

PM RISKER AVSEENDE FÖRORENINGAR I SAMBAND MED SCHAKTARBETEN FÖR JÄRNVÄG VÄSTER OM KV RENEN Varbergstunneln, Väst kustbanan, Varberg-Hamra

Varbergs kommun, Hallands län

2016-06-22

Projektnummer: 101107



Dokumenttitel: PM Risker avseende föroreningar i samband med schaktarbeten för järnväg väster om kvarteret Renen

Skapat av: Tyréns AB

Dokumentdatum: 2016-10-12

Dokumenttyp: PM

DokumentID: 101107-08-025-108

Ärendenummer: TRV 2013/88739

Projektnummer: 101107

Version: 3

Publiceringsdatum:

Utgivare: Trafikverket

Kontaktperson: Andreas Gustafsson

Uppdragsansvarig: Andreas Gustafsson

Tryck:

Fotograf:

Distributör: Trafikverket, Kruthusgatan 17, 405 33 Göteborg, telefon: 0771-921 921

Medverkande

Trafikverket

Konsult, Tyréns AB

Bertil Sundlöf

Jeffrey Lewis

Maria Aneljung

Nadja Lundgren

David Hagerberg

Sandra Martinsson

Läsanvisning

Föreliggande dokument är ett PM som ingår som ett underlag inför tillståndsansökan för vattenverksamhet i Trafikverkets projekt *Varbergstunneln, Västkustbanan, Varberg-Hamra*, i nedanstående text kallat Projektet, om inte annat anges.

Innehåll

1 Inledning	7
1.1 Bakgrund samt några begrepp och termer	7
1.2 Syfte	9
1.3 Omfattning och avgränsning	9
2 Genomförande av studien	9
3 Förutsättningar	10
3.1 Geologiska och hydrogeologiska förhållanden	10
3.1.1. Jord	10
3.1.2. Berg och sprickzoner	10
3.1.3. Grundvattnets rörelser	12
3.2 Byggskede - genomförande av grundvattensänkning.....	12
3.2.1. Tråg.....	12
3.3 Driftskede - anläggningsutformning.....	13
3.3.1. Tråg.....	13
3.3.2. Betongtunnel	13
4 Utredning och analys	13
4.1 Beskrivning av numerisk grundvattenmodell	14
4.2 Beräkningsresultat - grundvattenströmning.....	18
4.2.1. Nuvarande förhållanden	18
4.2.2. I samband med grundvattensänkning vid anläggningsarbeten.....	21
4.2.3. Driftskede	24
4.3 Aktuella föroreningars egenskaper och mobilitet	24
4.3.1. Fysikalkemiska egenskaper och mobilitet	24
4.3.2. Nuvarande förhållanden.....	25
4.4 Typer av risker samt tänkbara effekter av planerad schakt	27
4.4.1. Effekter av förändrad gradient och grundvattenströmning i samband med anläggningsarbeten utan föregående efterbehandling – alternativ 1..	28
4.4.2. Effekter av viss efterbehandling i form av urschaktning av förorenad jord – alternativ 2.....	29
4.5 Alternativ 1, Renen 13 ej efterbehandlad – risker och konsekvenser	30
4.5.1. Byggskede.....	30
4.5.2. Driftskede	31
4.5.3. Behov av skyddsåtgärder och/eller andra förberedande arbeten.....	31
4.6 Alternativ 2, Renen 13 delvis efterbehandlad – risker och konsekvenser	32
4.6.1. Byggskede.....	32
4.6.2. Driftskede	32

4.7 Bedömda konsekvenser – sammanfattning	32
5 Diskussion och slutsatser.....	33
6 Rekommendationer - fortsatta arbeten	35
7 Referenser	36

Bilagor:

Bilaga 1 Matris över risker och konsekvenser

1 Inledning

Detta PM ingår som ett av flera PM i Trafikverkets projekt Varbergstunneln – utbyggnad till dubbelspår genom Varberg.

1.1 Bakgrund samt några begrepp och termer

Västkustbanan mellan Göteborg och Lund är en av Sveriges viktigaste järnvägar för både persontrafik och godstrafik på regional och nationell nivå. Genom sin anslutning till Södra stambanan i Lund förbinder Västkustbanan Sveriges andra och tredje största städer, Göteborg och Malmö, till varandra. Den är även en naturlig förbindelse till Köpenhamn och vidare ut i Europa via Öresundsbron. Den ca 30 mil långa banan ingår i EU:s utpekade transportnätverk Trans European Network (TEN-T) och i det av Trafikverket utpekade strategiska godsnetet.

Sedan 1980-talet har Västkustbanan byggts ut från enkelspår till dubbelspår med avsikten att skapa ett snabbt, effektivt och miljövänligt transportmedel för både människor och gods. Idag är ca 88 % av banan utbyggd till dubbelspår. I Halland är det endast sträckan Varberg-Hamra som fortfarande är enkelspårig.

I samband med utbyggnaden av Västkustbanan genom Varberg, kommer djupa schakter att utföras och grundvattensänkning kommer krävas i samband med anläggande av betongtråg och betongtunnel. I Varberg finns förorenade markområden, varav ett av de mest påtagligt förorenade områdena ligger inom kvarteret Renen 13, Figur 1-1. De grundvattensänkningar som planeras kan komma att innebära risker för spridning av föroreningar; klorerade lösningsmedel och dess nedbrytningsprodukter. Sådana risker och eventuellt tillhörande effekter och konsekvenser, behandlas i detta PM. Likaså diskuteras hur risker och eventuella konsekvenser sannolikt kommer att minimeras eller neutraliseras genom relevanta tillvägagångssätt och åtgärder.

I denna text kommer ett antal begrepp och termer att användas, vilka inledningsvis bör förklaras. Med begreppet risk avser författarna till denna text möjlighet att en oönskad händelse inträffar. Risken för en händelse kan vara stor eller liten beroende på sannolikheten att händelsen skall inträffa. Om risken materialiseras (om riskhändelsen sker) ger detta en effekt, som inte nödvändigtvis är negativ eller särskilt betydelsefull. Om riskhändelsen och efterföljande effekt ger följdverkningar av, mer än marginell, betydelse utgör detta en konsekvens. Exempel på olika riskscenarier som är aktuella i detta sammanhang är; att föroreningshalterna i grundvatten eller luft skall nå hälsoskadliga nivåer, att det förorenade området får en annan utbredning eller ökar i storlek, att vatten med höga föroreningshalter kommer in i järnvägsschakten.

För diskussion och beskrivning av den typ av förorening som är aktuell inom och väster om kvarteret Renen behöver ytterligare ett antal termer förklaras, enligt nedan. De aktuella föroreningarna är i sin ursprungliga form tunga, föga vattenlösliga vätskor vilket innebär att de sjunker i grundvattnet. Så länge de utgör sammanhängande volymer sägs föroreningen föreligga i fri fas, ungefär som en bubbla i omgivande grundvatten. När ingen fortsatt tillförsel av förorening sker men "bubblan" fortsatt sjunker ner inom grundvattenzonen splittras den sedan successivt och föroreningen fastnar i mindre droppar i markens porer, detta brukar benämnas att föroreningen föreligger i residual fri fas. Trots att ämnena är föga vattenlösliga kan ändå något gram per liter vatten gå i lösning om stora mängder fri fas eller residual fri fas finns i nära kontakt med grundvatten i långsam rörelse. Begreppet hydraulisk gradient

används vidare i texten, med detta avses grundvattenytans lutning. En ökad gradient medför en, relativt sett, ökad hastighet av grundvattenströmningen.



Figur 1-1. Översiktskarta där läget för Renen 13 visas i förhållande till planerad järnvägssträckning.

1.2 Syfte

Djupa schakter i jord och berg kommer att utföras väster om kvarteret Renen i samband med anläggandet av tråg och betongtunnel. Vid framtagandet av järnvägsplan och systemhandling har förutsättningen varit att den planerade efterbehandlingen inom fastigheten Renen 13 kommer att vara avslutad innan schaktning för järnvägen påbörjas. I realiteten föreligger en risk att denna efterbehandling ej kommer att hinna färdigställas innan anläggningsarbetena påbörjas, med hänsyn till rådande tidplaner för järnvägsprojekt respektive efterbehandling. Det finns därför ett behov av utredning av de risker som föreligger om anläggningsarbetena behöver påbörjas innan efterbehandlingen är genomförd, till skillnad mot den situation som belyses i systemhandlingen. Syftet med denna PM är att belysa de risker som kan komma att uppstå, och redogöra för vilka effekter och tänkbara konsekvenser de kan komma att medföra.

1.3 Omfattning och avgränsning

De risker som behandlas i denna PM utgår från att efterbehandling av Renen 13 ej har hunnit färdigställas innan anläggningsarbetena längs järnvägen påbörjas. Dock kan det vara så att även om efterbehandlingen ej helt har hunnit färdigställas, kan vissa moment i den planerade efterbehandlingen vara genomförda innan anläggningsarbetena påbörjas. Efterbehandlingen av Renen 13 ska enligt nu gällande plan inledas med en urschaktning av förorenade jordmassor, så långt detta är möjligt, innan en termisk efterbehandling av berggrunden tar vid. En möjlighet är att urschaktning av förorenade jordmassor kan hinna genomföras innan anläggningsarbetena tar sin början. Av detta skäl beaktas två olika tidsmässiga förutsättningar i denna PM:

Alternativ 1

Efterbehandlingsåtgärderna har överhuvudtaget inte påbörjats när schakterna inom järnvägsområdet tar sin början.

Alternativ 2

Viss efterbehandling har genomförts, i form av hel eller delvis urschaktning av förorenad jord inom Renen 13, innan schakterna inom järnvägsområdet påbörjas.

2 Genomförande av studien

Föreliggande utredning bygger i huvudsak på:

- Litteraturstudier och fördjupade teoretiska analyser med avseende på de aktuella föroreningarnas egenskaper samt vilka fysikaliska och kemiska förhållanden som styr föroreningsspridning.
- Resultat och slutsatser från tidigare utredningar och undersökningar avseende kvarteret Renen 13
- Fördjupade analyser av tryckgradienter och strömningshastigheter i grundvattnet i jord och berg mellan Renen 13 och planerad schakt för järnväg, med hjälp av både en numerisk grundvattenmodell (3D-modell i Feflow) samt analytiska beräkningar och bedömningar.

Den kunskap som finns inom Tyréns, med avseende på de aktuella föroreningarna i allmänhet och kvarteret Renen i synnerhet, har tagits tillvara genom möten och diskussioner med expertis inom olika områden, samt genomgång av de relevanta

utredningar som tidigare har tagits fram. Vidare har möten genomförts med Structor och kommunen för att tillvarata den kunskap som finns beträffande fastigheten Renen 13 och föroreningssituationen i dess närområde.

3 Förutsättningar

3.1 Geologiska och hydrogeologiska förhållanden

3.1.1. Jord

Jordlagrens mäktighet vid kvarteret Renen 13 är förhållandevis tunna, men tilltar i västlig riktning, mot järnvägen. Jordlagren är heterogena och utgörs av både friktionsmaterial och tätare material såsom silt och lera, som i viss mån begränsar den hydrauliska kontakten i vertikalled. I övergången till berg bedöms en mer genomsläpplig övergångszon förekomma, där moränen möter en vittrad och uppsprucken bergöveryta. Denna zon bedöms dock ha en begränsad mäktighet, ca 0,5 m.

