsämnesstatus: Analys av näringsämnena i grundvattnet
- Identifiera lämpligt substrat samt behov av att komplettera med abiotisk nedbrytning (ZVI) genom bänkskaleförsök.
- Lämplig bioaugmenteringsprodukt.
- Närvaro av metaller som kan mobiliseras under reducerande förhållanden t.ex. arsenik genom analys av jordprov.

För att utreda möjligheten till ISCO bör följande frågeställningar utredas.

- Möjlighet att separera grundvattnet i berg och jord med en barriär
 - Identifiera lämpligt material
- Val av oxidationsmedel, eller kombination därav, för bänkskaleförsök.
- Oxidationsmedelsförbrukning av bakgrundsmaterial (bänkskaleförsök)
 - Järn- och manganoxider
 - Organiskt materia
- Närvaro av metaller som kan mobiliseras under oxiderande förhållanden, t.ex. krom genom analys av jordprov.

För att genomföra detta krävs en mindre fältinsats där jord- och vattenprover insamlas till bänkskaleförsök samt analys av vatten och jordprov.

Efter bänkskaleförsöken, rekommenderar Ramboll att en åtgärdsplan med en detaljerad design upprättas och delges tillsynsmyndigheten för påsyn. Åtgärdsplanen inkluderar vald metod, information rörande pilotinjekteringen samt en plan för den fullskaliga injekteringen. Däremot kan planen för den fullskaliga åtgärden komma att revideras något efter pilotinjekteringen. Åtgärdsplanen kommer även utgöra en anmälan enligt §28 förordningen av miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (1998:899) och innehålla en beskrivning av planerat kontrollprogram, både för pilotinjekteringen och den fullskaliga åtgärden. Oavsett om ISCO eller ERD väljs som åtgärdsmetod kommer kontrollprogrammet vara ett grundvattenkontrollprogram för att övervaka effekten av åtgärden, men exakta parametrar som övervakas beror på vald metod samt substrat. Detta kontrollprogram kommer att beskrivas mer i detalj i åtgärdsplanen.

Innan byggnaden rivs anser Ramboll att det är både lämpligt och möjligt att påbörja med pilotinjekteringar genom vinklad injektering in under byggnaden, utan alltför stor påverkan på nuvarande verksamhet. På så vis kan kunskap om influensradie, justeringar mellan koncentration av oxidationsmedel och volym, injekteringstid och -tryck, samlas in i kombination med att viss åtgärd påbörjas. Detta bedöms aktuellt att utvärdera närmare eftersom tidslinjen från rivning till byggnation avses hållas relativt kort enligt Rambolls förståelse. Om rivningen sker redan 2022 kan t.ex. pilotinjekteringar behöva samköras med den fullskaliga injekteringen och tidsramen för åtgärd bedöms uppgå till närmre 2 år. Om byggnaden rivs 2023 bedöms en större mängd förarbeten kunna hinnas med och åtgärden kan effektiviseras.

8.3 Berg

Påträffad förorening i berg är inte avgränsad och det går inte i dagsläget att avgöra om åtgärdsbehov föreligger. Ramboll rekommenderar att en provtagningsplan tas fram för att hantera identifierade informationsluckor efter WSP:s bergundersökning och redogöra för i vilken utsträckning behov om kompletterande borrhål eller provtagning föreligger. Informationen som framkommer vid kompletterande undersökningar kan komma att påverka slutligt val av åtgärdsmetod för grundvatten.

8.4 Tidsplan

Arbetet som beskriv i avsnitten 7.1 - 7.3 ovan sammanfattas nedan i en preliminär tidsplan.

- Hösten 2021: Insamling av kompletterande jord- och grundvattenprov för kompletterande analys och bänkskaleförsök. Kompletterande bergundersökning.