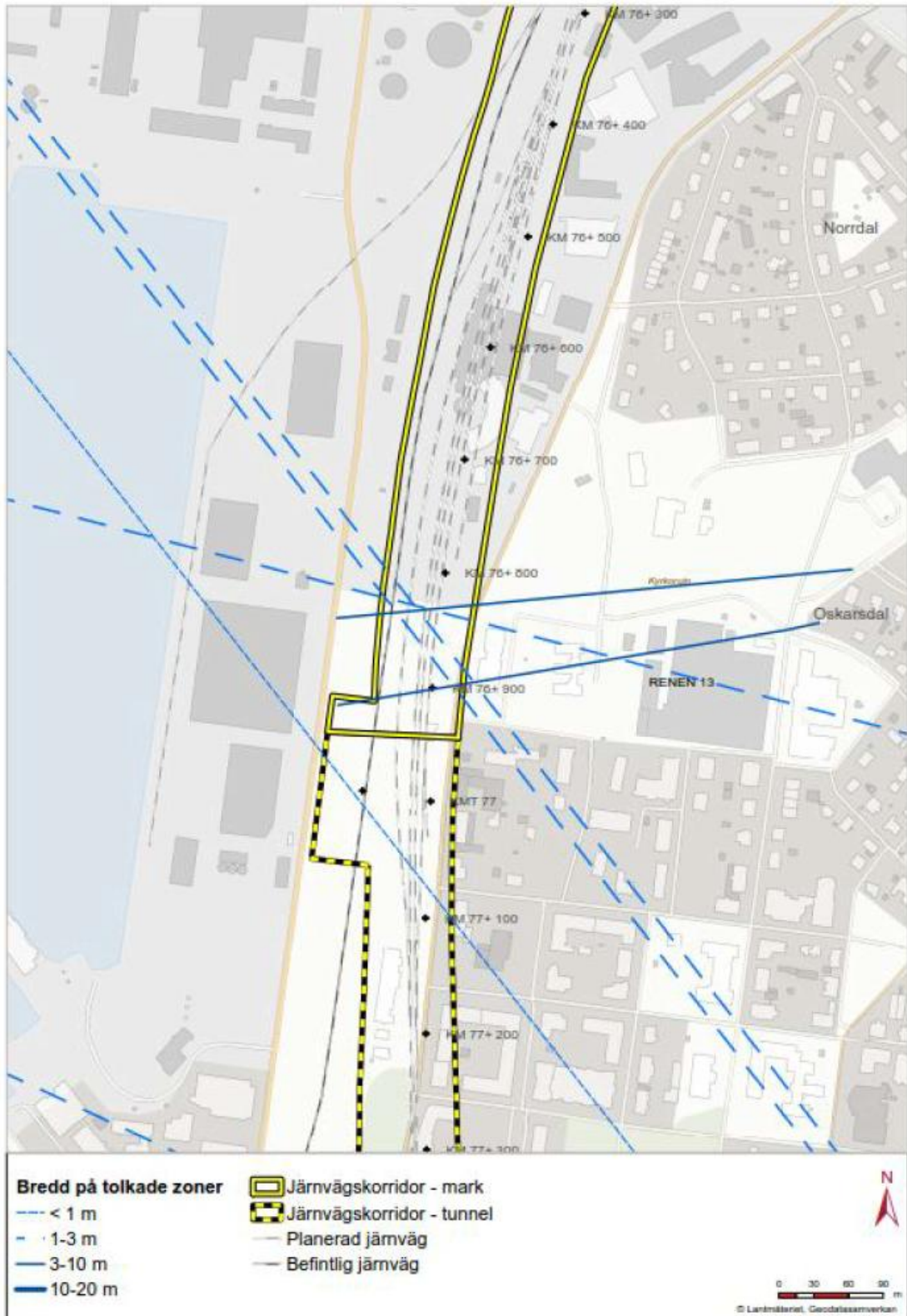
3.1.2. Berg och sprickzoner

Zontolkning av sprickor/zoner som bedömts vara, eller riskerar att vara vattenförande har gjorts utifrån borrhålsfilmning i kärnborrhål och hammarborrhål samt utifrån vattenförlustmätningar och kombinerats med tolkningar av geofysiska undersökningar, topografi samt hållkartering. Tolkade zonriktningar har extrapolerats till läget för planerad spårtunnel och arbetstunnel.

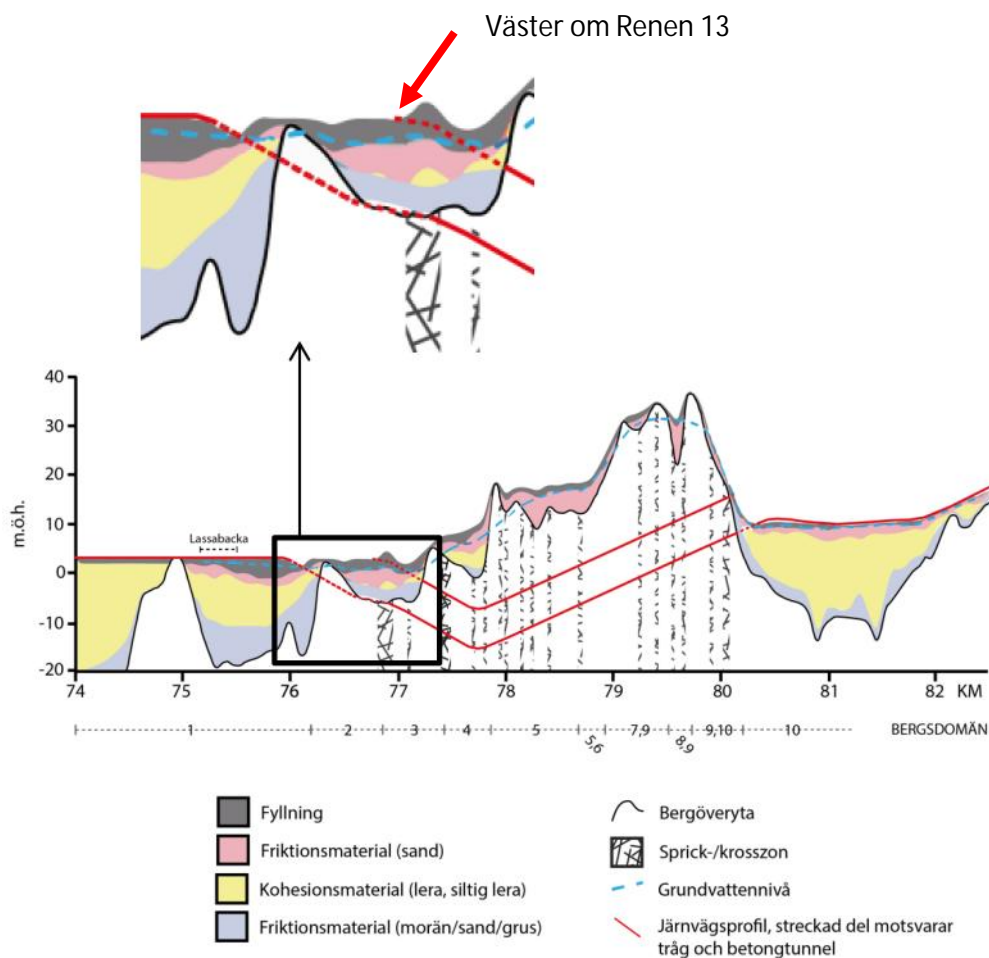
I Figur 3-1 redovisas en detaljerad bild över tolkade sprickzoner med bedömd zombredd längs sträckan för södra delen av betongtråg och för betongtunneln. Vid kvarteret Renen 13 (cirka km 76 +800 - cirka km 76 +950) har tre sprickzoner identifierats med huvudsaklig öst-västlig riktning (två stycken i västsydvästlig - ostnordostlig och en i västnordvästlig - ostsydostlig riktning). Vid betongtunneln (km 77 +000 - km 77 +250) finns en sprickzon i nordnordvästlig - sydsydostlig riktning. Två sprickzoner med nordnordvästlig - sydsydostlig riktning finns även inom järnvägsområdet väster om kvarteret Renen 13.

Sprickzonerna som visas i Figur 3-1 bedöms generellt vara brantstående, men mer horisontella sprickplan bedöms också kunna förekomma.

I Figur 3-2 visas en generaliserad jord- och berglagerprofil längs järnvägssträckan.



Figur 3-1. Tolkade sprickzoner i närområdet kring kvarteret Renen 13.



Figur 3-2. Generaliserad jord- och berglagermodell med tråg- och tunnelprofil inritad. Den del av järnvägssträckan som ligger väster om kvarteret Renen är uppförstorad.

3.1.3. Grundvattnets rörelser

Grundvattenflödet är idag i huvudsak riktat västerut, från det högre belägna kvarteret Renen 13 mot havet. Jordlagren bedöms i vissa delar vara relativt genomsläppliga, där jordlagren utgörs av friktionsmaterial såsom sand eller sandig morän. En stor del av grundvattenströmningen bedöms vara koncentrerad till den mer genomsläppliga kontaktzonen mellan jord och berg, samt uppspruckna delar av berget.

3.2 Byggskede - genomförande av grundvattensänkning

3.2.1. Tråg

De stora öppna schakterna för tråg och betongtunnel kommer att kräva grundvattensänkningar och därmed grundvattenhantering. Målsättningen med planerad byggmetod är att sponter och anslutningen till berg görs så tät som möjligt genom så kallad jetgrouting. Oavsett detta kommer grundvatten, i varierande mängd, att läcka in från jordlagren samt från vattenförande sprickor i berget när schakten påbörjas. Större spricksystem i bergsslänter kan behöva tätas med ridåinjekteringar och större spricksystem i botten av schakten med botteninjektering. Som bas- eller standardutförande avseende tätning tillämpas dock, enligt ovan, tät spont med jetgrouting i bergkontakten.

Berget längs betongtunneln kommer att tätas till en nivå som motsvarar ett inläckage av 5 l/(min*100 m) eller om möjligt lägre, vilket är en hög täthet.

I anslutning till schakten nedströms kvarteret Renen, där högre halter av klorerade lösningsmedel påträffats i grundvattnet, föreslås enligt systemhandlingen, som inarbetad skyddsåtgärd, att brunnar borras för direkt uppumpning och hantering av vattnet för att förhindra blandning med övrigt byggvatten. Brunnarna tas lämpligen i drift före schakt för att reducera mängden förorenat vatten som annars senare skulle kunna nå schakten. Oavsett detta kommer det ändå inte vara möjligt att helt förhindra att förorenat grundvatten når in i och får pumpas upp från schakterna. Med väl placerade bergbrunnar bedöms dock sannolikheten som liten att vatten med påtaglig föroreningshalt skulle nå in i schakten.

3.3 Driftskede - anläggningsutformning

3.3.1. Tråg

När betongkonstruktionen är gjuten, på ett underlag av genomsläppligt material, görs återfyllnad med krossat berg på ömse sidor för att minska riskerna med dämning av grundvatten. Mellan naturlig jord och bergkrossen läggs ett naturligt filter för att förhindra intrasport av finmaterial i bergkrossfyllningen. För att förhindra grundvattenflöden längs med betongkonstruktionen i driftskedet kommer, som inarbetad skyddsåtgärd, täta skott att anläggas i fyllningen av bergkross tvärs tråget/tunneln. Ingen påverkan, vare sig i form av grundvattensänkning eller dämning förväntas därför i driftskedet, utan den naturliga grundvattenströmningen från öst mot väst, tvärs tråget, kommer att återetableras som före anläggandet av tråget.

3.3.2. Betongtunnel

För att förhindra grundvattenströmning norrifrån mot bergtunneln via fyllningen kring betongtunneln kommer noggrann tätning att utföras i övergången mellan betongtunnel och bergtunnel. Som inarbetad skyddsåtgärd kommer också kringliggande bergmassa tätas extra för att motverka förorenings spridning mot bergtunneldelen.

4 Utredning och analys

I ovanstående avsnitt har de geologiska och hydrogeologiska förhållandena i området beskrivits samt vidare hur planerad anläggning skall byggas och fungera under drifttiden. I föreliggande kapitel analyseras och beskrivs hur de föroreningar som finns i marklager, berg och grundvatten inom och uppströms planerad trågschakt kommer att påverkas under och efter byggskedet. Avgörande för detta är dels hur grundvattenrörelserna i området kommer att förändras under bygg och driftskede, dels hur och i vilken grad de aktuella föroreningarna påverkas av de förändrade strömningförhållandena. En analys av grundvattensituationen, med hjälp av en numerisk modell, som åskådliggör rådande förhållanden samt beräknade grundvattenförhållanden under bygg- och driftskede presenteras nedan.

De aktuella föroreningarna i området - klorerade lösningsmedel och dess nedbrytningsprodukter - uppträder i varierande former med helt olika transportegenskaper i relation till den grundvattenströmning som råder. Föroreningarnas olika förekomstformer och under vilka betingelser föroreningarna uppträder i respektive form diskuteras vidare i föreliggande kapitel. Med hänsyn till,

bland annat, de resultat som erhållits vid provtagningar i området och med hänsyn till de geologiska förhållandena som råder görs bedömningar av ämnenas förekomstformer och risker för spridning i samband med planerade arbeten.

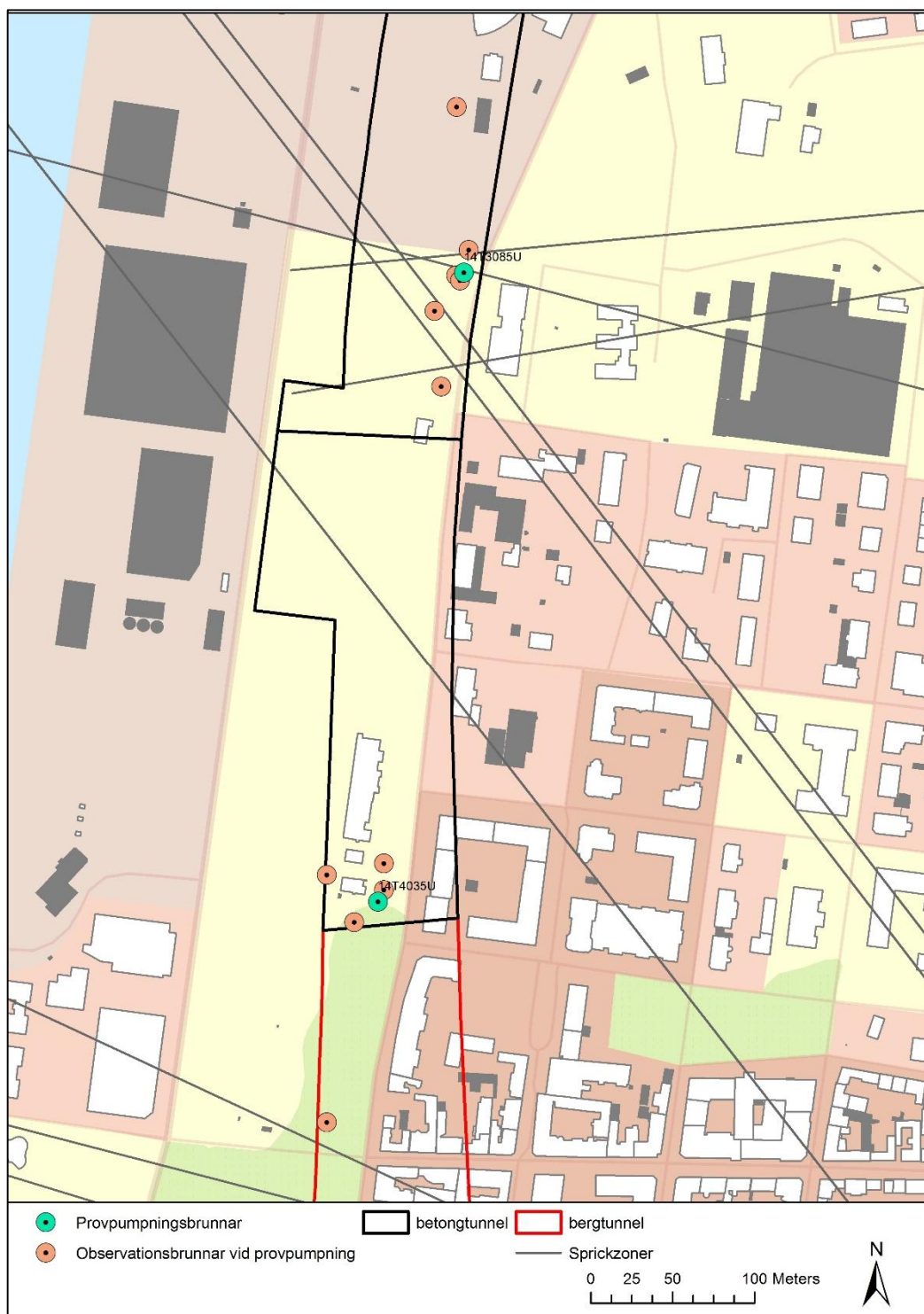
För att förbättra överskådligheten beträffande föroreningarnas förekomstformer och deras förväntade beteende med hänsyn till var och i vilket medium de finns, så har en matris upprättats med bedömningar av risker med hänsyn till, bland annat, inarbetade skyddsåtgärder. Förklaringar till hur risker och konsekvenser bedömts framgår av fortsatta avsnitt i förliggande kapitel. Matrisen återfinns som Bilaga 1.

4.1 Beskrivning av numerisk grundvattenmodell

En tredimensionell numerisk grundvattenmodell har etablerats inom ramen för projektet, i beräkningsprogrammet Feflow. Programmet baseras på finita elementmetoden vilket möjliggör ett flexibelt beräkningsnät med hög detaljeringsgrad runt tunneln eller andra områden där lokala förhållanden bör kunna studeras med hög noggrannhet utan att upprätta lokala modeller. Modellens uppbyggnad och redovisning av resultat redovisas i separat PM Numeriska hydrogeologiska beräkningar (Trafikverket, 2016a) samt i Projektering-PM Hydrogeologi (Trafikverket, 2016b). Kända sprickzoner enligt Figur 3-1 är inkluderade i modellbeskrivningen.

Modellen har kalibrerats mot uppmätta medelgrundvattennivåer och mot utvalda provpumpningar. Generellt nås en mycket god överensstämmelse mot uppmätta medelvärden av grundvattenobservationer längs större delen av planerad järnvägssträckning. I de södra delarna är avvikelsen något större. Medelfelet mot de 61 ingående observationspunkterna i nära anslutning till planerad järnväg är 0,55 m, där ett fåtal punkter har en större avvikelse men där mertalet av observationerna har en avvikelse mindre än 0,3 m. Två av provpumpningarna som använts som underlag för modellkalibreringen ligger i nära anslutning till det norra tråget och kvarteret Renen, se Figur 4-1:

- Provpumpning i 14T3085U, i jord/berg vid kvarteret Renen
- Provpumpning i 14T4035U, i de djupare jordlagren strax ovan berget söder om stationen



Figur 4-1. Lokalisering av provpumpningsbrunnar och observationsbrunnar som använts vid kalibrering av grundvattenmodellen.

I föreliggande avsnitt redovisas resultat för det specifika utredningsområdet i anslutning till och väster om kvarteret Renen. Eftersom relevanta underlagsdata inte är tillgängliga för att modellera fastläggning och nedbrytning av de aktuella föroreningarna har samma modell använts för hastighetsberäkningar i grundvattnet i anslutning till Renen som för övriga geohydrologiska beräkningar. Den regionala grundvattenmodell som är etablerad

längs hela järnvägssträckan bedöms, med hänsyn till lokal elementstorlek, vara tillräcklig att utgå från för föreliggande utredning.

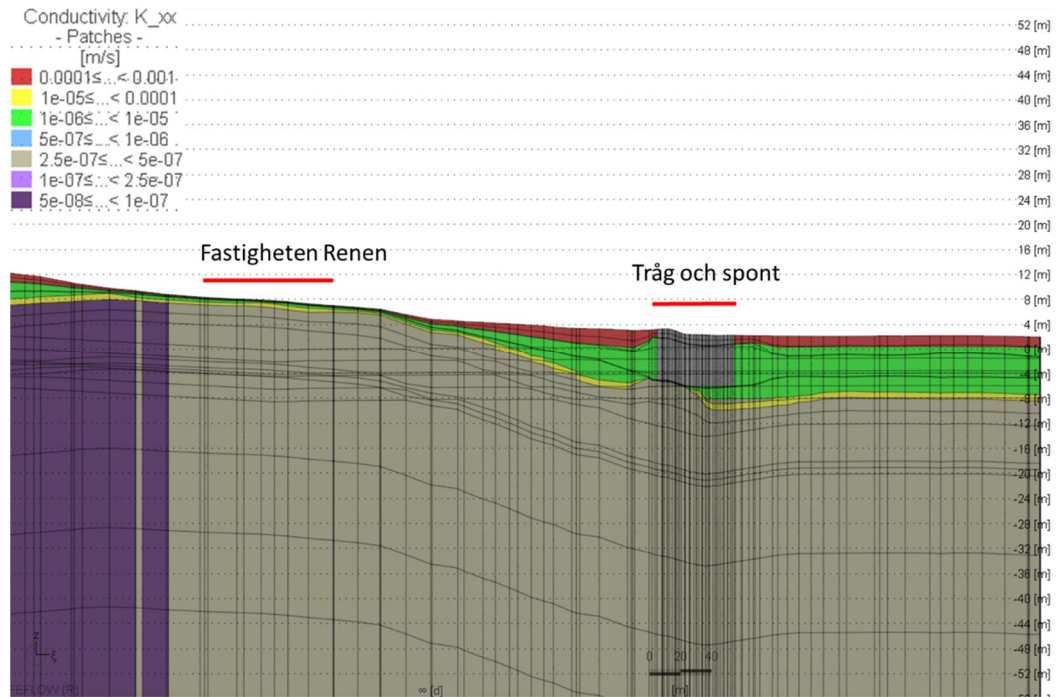
För att bedöma risken för förorenings-spridning i området har grundvattnets beräknade tryckgradienter och porhastigheter analyserats i förhållande till de aktuella föroreningarnas egenskaper och mobilitet i olika faser.

I Figur 4-2 visas placering av tre profiler från kvarteret Renen mot trågschakt och havet för vilka hydrauliska konduktiviteter presenteras i Figur 4-3 till Figur 4-5.

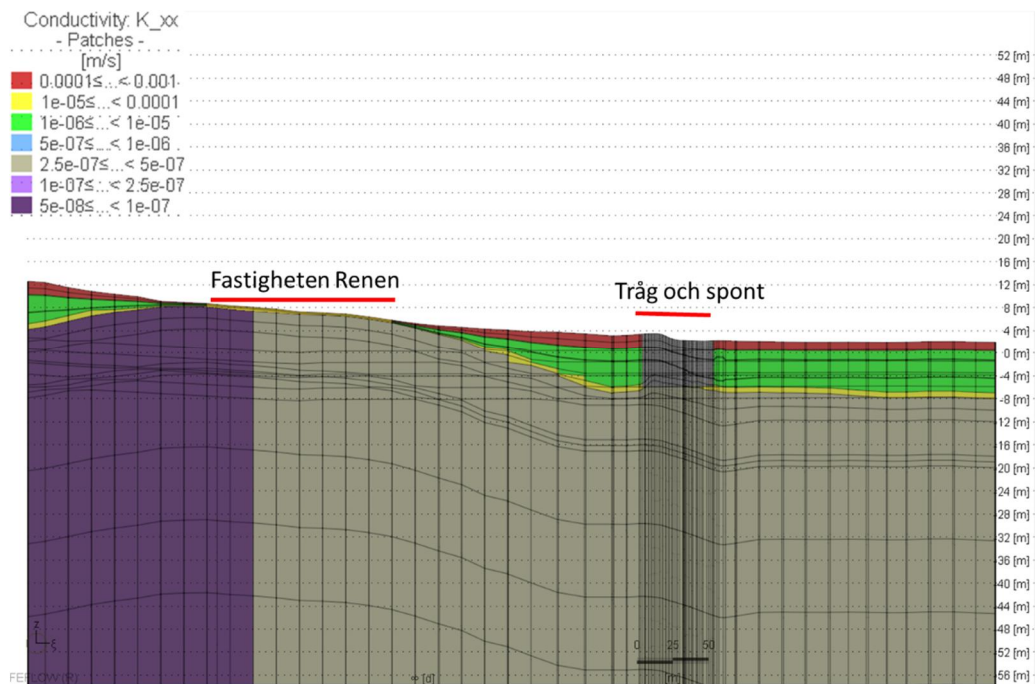
Jordmäktigheter och hydrauliska egenskaper är snarlika i samtliga profiler. Generellt visar modellen en något låg jordmäktighet i direkt anslutning till fastigheten Renen. Det kan även noteras en viss klackformation av bergytan i anslutning till trågets östra sida.



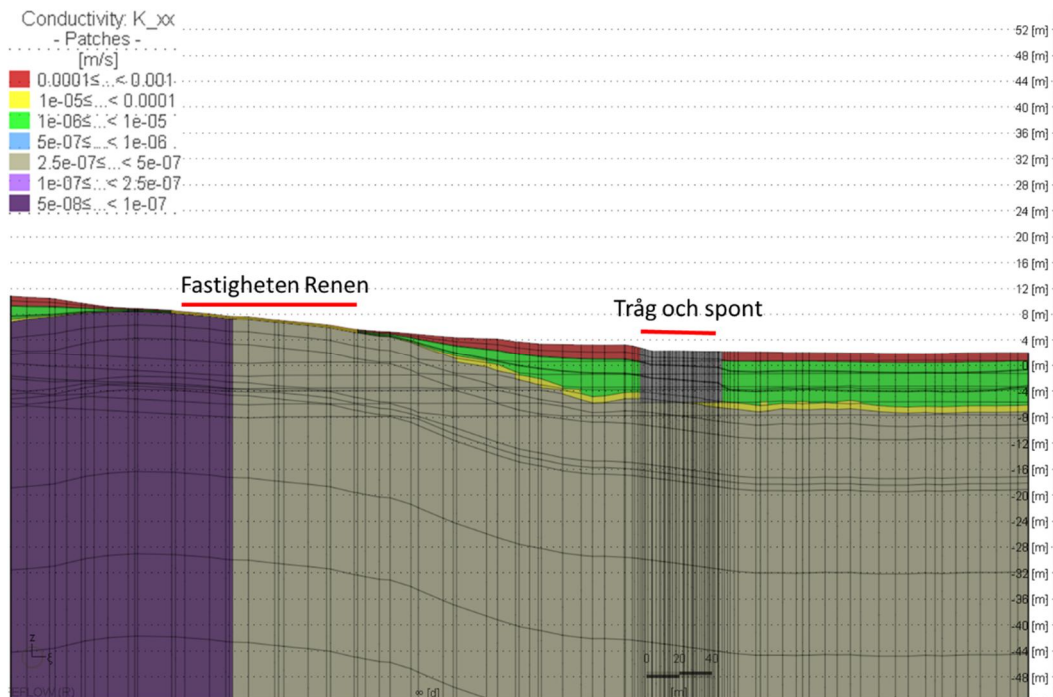
Figur 4-2. Lokalisering av profiler från kvarteret renen mot trågschakt och havet. Profilerna är namngivna Profil 2- Profil 4 i syd-nordlig riktning. Modellerade sprickzoner syns i bilden som grå heldragna linjer.