- Vintern 2021/2022: Bänkskaleförsök och design av åtgärd sammanställs i en åtgärdsplan och anmälan enligt §28 förordning av miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (1998:899).
- Våren 2022: Pilotinjektering med vinklade injekteringar under befintlig byggnad.
- Hösten/Vintern 2022/2023: Övervakning av grundvatten, samt eventuella kompletterande injekteringar efter behov.
- Rivning av byggnad: Fastighetsägarens rivning av byggnad. Separat anmälan enligt §28 förordning av miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (1998:899) för schaktsanering.
- Efter rivning av byggnad: Eventuella revideringar till anmälan sammanställd under vintern 2021/2022 följer av injektering av TRI1/TRI2 schaktsanering av TRI2.
- Första två åren efter rivning: Kontrollprogram av grundvatten under minst två år. Förslagsvis väljs ett antal grundvattenrör ut baserat på en utvärdering av uppmätta föroreningshalter och grundvattenrörens placering inom de förorenade områdena. Kontrollprogrammet avslutas när medelvärdet för valda kontrollrör påvisar halt under åtgärds målet i tre på varandra följande provtagningstillfällen. Kontrollprogrammet föreslås även innehålla övervakning av ett antal rör med syfte att bekräfta begränsad spridning från TRI1 och TRI2.

9. Slutsatser

Omfattande miljötekniska undersökningar har utförts i jord och grundvatten (ovan berg) inom Strömbrytarna. Av resultaten framgår att klorerade lösningsmedel föreligger i halter över föreslagna mätbara åtgärds mål inom två förorenade områden som benämns TRI1 och TRI2. Åtgärds målen är framtagna för att förhindra en eventuell framtida risk med påvisad förorening enligt en tidigare framtagna riskbedömning och relaterat bemötande från Norrköpings kommun. Föroreningssituationen i omättad och mättad zon ovan berg är väl karakteriserad. Nyttillkomna undersökningsresultat visar även på förekomst av förorening i berg. Spridning i berg är komplext och kan ske i både ytliga och djupa sprickor. Eftersom föroreningen i berg endast är konstaterad i dagsläget och inte till fullo utredd, vare sig till omfattning eller huruvida åtgärds behov föreligger, är det egentligen något förhastat att göra en åtgärds utredning som även beaktar berggrunden och hur föroreningssituationen där kan komma att påverka en åtgärd i den övre jordakviferen (diffusion från berg till jordakvifer kommer ske i mer eller mindre omfattning och en sanering av jordakviferen behöver projekteras för att inte försvåra en eventuell åtgärd i berg – det råder olika geokemiska förutsättningar samt nedbrytningsförhållanden vid jämförelse akvifererna emellan).

Utifrån en kvalitativ och kvantitativ bedömning så har ett antal åtgärdsmetoder utvärderats sinsemellan för omättad och mättad zon ovan berg. Därutöver har ett antal åtgärdsalternativ diskuterats översiktligt även för berg, trots att ett eventuellt åtgärdsbehov först behöver klarläggas.

Sammanfattningsvis finns det goda förutsättningar att minska eventuellt framtida risker för människa och miljö genom åtgärd av de förorenade områdena TRI1 och TRI2 (omättad zon samt mättad zon ovan berg).

En hög föroreningsnivå har konstaterats i den omättade zonen i TRI2. Att avlägsna källan kan permanent minska eller eliminera spridning till grundvatten och porluft samt minska sannolikheten för direktexponering av förorening. Föroreningskällan avses avlägsnas fysiskt genom urschaktning av jord. Under förutsättning att byggnaden som ligger ovan de förorenade områdena rivs bedöms metodiken lämplig och praktiskt genomförbar utan nämnvärda svårigheter. Visst behov av stabiliserande åtgärder kan komma att krävas (spontning). Metodiken bedöms kostnadseffektiv och kan utformas i samarbete med fastighetsägare för att också nå en striktare åtgärds mål (som tillåter att området används till bostäder). Miljökontroll med slutprovtagning för att verifiera halter under åtgärds mål görs i samband med åtgärden. Mindre begränsningar, planering av schakt och eventuella kompletterande borrhål i berg behöver koordineras. Åtgärds kostnaden bedöms ligga mellan 5,5 och 10,2M kr och genomförandetiden för Whirlpool bedöms till 1-2 månader. Utifrån ett antal kriterier har åtgärds metoden bedömts fördelaktig vid jämförelse med andra åtgärdsalternativ (porgasextraktion, termisk sanering och jordstabilisering).