Figur 4-3. Hydrauliska konduktiviteter [m/s] i horisontalld för Profil 2 (från Kvarteret Renen mot trågschakt och havet). Den vertikala konduktiviteten är i jorden minskad med en faktor 2 då det noterats inslag av silt och lera.



Figur 4-4. Hydrauliska konduktiviteter [m/s] i horisontalld för Profil 3 (från Kvarteret Renen mot trågschakt och havet). Den vertikala konduktiviteten är i jorden minskad med en faktor 2 då det noterats inslag av silt och lera.



Figur 4-5. Hydrauliska konduktiviteter [m/s] i horisontalld för Profil 4 (från Kvarteret Renen mot trågschakt och havet). Den vertikala konduktiviteten är i jorden minskad med en faktor 2 då det noterats inslag av silt och lera.

4.2 Beräkningsresultat - grundvattenströmning

4.2.1. Nuvarande förhållanden

Grundvattennivåerna inom den västra delen av Renen 13 ligger något lägre jämfört med grundvattennivåer i både rakt nordlig och rakt sydlig riktning, varför inget grundvattenflöde i dessa riktningar bedöms föreligga. Grundvattnets strömningsriktning bedöms i huvudsak vara riktad västerut, mot havet. En viss tryckgradient i nordlig riktning kan möjligen också skönjas längre nedströms mot järnvägen.

Baserat på grundvattennivåmätningar inom Renen uppgår tryckgradienten i berg och/eller kontakten jord berg till lite drygt 1%.

Flertalet av grundvattennivåmätningarna representerar kontaktzonen jord/berg eller berg, men grundvattennivåerna bedöms inte avvika nämnvärt mellan jord- och berglager. Grovt kan tre vattenförande horisonter avgränsas:

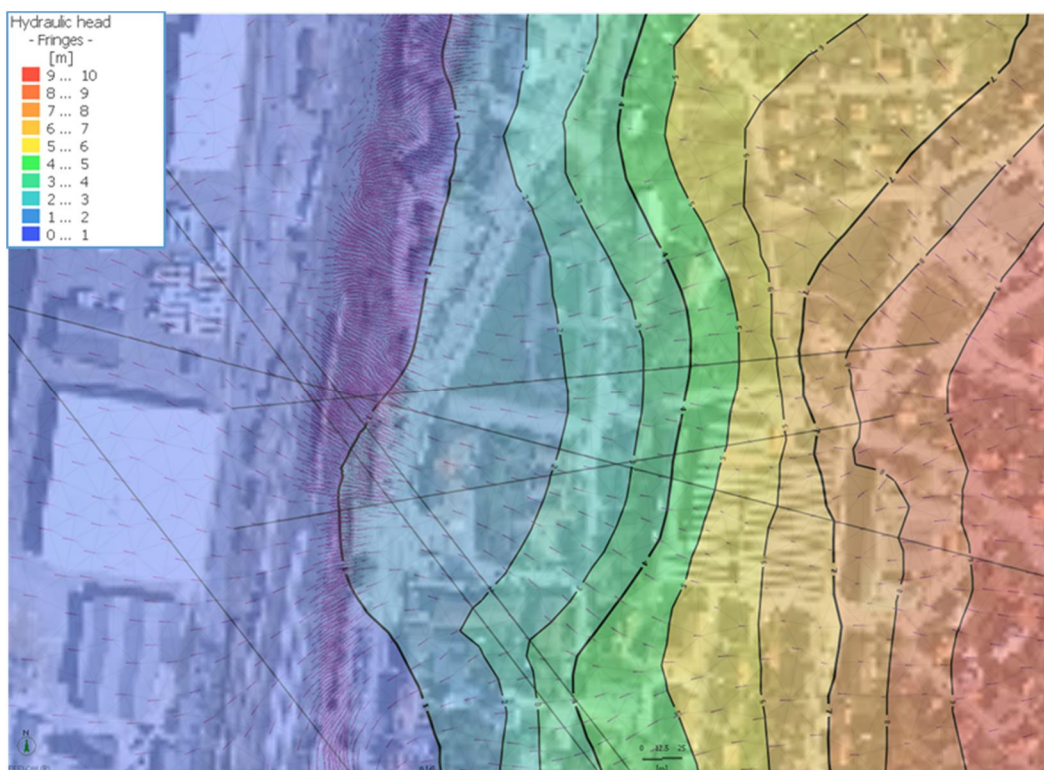
- Jordlagren väster om Renen 13 bedöms vara mycket heterogena och som helhet måttligt genomsläppliga. Material som förekommer är sand, silt, sandig morän och inslag av lera.
- Kontaktzonen jord/berg bedöms ha en begränsad mäktighet, ca 1 m, men förhållandevis hög genomsläpplighet.
- Berget bedöms överlag vara måttligt genomsläppligt, emedan den övre berghorisonten bedöms vara mer genomsläpplig jämfört med berget på något större djup.

Den huvudsakliga grundvattenströmningen bedöms därmed ske i den mer genomsläppliga kontaktzonen mellan jord och berg.

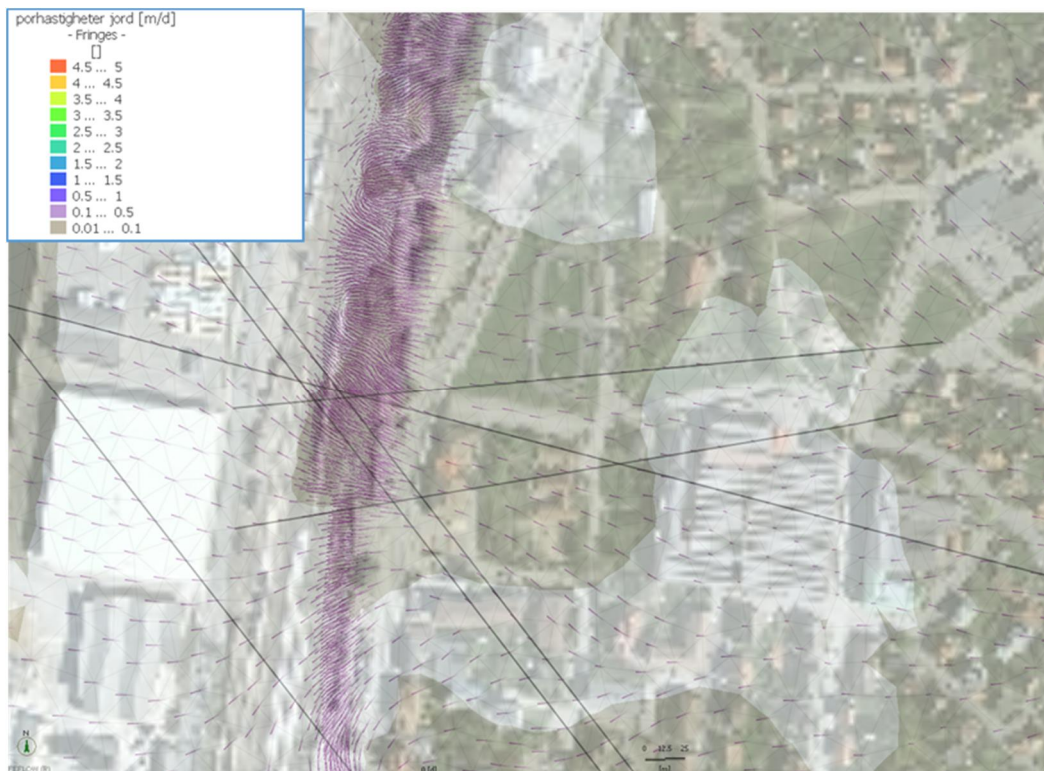
Tryckgradienter och porhastigheter hämtade ur Feflow-modellen baserat på en porositet på 5 % i jord och 0,5 % i berg visas i Figur 4-6 till Figur 4-9 . Resultaten visar på en relativt jämn tryckgradient mot havet vid opåverkade förhållanden i både jord- och berglager. Då kontaktzonen mellan jord och berg korsar flera beräkningslager i modellen och inte utgör en sammanhängande enhet inom ett enskilt beräkningslager visas inga bilder i plan över beräknade tryckgradienter och strömningshastigheter för denna zon.

Beräknade porhastigheter varierar mellan mycket låga hastigheter på 0,01 – 0,1 m/d i jordlagren till något högre 0,1-0,5 m/d i det övre berget. I sprickzonerna noteras dock hastigheter på mellan 0,5 och 1 m/d i berglagren. I kontaktzonen mellan jord/berg ligger de beräknade porhastigheterna mellan ca 0,1 och 0,2 m/d.

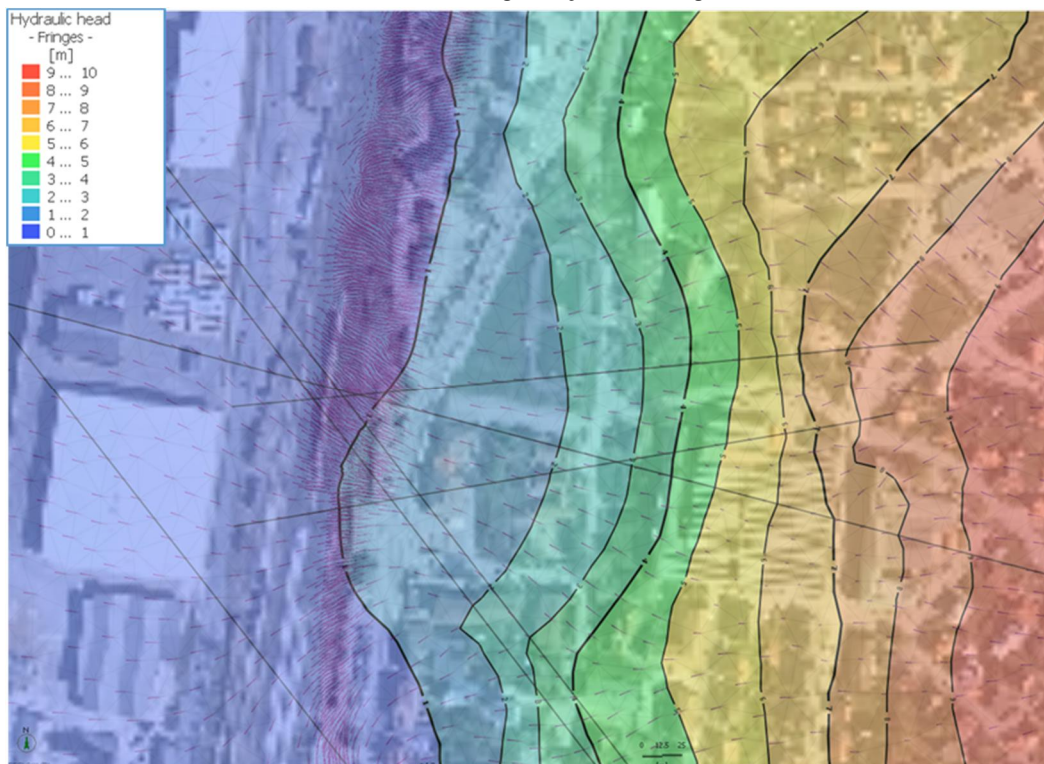
Vattenomsättningen i jordlagren har utifrån modellresultaten bedömts ligga i intervallet 0,2 till 2 l/min och 100 m i jordlagren och mellan ca 0,4 och 1,7 l/min och 100 m i det övre berget (ca 10 m).



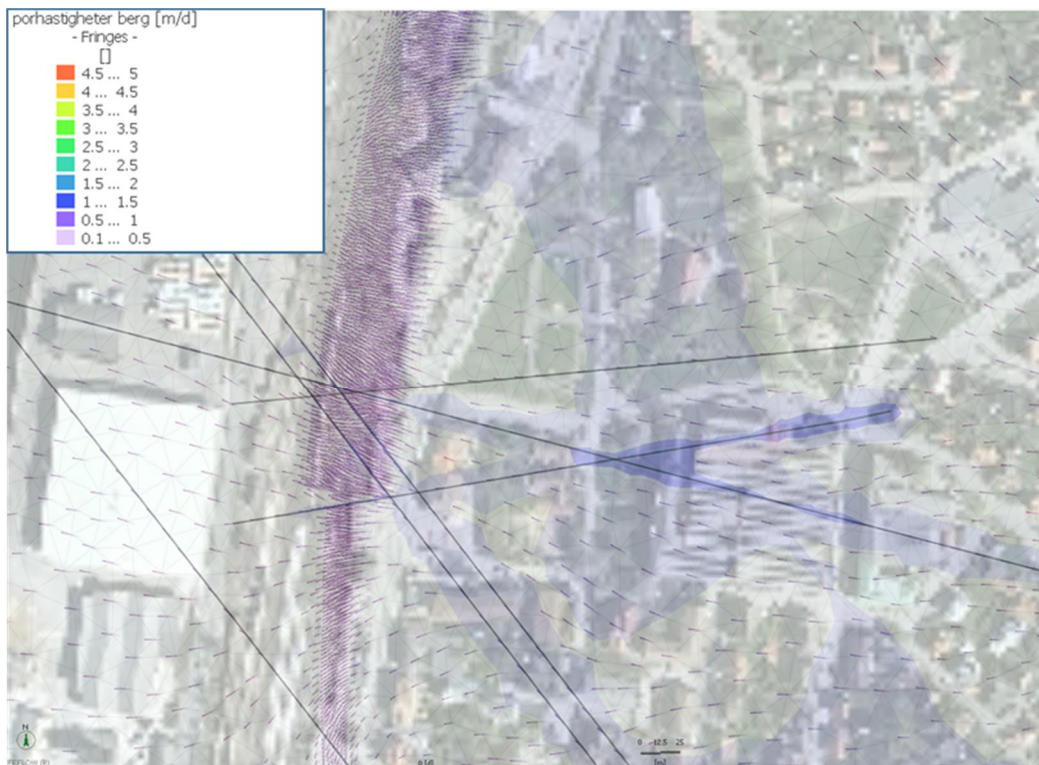
Figur 4-6. Beräknade trycknivåer [möh] och tryckgradienter i jordlagren för opåverkade förhållanden. Lila vektorer visar flödesriktning i varje beräkningselement.



Figur 4-7. Beräknade porhastigheter [m/d] och strömningsriktning i jordlagren för opåverkade förhållanden. Lila vektorer visar flödesriktning i varje beräkningselement.



Figur 4-8. Beräknade trycknivåer [moh] och tryckgradienter i övre berglagren för opåverkade förhållanden. Lila vektorer visar flödesriktning i varje beräkningselement.



Figur 4-9. Beräknade porhastigheter [m/d] och strömningsriktning i övre berglagren för opåverkade förhållanden. Lila vektorer visar flödesriktning i varje beräkningselement.

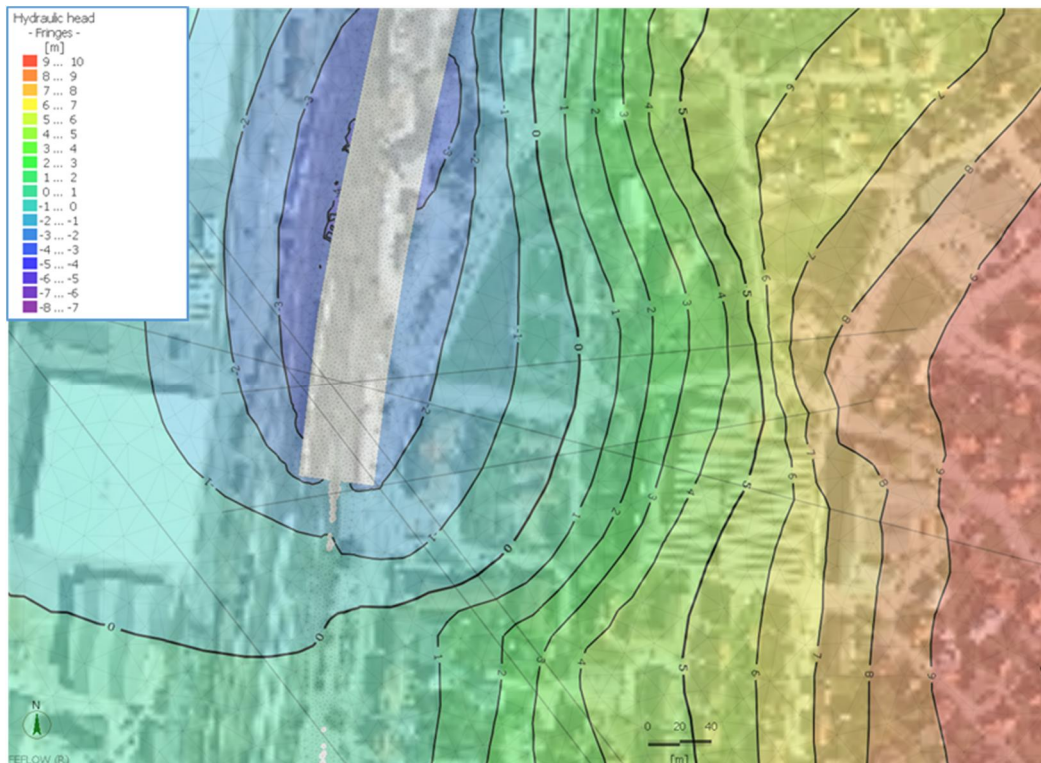
4.2.2. I samband med grundvattensänkning vid anläggningsarbeten

Vid anläggande av trågschakt, spont och betongtunnel sänks grundvattenytan vilket påverkar gradienter, strömningsriktningar och porhastigheter. Tryckgradienten ökar kraftigt i nära anslutning till tråget men är relativt opåverkade vid kvarteret Renen. De beräknade porhastigheterna i jordlagren beräknas öka till mellan 0,1 och 0,5 m/d i nära anslutning till tråget. Stor del av transporten sker i kontaktzonen mellan jord/berg där de beräknade porhastigheterna ligger mellan ca 0,2 och 0,5 m/d. I de övre berglagren sker en ökad transport i sprickzonerna och beräknade porhastigheter ökar till upp mot 5 m/d lokalt.

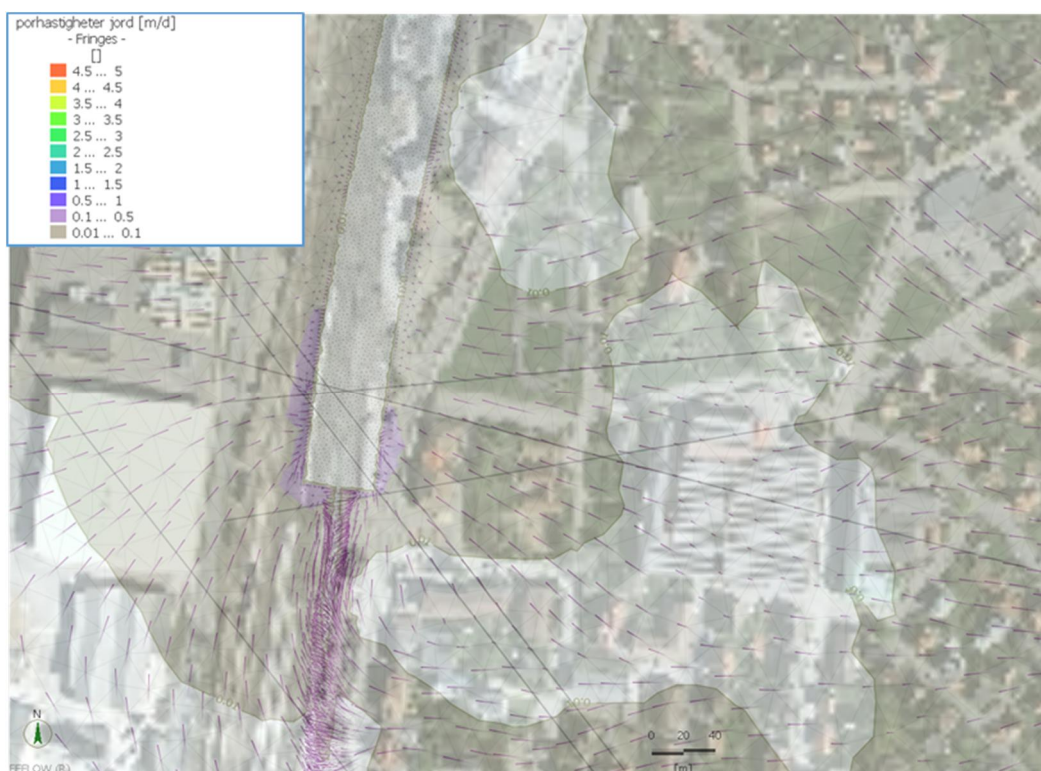
Under byggskedet bedöms gradienten öster om schakten, inom föroreningsplymen från källområdet ut mot trågschakten, uppgå till ca 3%, baserat på den numeriska modellen. I schaktens direkta närhet kan tryckgradienter uppemot 10-15% förväntas.

Vattenomsättningen ökar till följd av ökad gradient och ökade hastigheter i byggskedet. I jordlagren bedöms vattenomsättningen öka till mellan 1 och 5 l/min och 100 m och mellan ca 0,7 och 17 l/min/100 m i det övre berget (ca 10 m). Den högsta vattenomsättningen uppstår lokalt i sprickor.

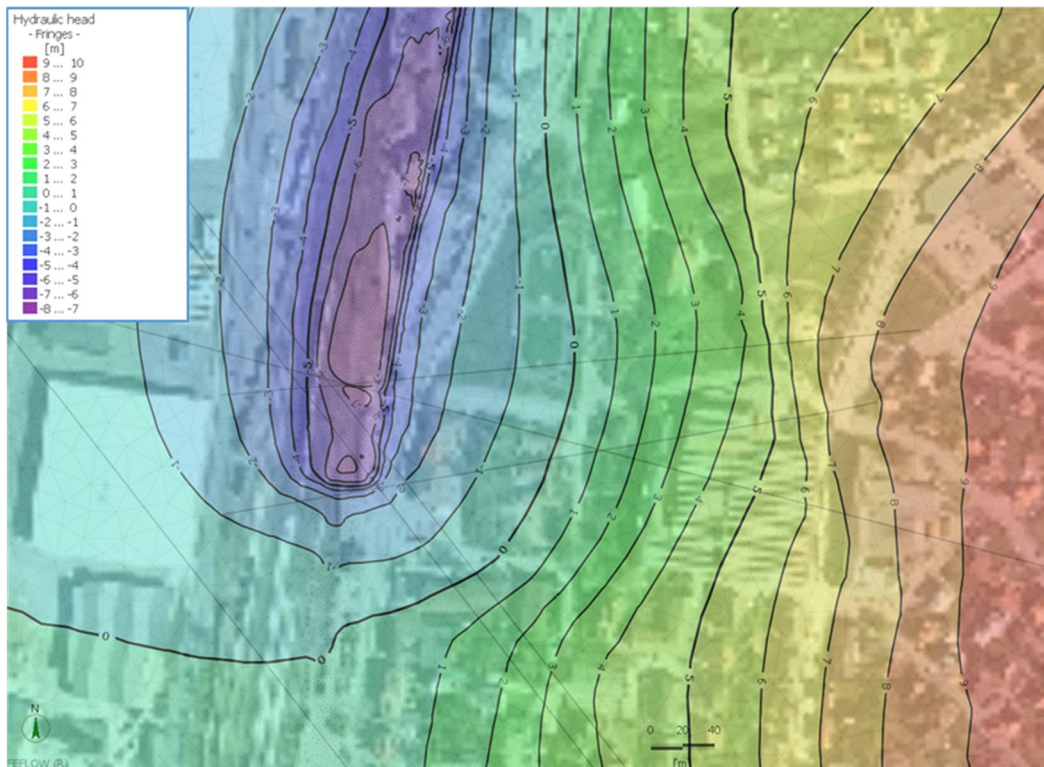
I Figur 4-10 och Figur 4-11 redovisas beräknade gradienter och beräknade porhastigheter i jordlagren under byggskedet. Motsvarande för det övre berget visas i Figur 4-12 och Figur 4-13. I Figur 4-14 visas en profil med vattenhastigheter.