Urschaktning avses kombineras med in-situ sanering av den mättade zonen ovan berg genom ISCO-metodik (direktinjektering) eller ERD. Ramboll anser att både ISCO och ERD bör utvärderas framgent innan slutligt beslut fattas avseende åtgärds metod. Dels eftersom de föll ut snarligt i den semi-kvantitativa åtgärdsutredningen, dels eftersom det finns starka för och nackdelar med båda. Åtgärds kostnaden för ISCO bedöms ligga mellan 9 och 12 Mkr. Åtgärds kostnaden för ERD bedöms ligga mellan 7 och 9 Mkr. Utöver åtgärds kostnaderna krävs ett efterföljande kontrollprogram över minst ett par år för att säkerställa att åtgärds mål uppnås över tid (ca 1-2 Mkr). Förslagsvis väljs ett antal grundvattenrör ut baserat på en utvärdering av uppmätta föroreningshalter och grundvattenrörens placering inom de förorenade områdena. Kontrollprogrammet avslutas först efterföljt tre grundvattenprovtagningstillfällen som visar på medelhalter som underskrider åtgärds mål. I samband med grundvattenprovtagningen föreslås även mätning ske i ett antal rör i utkanten av området i syfte att bekräfta begränsad spridning ut från de förorenade områdena.

Eventuellt åtgärdsbehov av berg behöver utredas. Ett antal potentiellt aktuella åtgärds tekniker för berg har diskuterats översiktligt i denna rapport.

10. Referenser

- Enviro Wiki. (2021). Enviro Wiki. Retrieved from <https://www.enviro.wiki/index.php?title=Contributors>
- Hultenberg, S. (2020). En jämförelse mellan två termiska saneringsmetoder. Tabell 13.
- Naturvårdsverket. (2007). Klorerade lösningsmedel – identifiering och val av efterbehandlingsmetod.
- Naturvårdsverket. (2009). Att välja efterbehandlingsåtgärd - en vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål. Rapport 5978. September 2009.
- Naturvårdsverket. (2016). Efterbehandling av förorenade områden - Kvalitetsmanual för användning .
- Norrköpings kommun. (2021a). Föreläggande om att Whirlpool Sweden AB ska genomföra en åtgärdsutredning gällande förorening på fastigheterna Strömbrytaren 10-12 i Norrköping. MH 2020-4644. 2021-04-09.
- Norrköpings kommun. (2021b, 05 26). Norra Himmelstalund, Himmelstalund. Retrieved from Detaljplaneprogram Norra Himmelstalund, Himmelstalund: <https://www.norrkoping.se/boende-trafik-och-miljo/planer-och-byggsprojekt/detaljplaneprogram/pagaende-arbete-med-detaljplaneprogram/norra-himmelstalund-himmelstalund>
- SGF. (2021). Åtgärdsportalen. Retrieved from <https://atgardsportalen.se/om-atgardsportalen>
- Wilund. (2019). Antikvarisk förundersökning. Strömbrytarna. Finspångsvägen 27 m.fl. 2019-02-11. Rev. 2019-04-11.
- Wilund. (2020). Utveckling av Himmelstalundsstaden. 2020-03-18. .
- WSP. (2014). Avvecklingsbesiktning av verksamheten på fastigheterna Strömbrytaren 10 och Strömbrytaren 11 i Norrköpings kommun. 2014-06-18. .
- WSP. (2020a). Fördjupad riskbedömning. Strömbrytaren 10, 11 och 12, Norrköping, Norrköpings kommun. 2020-09-30.
- WSP. (2020b). Kompletterande miljöteknisk undersökning avseende klorerade lösningsmedel på Strömbrytaren 10,11 och 12. Huvudrapport. 2020-08-23.