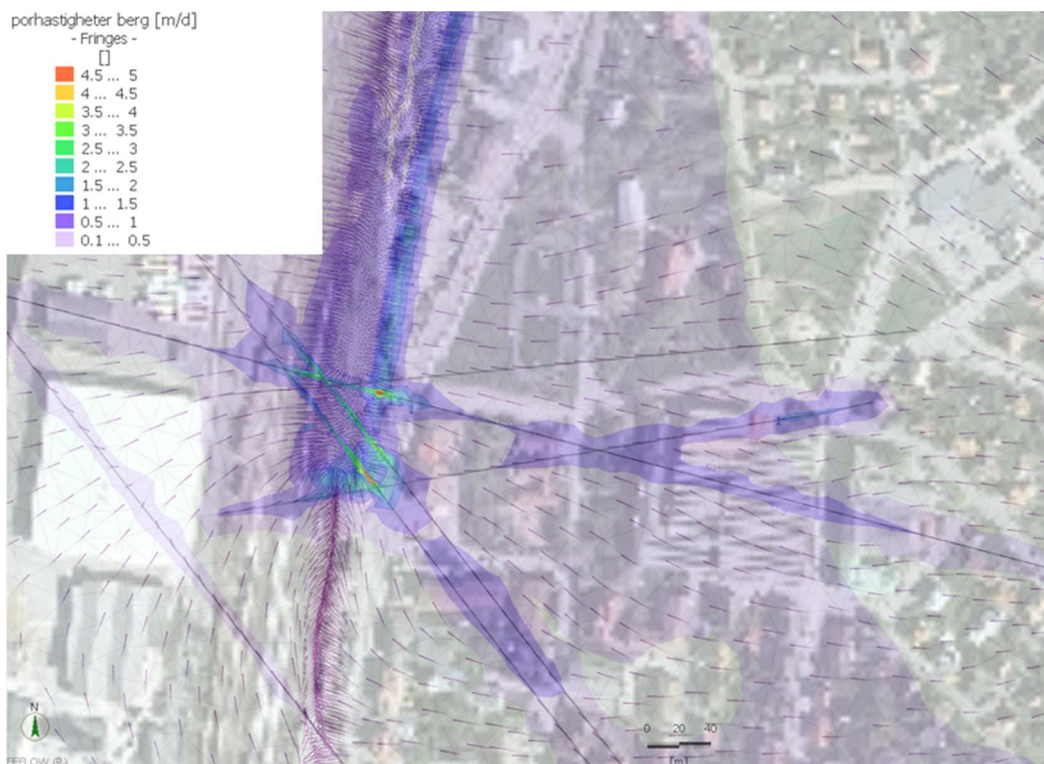
Figur 4-10. Beräknade trycknivåer [möh] och tryckgradienter i jordlagren i byggskedet. Det grå fältet visar trägschakten i jordlagren.



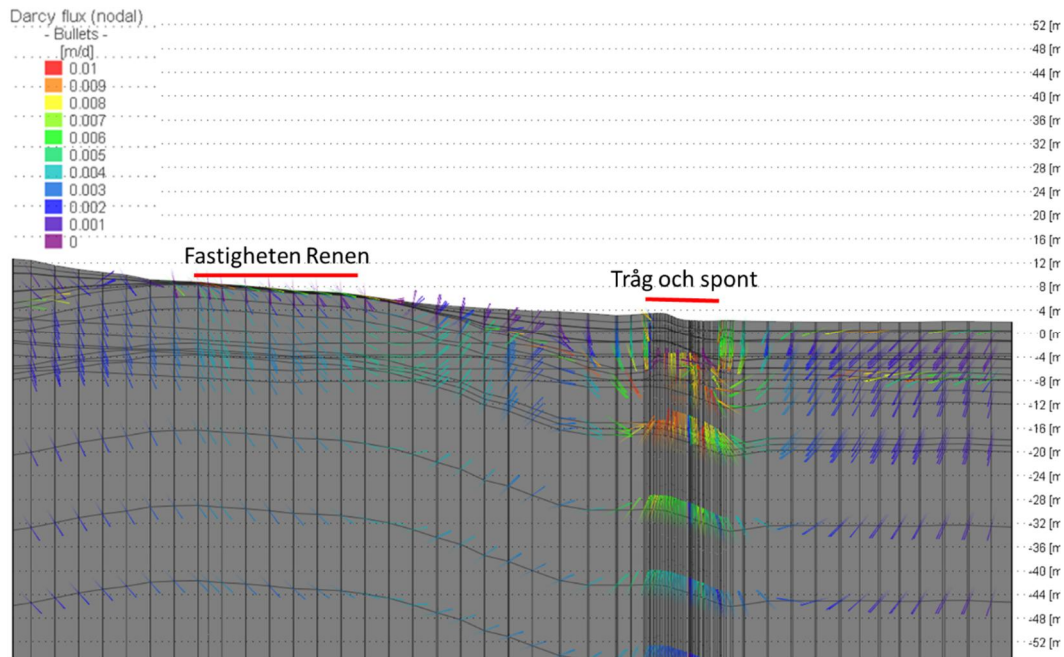
Figur 4-11. Beräknade porhastigheter [m/d] och strömningsriktning i jordlagren i byggskedet. Lilla vektorer visar flödesriktning i varje beräkningselement. Det grå fältet visar trägschakten i jordlagren.



Figur 4-12. Beräknade trycknivåer [moh] och tryckgradienter i övre berglagren i byggskedet.



Figur 4-13. Beräknade porhastigheter [m/d] och strömningsriktning i övre berglagren i byggskedet. Lila vektorer visar flödesriktning i varje beräkningselement.



Figur 4-14. Beräknade vattenhastigheter [m/d] och strömningsriktning (Darcy hastigheter) i Profil 3 under byggskedet. Observera att hastigheterna i jord skall divideras med en porositet på 0,05 och i berg med en porositet på 0,005 för att motsvara porhastigheter.

4.2.3. Driftskede

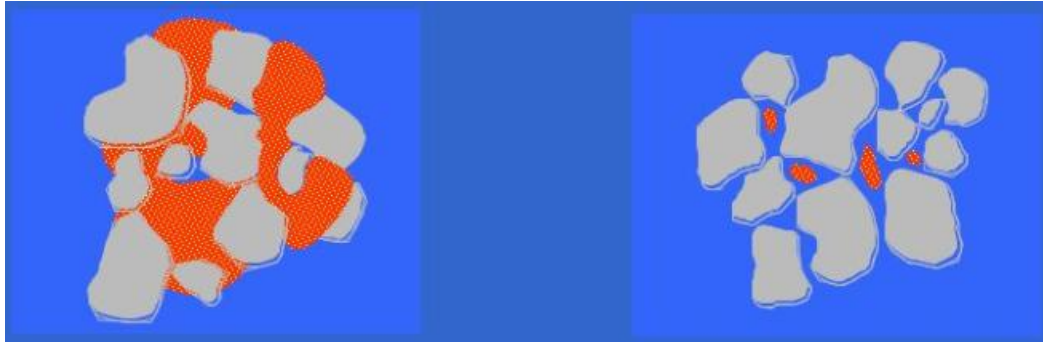
Tråget och dess kringfyllning kommer att utformas på ett sådant sätt att ingen grundvattenpåverkan ska föreligga i driftskedet. Detta innebär således att de naturliga tryckgradienter som råder idag ska komma att återetableras i området i driftskedet.

4.3 Aktuella föroreningars egenskaper och mobilitet

4.3.1. Fysikalkemiska egenskaper och mobilitet

Klorerade lösningsmedel är relativt lågviskösa, ungefär som vatten, och har en densitet som är högre än 1 kg/dm^3 varför de sjunker i vatten under lugna förhållanden, förutom vinylklorid som uppträder som gas. Fysikaliska/kemiska data för ett antal klorerade lösningsmedel har sammanställts i Naturvårdsverket 5663, 2007. Ämnena är lågt till måttligt vattenlösliga (något g/l), flyktiga och vattenavvisande (hydrofoba). Sorptionen av klorerade lösningsmedel i jord är direkt korrelerad till andelen organiskt material i jorden (Naturvårdsverket 5663, 2007). Rent grundvatten ovan förorenad jord fungerar som vattenlås och minskar ångavgången från djupare liggande förorenade jord- och grundvattenvolymer (Structor 2010). Detta kan således minska risken för ångavgång in i byggnader.

På grund av den höga densiteten kan klorerade lösningsmedel i fri fas sprida sig relativt fort på djupet. Efterhand som spridningen fortlöper kommer den sammanhängande fria fasen att fragmenteras och övergå till en form som brukar kallas residual fri fas. Detta innebär att mindre, icke sammanhängande, dropp-stora volymer av förorening i fri fas förekommer i jordens porsystem respektive bergets spricksystem, se Figur 4-15.



Figur 4-15. Principskiss som visar hur lösningsmedlet (orange) föreligger i porsystemet i marken, som sammanhängande fri fas (till vänster) respektive residual fri fas (till höger).

Det krävs att lösningsmedlet i fri fas har ett visst tryck för att lösningsmedlet ska kunna tränga in i jordporer och sprickor. Hur stort tryck som krävs beror bland annat på porstorleken. Por- och sprickstorlek minskar generellt med ökande djup vilket innebär att allt högre lösningsmedelstryck krävs för att tränga in i porer och sprickor. Trycket hos de klorerade lösningsmedlen ökar med djupet, men vid ett visst djup kan en balans uppstå som bromsar vidare transport av lösningsmedel på djupet. Så länge den fria fasen är sammanhängande kan den sprida sig till stora djup. När tillförseln av föroeningen minskar eller upphör kommer efterhand mängden av den sammanhängande fria fasen avta och allt större andel av föroeningen fastna i porsystemet som s.k. residual fri fas. Residual fri fas betraktas normalt som orörlig. För att flytta på den residuala fria fasen som ligger i porsystemet krävs att ett högt tryck skapas i det grundvatten som omger den residuala fria fasen. Experiment har visat på att det krävs en mycket stor grundvattentryckgradient för att förflytta den residuala fria fasen. Efterhand som grundvatten passerar förbi den residuala frifasen (som i den högra delen av Figur 4-15) löses det dock ut föroeningar i grundvattnet, varför den residuala frifasen ändå bidrar till fortsatt spridning av föroeningar, men i löst fas (Freeze och McWhirtle, 1997; USEPA, 1996; ITRC, 2000).

Om den fria fasen av lösningsmedel som rör sig nedåt stöter på ett tätare material där föroeningen ej kan fortsätta röra sig nedåt i någon större omfattning, kan en ansamling av föroening i fri fas uppstå. Sådana ansamlingar kan uppstå i exempelvis svackor i bergöverytan. Sådana ansamlingar kan betraktas som mobila och kan vid förändrade grundvattenflöden och tryckgradienter ge upphov till fortsatt spridning av föroeningar i fri fas till dess att den samlade volymen blir så liten att föroeningen fastnar i porsystemet som residual fri fas.

4.3.2. Nuvarande förhållanden

Tidigare efterforskningar och bedömningar indikerar att utsläpp av klorerade lösningsmedel kan ha skett fram till 2003 (NIRAS, 2008). Till dags dato har således ca 13 år passerat sedan det senaste utsläppstillfället. Eftersom klorerade lösningsmedel har hög densitet sjunker de, som tidigare nämnts, relativt snabbt så länge en sammanhängande volym fortfarande förekommer.

Resultatet från de undersökningar som har genomförts inom Renen 13 och dess närområde sammanfattas i principskisser över föroeningsutbredningen i Figur 4-16 och Figur 4-17.