Bilaga 1 Semi- kvantitativ utvärdering av åtgärdsalternativ

Målsättning	Teknologi	Poäng och viktning	1. Riskreduktion	2. Tid för att genomföra åtgärden	3. Åtgärdskostnad	4. Praktisk tillämpbarhet	5. Långtidsverkan och beständighet	6. Arbetsmiljö	7. Miljöpåverkan	Summa
			Viktning	3	3	2	3	3	2	
1a) Reduktion av yttlig förorening i omätnad zon (TRI2), 0-4m u my	Porgasextraktion (SVE)	Poäng	3	2	3	3	3	3	4	53
		Viktning * poäng	9	6	6	9	9	6	8	
	Schaktning	Poäng	5	5	4	4	5	4	2	77
		Viktning * poäng	15	15	8	12	15	8	4	
	Termisk sanering	Poäng	5	5	2	3	3	2	2	60
		Viktning * poäng	15	15	4	9	9	4	4	
1b) Reduktion av djup förorening i omätnad zon (TRI2), 4-6 m u my	Porgasextraktion (SVE)	Poäng	3	2	2	2	3	3	4	48
		Viktning * poäng	9	6	4	6	9	6	8	
	ISCO/soil mixing	Poäng	4	5	2	2	5	4	2	64
		Viktning * poäng	12	15	4	6	15	8	4	
	Schaktning	Poäng	5	5	4	4	5	4	2	77
		Viktning * poäng	15	15	8	12	15	8	4	
	Termisk sanering	Poäng	5	5	2	3	3	2	2	60
		Viktning * poäng	15	15	4	9	9	4	4	
2) Reduktion av förorening i mättad zon (TRI1+TRI2)	ISCO	Poäng	4	4	3	3	3	3	4	62
		Viktning * poäng	12	12	6	9	9	6	8	
	ERD	Poäng	3	3	4	3	4	4	3	61
		Viktning * poäng	9	9	8	9	12	8	6	
	Termisk sanering	Poäng	1	5	1	3	3	1	1	42
		Viktning * poäng	3	15	2	9	9	2	2	

Bilaga 2A-2C

Uppskattade ytor för schaktning



BILAGA 2A

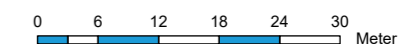
Förorening i jord 30-32 m öh

Projektamn: Whirlpool Norrköping

Unr.: 330002634

Datum: 2021-06-30

Skala (A3): 1:750



© Lantmäteriet, Geodatasamverkan

Legend

- Schaktets utbredning (ej släntning)
- < Känslig Markanvändning
- > Känslig Markanvändning
- > MKM PSRV (0-2 m bgl)
- > MKM PSRV
- Fastighetsägaren
- Whirlpool

Figuren presenterar den teoretiska utbredningen av schakt, i huvudsak baserat på jordanalyser, men i viss utsträckning även MIP-undersökningar, från WSP. Exakt omfattning på schaktet kan komma att förändras och särskilt volymer för fastighetsägaren är osäkra.

Upprättad av: Johanna Moreskog

Granskad av: Jonas Bruzell

Uppdragsledare: Marco Gardini

RAMBOLL



BILAGA 2B

Förorening i jord 28-30 m öh

Projektname: Whirlpool Norrköping

Unr.: 330002634

Datum: 2021-06-30

Skala (A3): 1:750

0 6 12 18 24 30 Meter

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan


Legend


 Schaktets utbredning (ej släntning)

 Fastighetägaren

 Whirlpool

 < Känslig Markanvändning

 > Känslig Markanvändning

 > MKM PSRV (0-2 m bmy)

 > MKM PSRV

Figuren presenterar den teoretiska utbredningen av schakt, i huvudsak baserat på jordanalyser, men i viss utsträckning även MIP-undersökningar, från WSP. Exakt omfattning på schaktet kan komma att förändras och särskilt volymer för fastighetsägaren är osäkra.

Upprättad av: Johanna Moreskog

Granskad av: Jonas Bruzell

Uppdragsledare: Marco Gardini

RAMBOLL



BILAGA 2C

Förorening i jord 26-28 m öh

Projektname: Whirlpool Norrköping

Unr.: 330002634

Datum: 2021-06-30

Skala (A3): 1:750

0 6 12 18 24 30 Meter

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan


Legend

 Schaktets utbredning (ej släntning)

 Fastighetsägaren

 Whirlpool

 < Känslig Markanvändning

 > Känslig Markanvändning

 > MKM PSRV

Figuren presenterar den teoretiska utbredningen av schakt, i huvudsak baserat på jordanalyser, men i viss utsträckning även MIP-undersökningar, från WSP. Exakt omfattning på schaktet kan komma att förändras och särskilt volymer för fastighetsägaren är osäkra.

Upprättad av: Johanna Moreskog

Granskad av: Jonas Bruzell

Uppdragsledare: Marco Gardini

RAMBOLL