Vid järnvägsområdet uppvisar grundvattnet i ytliga jordlager låga eller inga halter av klorerade lösningsmedel. Grundvattnet i djupare jordlager uppvisar måttliga halter av klorerade lösningsmedel. Öster om spårområdet ökar halterna av klorerade

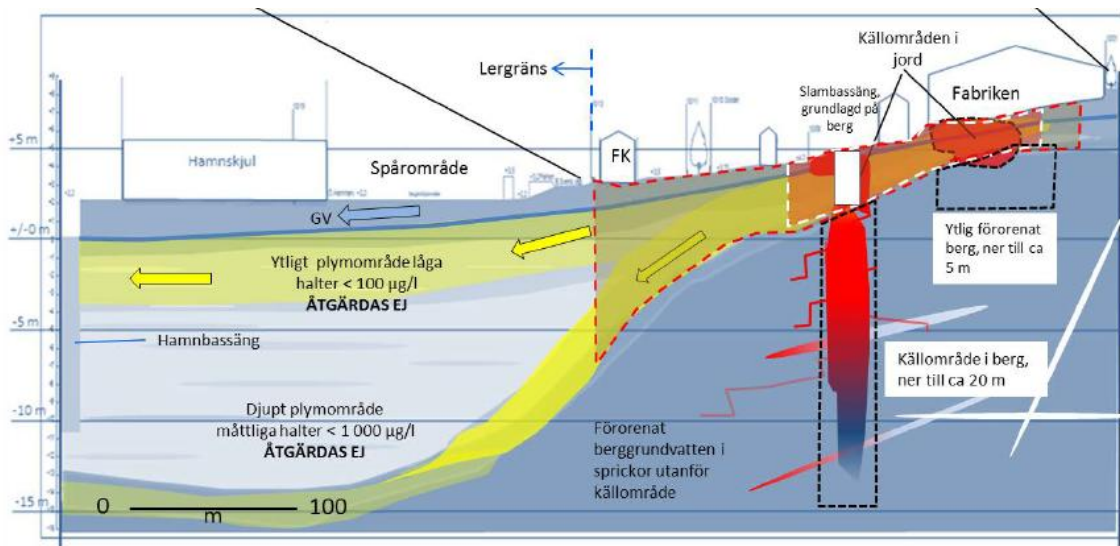
lösningsmedel i grundvattnet i riktning mot Renen 13 där, i anslutning till källområdet, mycket höga halter påträffats i grundvattnet i både jord- och berglager.

Eftersom bergövertytan vid Renen 13 sluttar västerut, mot havet, är det högst sannolikt att den fria fasen av klorerade lösningsmedlen har rört sig nedåt i jordlagren inom källområdet tills de träffat på bergövertytan och därefter har den fortsatta transporten skett västerut, längs bergövertytan till allt större djup. Denna transport har rimligen fortgått tills den fria fasen blivit så utspridd att dess karaktär har övergått till residual fri fas. Spridning har även skett till större djup i berget, via sprickor. Tidigare utredningar har indikerat att föroreningarna har tagit sig till ett djup av ca 20 m (Structor, 2014). Resultat från tidigare undersökningar visar att föroreningsutbredningen och föroreningsspridningen av klorerade lösningsmedel i berggrundvattnet är komplex eftersom denna spridning styrs av bergsprickornas riktning och konnektivitet.

Den residuala fria fasen är, som tidigare nämnts, i princip orörig. Däremot har fortsatt spridning av förorening i löst fas skett via grundvattnet. Dessa lösta föroreningar utgör de föroreningsplymer som visualiseras i Figur 4-16 och Figur 4-17, som är hämtade från tidigare utredningar.



Figur 4-16. Tidigare tolkning av föroreningsutbredning i plan i närområdet kring kvarteret Renen (Structor, 2011).



Figur 4-17. Konceptuell modell av källområden för klorerade lösningsmedel i jord och berg (Structor, 2015).

4.4 Riskscenarier samt tänkbara effekter av planerad schakt

I inledningskapitlet gavs några exempel på vilka riskscenarier som skulle kunna uppstå om järnvägsschakten skall utföras innan föroreningen inom kvarteret Renen 13 har efterbehandlats. Som huvudgrupper av risker kan följande nämnas:

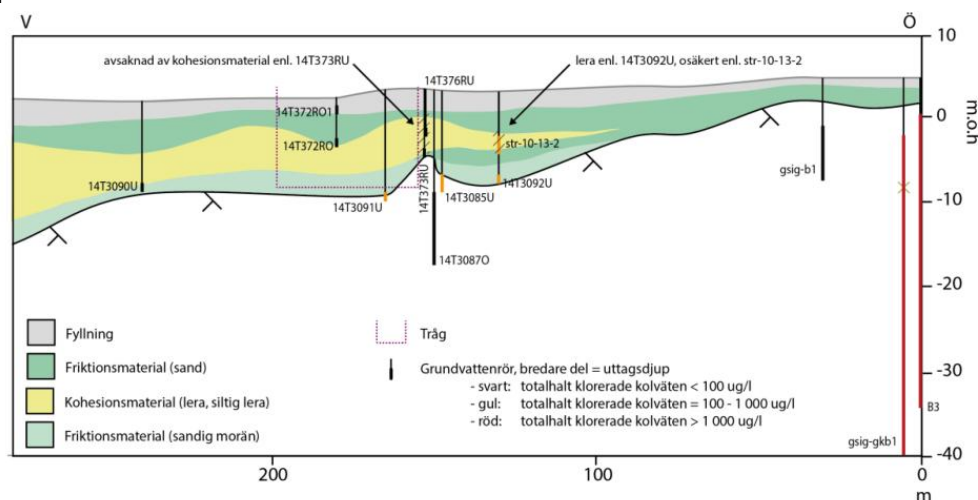
- Att föroreningshalterna i grundvatten och luft skall bli högre än idag och påverka människor i området under och efter schakten för järnvägen
- Att föroreningar finns i mobil fri fas som kan befaras flytta på sig
- Att höga föroreningshalter i grundvatten och luft skall leda till arbetsmiljöproblem under schaktningsarbetena och för verksamma i området
- Att föroreningsplymen i grundvattnet ökar i storlek eller ändrar riktning
- Att skador skulle uppstå på vattenmiljön
- Att efterbehandlingen inom kvarteret Renen 13 skulle påverkas/försvåras

De schaktarbeten som skall göras nedströms kvarteret Renen 13 kan inte utföras utan att grundvattenytan avsänks kraftigt. Med hänsyn till att grundvattenavrinningen efter genomförda arbeten, enligt förutsättningarna, skall återgå till tidigare storlek och riktning kan permanenta tätningsåtgärder inte tillämpas. Följden av detta blir att grundvattenytan kommer att sänkas av nedströms och i viss mån upp mot förorenings källområde. Detta medför att grundvattenavrinningens hastighet mot järnvägsområdet kommer att öka påtagligt under byggfasen. Efter avslutad byggfas kommer avrinningen återgå till förhållanden som rådde före bygget. Vilka effekter dessa förändringar i grundvattensystemet bedöms medföra på föroreningsområdet och föroreningskällan diskuteras i det följande. De två situationer som tas upp för diskussion är de inledningsvis nämnda fallen; "Anläggningsarbeten utan föregående efterbehandling – Alternativ 1" samt "Anläggningsarbeten efter viss efterbehandling i form av urschaktning av förorenad jord – Alternativ 2".

4.4.1. Effekter av förändrad gradient och grundvattenströmning i samband med anläggningsarbeten utan föregående efterbehandling – alternativ 1

Diskussioner kring klorerade föroreningars mobilitet i tidigare kapitel visar på att så länge huvuddelen av föroreningarna föreligger i så kallad residual fri fas kan risken för att förflytta dessa föroreningar bedömas som mycket liten, även vid en ökad hydraulisk gradient. De gradienter som skulle krävas för att förflytta den residuala fria fasen är högre än de gradienter som grundvattensänkningen i samband med schaktarbetena kommer att ge upphov till. Detta stöds av flera s.k. "pump and treat" försök under de senaste 30 åren som visar att kraftig pumpning inom området för föroreningskällan generellt sett inte är en effektiv metod för att mobilisera och avlägsna residuala fria fas av klorerade lösningsmedel. Det finns flera exempel på "pump and treat" försök som har varit igång i över 20 års tid utan att lyckas sanera större mängder av lösningsmedel i fri fas, samtidigt som de pumpar upp enorma mängder av vatten som har låga halter av löst förorening. Av bland annat denna anledning kan det finnas skäl att påbörja pumpning i de, i systemhandlingen föreslagna, djupare bergbrunnarna nedströms Renen innan schakten påbörjas. På så sätt kan kunskap erhållas om hur vattenbehandlingsutrustningen skall dimensioneras och behandling påbörjas.

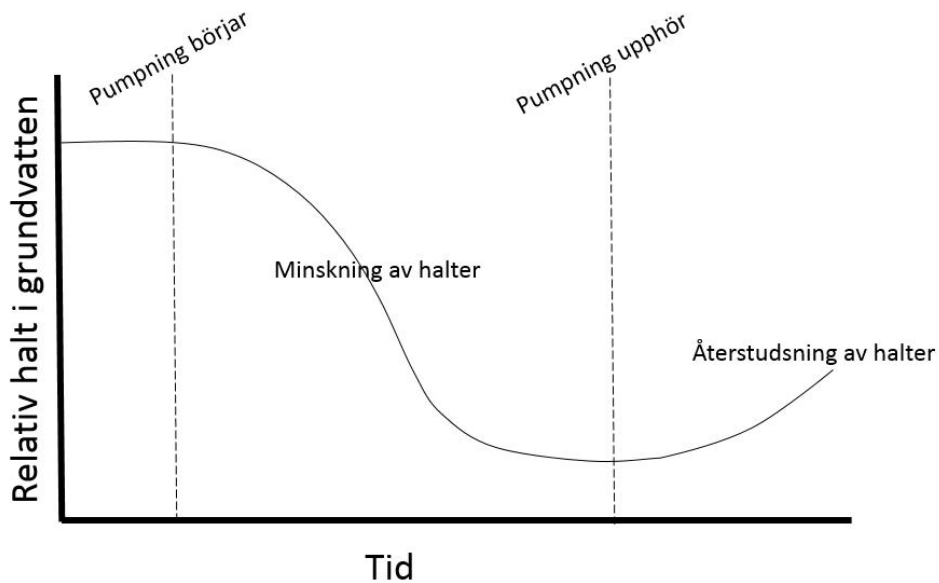
Dock kan det inte helt uteslutas att det föreligger sammanhängande, potentiellt mobil, fri fas i exempelvis mindre svackor i berget, även om något sådant inte påträffats i de undersökningar som har genomförts. Sådana sammanhängande föroreningsvolym kan ge upphov till viss transport av föroreningar i fri fas, vid exempelvis de ökade gradienter och grundvattenflöden som uppstår i samband med byggskedet. Denna situation, som tillfälligt kan ge upphov till högre halter i det vatten som tas ut och behandlas, kan vara en fördel att i förväg vara förberedd på så att behandlingskapaciteten kan anpassas. Utifrån befintlig bergmodell kan en svacka i bergytan strax öster om träget skönjas, Figur 4-18. Borrningar har dock skett i detta område utan att fri fas har upptäckts eller att föroreningshalterna varit i närheten av värden som skulle indikera fri fas i punkternas närhet.



Figur 4-18. Tolkad jordlagerföljd, bergövertya samt föroreningshalt i grundvattnet, längs en sektion som sträcker sig från Renen 13 förbi träget mot havet.

Även om den residuala fria fasen ligger förhållandevis orörlig i por- och spricksystem, är den del av föroreningen som föreligger som löst fas i grundvattnet lättörlig och denna föroreningsplym kommer att påverkas i hög grad av grundvattensänkningen i samband med anläggningsarbetena. Ett vanligt förlopp i dessa sammanhang är att halterna av föroreningar i det uppumpade vattnet inledningsvis kommer motsvara de halter som har

uppmätts i plymen idag. Efterhand som pumpningen fortskrider och vattnet i markens porsystem omsätts kommer föroreningshalterna i det uppumpade grundvattnet att sjunka. Detta är en följd av att kontakttiden mellan grundvattnet och de föroreningar som föreligger i residual frifas minskar vid den ökade vattenomsättningen och de ökade vattenrörelserna i marken. På så sätt löses inte föroreningarna ut i grundvattnet i samma utsträckning. Även om halterna avtar kan dock den totala transporterade mängden föroreningar öka, jämfört med opåverkade förhållanden, eftersom en betydligt större mängd grundvatten är i rörelse. När sedan grundvattenströmningen återgår till det normala, kommer föroreningshalterna sannolikt att öka något igen, till följd av kontakttiden mellan grundvatten och förorening i residual frifas återställs. Detta förlopp åskådliggörs i Figur 4-19.



Figur 4-19. Relativ halt av klorerat lösningsmedel i uppumpat grundvatten (USEPA, 1994).

Eftersom den beskrivna, forcerade genomströmningen kommer att pågå under lång tid, bedömningsvis ca 6 år, kommer dock en relativt stor del av föroreningen att följa med från området i löst fas och behandlas innan den släpps ut. Kvarvarande halter av förorening i löst form nedströms föroreningskällan kommer därför minska i det skede då järnvägen kommer in i driftfasen, jämfört med förhållandena före byggskedet.

4.4.2. Effekter av viss efterbehandling i form av urschaktning av förorenad jord – alternativ 2

Föroreningarna som finns i jorden bedöms endast utgöra några procent av den totala mängden utsläppt lösningsmedel (Structor, 2014). Den största delen klorerade lösningsmedel återfinns, enligt nämnda utrednings tolkning, i bergets spricksystem, vilket i sådant fall innebär att urschaktning av förorenad jord skulle ha förhållandevis liten betydelse för spridningsriskerna. Källområdena inom Renen 13 är ej väl undersökta, varför det är svårt att i detalj bedöma hur stor effekt en efterbehandling av jordlagren kan ge.

En urschaktning av förorenade jordmassor kan tänkas medföra att de minskande halter som kommer att råda efter en tids pumpning, kommer att vara något lägre jämfört med alternativ 1. Vidare kan man förvänta att de tilltagande halterna efter avslutad pumpning (se Figur 4-19) inte kommer att öka fullt lika mycket.

Sammanfattningsvis torde tidpunkten för när jordsaneringen inom källområdet görs ha begränsad betydelse för förhållandena vid trågschakten. För järnvägens driftskede, i det längre perspektivet, är det dock av betydelse att jordsaneringen genomförs så snart det är möjligt.

4.5 Alternativ 1, Renen 13 ej efterbehandlad – risker och konsekvenser

4.5.1. Byggskede

Enligt tidigare resonemang är det troligt att merparten av föroreningarna föreligger i form av s.k. residual fri fas, förutom den del som är löst i vatten. I residual fri fas krävs mycket stora hydrauliska gradienter för att flytta på föroreningar i nämnda form, vilket innebär att risken för sådan transport är liten. Som exempel kan nämnas att i sprickor med en vidd av 1 mm krävs en gradient på ungefär 1,0 för att flytta på residual fri fas (Longino BL, 1998). Enligt gjorda beräkningar kommer gradienterna invid trågschakten som mest uppgå till ungefär 0,15 och i källområdet < 0,05. Det är med andra ord högst osannolikt att föroreningar i residual fri fas, i synnerhet i källområdet, skulle påverkas av grundvattensänkningen i trågområdet.

Det kan dock inte helt uteslutas att det kan förekomma sammanhängande föroreningsvolymmer i fri fas i källområdet, vilka i så fall kan betraktas som potentiellt mobila, exempelvis under fabriksbyggnaden. Vid den omfattande pumpning som kommer att krävas, med en påtaglig grundvattensänkning i området som följd skulle, vid vissa betingelser, sådana sammanhängande föroreningsvolymmer kunna komma att röra på sig. En sådan spridning skulle kunna påverka den kommande efterbehandlingen av kvarteret Renen på ett sådant sätt att ett större område kan behöva efterbehandlas. Kompletterande undersökningar/utredningar av källan, som Varbergs kommun kommer låta genomföra, förväntas att bidra till att bättre kunna bedöma eventuella risker för detta. I nuläget finns det dock, utifrån tillgängliga utredningar, inget som påvisat att det skulle finnas mobil fri fas i källområdet, även om mycket höga halter i löst fas påträffats.

Den bergmodell som har tagits fram indikerar att det kan finnas en svacka i berget strax öster om trågschakten. Sådana svackor kan utgöra potentiella riskområden för ansamling av klorerade lösningsmedel i fri fas. Det kan finnas skäl att undersöka vilka sådana potentiella riskområden som finns för att klarlägga hur en eventuell sådan frifaspool på bästa sätt skall tas om hand före schaktarbetenas start. De undersökningar som gjorts hittills i aktuellt område, visar dock, som nämnts, inte några tecken på att det skulle finnas någon ansamling av klorerade alifater på bergytan.

Föroreningsplymen, där klorerade lösningsmedel föreligger i löst form i grundvattnet sträcker sig redan idag i västlig riktning. Vid kraftig pumpning kommer vattnet i plymen att transporteras i samma riktning som idag men med högre hastighet.

Grundvattensänkningen kommer att ske längs en lång sträcka (tråg och betongtunnel), vilket, om inga åtgärder vidtogs, skulle kunna innebära en risk för att föroreningsplymen breddas jämfört med nuvarande förhållanden om inte flödet tydligt styrs i nuvarande avrinningsriktning. Om grundvattensänkningen vid trågschakten direkt väster om Renen 13 är större än grundvattensänkningen i övriga delar av schakten kommer denna risk att minimeras och grundvattenflödet och därigenom förorenings-spridningen kommer att koncentreras i rakt västlig riktning, d.v.s. samma riktning som spridningen av föroreningsplymen har idag. Av detta skäl kommer därför de grundvattensänkande

åtgärderna utformas på ett sådant sätt att grundvattensänkningen är som störst direkt väster om Renen 13, för att därigenom styra och kontrollera transporten av föroreningsplymen. Det bör nämnas att transport av föroreningsplymen skulle ske även om den planerade efterbehandlingen av Renen 13 var genomförd, eftersom det i huvudsak är källan som kommer att åtgärdas, ej föroreningsplymen i grundvattnet.

När grundvattennivån sjunker minskar också det "vattenlås" som rent grundvatten kan liknas vid, vilket ökar möjligheten för ångtransport av klorerade lösningsmedel från förorenad jord, frifas och förorenat berggrundvatten. Halterna i jord inom kvarteret Renen 13 bedöms överlag som låga och därmed risken som låg för ökad inträngning av ånga från jord. Om fri fas friläggs från vatten kan det innebära ökad avgång till luft och därmed ökad risk för ånginträngning i byggnader. Eftersom det ytliga grundvattnet, i sig, inte är helt fritt från föroreningar sker en viss ångavgång från vattnet även under nuvarande förhållanden. En avsänkt grundvattenyta innebär ökat avstånd mellan markytan och det förorenade grundvattnet och kan på så sätt också ge en viss positiv effekt som möjligen kompenserar för ett "tunnare vattenlås". Den ökade vattenomsättningen i området som grundvattenbortledningen i schakten kommer ge upphov till medför också att nytt, rent grundvatten förs in i de övre marklagren i källområdet och ger ett tryggare vattenlås.

Föroreningshalterna i de övre jordlagren nedströms källområdet är generellt låga. Den grundvattensänkning som kommer att ske i detta område, som en följd av grundvattenbortledningen i trågområdet under byggtiden, bedöms därför inte ha någon påtaglig negativ inverkan avseende möjlig ångavgång från kvarvarande föroreningar, dels för att föroreningarna ligger djupare, dels för att halterna, som nämnts är låga. Beträffande riskerna för ångavgång till byggnader utanför nuvarande plymområde bedöms dessa inte öka, utan snarare minska, eftersom plymen kommer att styras tydligare i rådande västlig riktning genom föreslagen pumpning.

Beträffande konsekvenser för efterbehandlingen av källområdet, om denna skulle behöva ske under trågets byggskede, se vidare nedan, under "Diskussion och slutsatser".

4.5.2. Driftskede

Eftersom ingen transport av föroreningar i fri fas kan förväntas, är det endast transporten av föroreningsplymen som har betydelse för driftskedet. Genom den omfattande pumpning som har gjorts i byggskedet, kommer en viss urtvättning av markområdet mellan Renen 13 och tråget ha uppnåtts, vilket skulle kunna innebära att när kontakttiden mellan grundvattnet och föroreningarna i fri fas återgår till det normala, kommer föroreningshalterna i plymen endast att öka svagt-måttligt, för att sedan, när väl Renen efterbehandlats, åter sjunka. Med hänsyn till att minimera föroreningshalterna i grundvattnet som kommer att omge betongtråget så snart som möjligt är det dock en fördel om saneringen av källan inte dröjer allt för länge.

4.5.3. Behov av skyddsåtgärder och/eller andra förberedande arbeten

Innan anläggningsarbetena påbörjas föreslås, i likhet med vad som anges i systemhandlingen, att ett antal gradade bergborrade brunnar anläggs mellan Renen 13 och den planerade trågschakten, på ett sådant sätt att dessa skär de sprickzoner som bedöms förekomma. Genom att pumpa i dessa brunnar och provta grundvattnet kan en bättre bild av föroreningssituationen erhållas. Halterna i grundvattnet kan då bekräfta bilden av att merparten av föroreningarna föreligger i löst fas och residual frifas, och ej i mobil frifas. Om dessa brunnar sedan pumpas en längre tid innan anläggningsarbetena påbörjas kommer detta medföra att föroreningsnivån i grundvattnet vid pumpning i/vid

schakterna kan begränsas, på så sätt att grundvattnet i föroreningsplymen till viss del redan är omhändertaget, och sannolikt kan halterna då redan ha börjat avta något innan schaktningen för träget påbörjas, mot bakgrund av det förlopp som tidigare visualiserats i Figur 4-19.

Om inte, så som förväntat enligt tidigare resonemang, någon betydande transport av föroreningar i fri fas kommer att föreligga innebär detta att riskbilden i huvudsak är förknippad med den del av föroreningen som föreligger som löst fas i grundvattnet. I sådant fall torde riskerna med avseende på arbetsmiljö i samband med anläggningsarbetena ej vara påtagligt annorlunda jämfört med om Renen 13 vore efterbehandlad. Inga ytterligare skyddsåtgärder med avseende på arbetsmiljö än vad som redan har planerats bedöms därmed behövas. Beträffande arbetsmiljön i de byggnader som ligger nedströms källområdet; förskolan och Försäkringskassan, föreslås fortlöpande kontroll av luftmiljön samt att ett förberedande förslag tas fram för hur ventilationen i dessa byggnader, vid behov, skulle kunna byggas om. Förskolan har redan idag en konstruktion med luftad grund som förhindrar att ångor från mark når upp i lokalerna.

4.6 Alternativ 2, Renen 13 delvis efterbehandlad – risker och konsekvenser

4.6.1. Byggskede

Som nämnts i tidigare kapitel bedöms en urschaktning av jord ha förhållandevis liten betydelse för spridningsriskerna, varför resonemangen i kapitel 4.5 i stort bedöms gälla även för detta fall. Om det skulle visa sig att jordvolymerna under byggnaderna inom källområdet har betydande innehåll av föroreningar så innebär självfallet en bortschaktning av dessa massor en fördel. Detta dels med avseende på minskad ångavgång såväl inom källområdet som i plymen eftersom genomströmmande grundvatten då blir mindre påverkat vid passage.

4.6.2. Driftskede

Som nämnts i kapitel 4.4.2 skulle en efterbehandling i form av urschaktning av jord möjligen kunna medföra att föroreningshalterna, som annars tilltar då flödesförhållandena återgår till det normala, i detta fall endast öka måttligt när avsänkning i träget upphör och anläggningen går in i driftskedet. Om källområdet är till viss del efterbehandlat när järnvägsprojektet går in i driftskede är naturligtvis en fördel.

4.7 Bedömda konsekvenser – sammanfattning

Av de, i tidigare kapitel, uppräknade riskscenarierna och dess tänkbara effekter syns efter ovanstående analyser och bedömningar att sannolikheten i de flesta fall är liten, eller mycket liten att händelser skulle inträffa som kan ge tydliga negativa konsekvenser.

- Att föroreningshalterna i grundvatten och luft skulle bli högre än idag och påverka människor i området under och efter schakten för järnvägen är inte sannolikt eftersom grundvattnet sänks av och nytt friskt grundvatten dras in mot området. Samtidigt bortpumpas och renas vatten som har förhöjda halter av föroreningar i löst fas.
- Att föroreningar i mobil fri fas skulle finnas och röra på sig i samband med den grundvattenströmning som kommer att ske mot schakten är inte uteslutet. Även om mobil fri fas inte påträffats, vare sig i källområdet eller i plymen kan dock

möjligheten inte helt avfärdas. Eftersom lång tid gått sedan de sista utsläppen skedde bedöms ändå eventuella kvarvarande volymer av fri fas förorening vara små och endast komma att röra sig korta sträckor innan de splittras och läggs fast i porsystemet som residual fri fas. Inte ens i schaktens direkta närhet kommer gradienterna vara så stora att den residuala frifasen blir mobil.

- Att höga föroreningshalter i grundvatten och luft kan leda till arbetsmiljöproblem under schaktningsarbetena utgör en risk oavsett om kvarteret Renen 13 är efterbehandlat eller ej. Problemen bedöms dock som hanterbara, dels genom pumpstyrning och kontroll på så sätt att förorenat vatten omhändertas i brunnar under schaktbotten, dels att kontinuerlig övervakning av luft- och vattenkvalitet upprätthålls.
- Att föroreningsplymen skulle öka i omfattning eller ändra riktning bedöms inte som sannolikt eftersom gradienterna medvetet styrs med brunnar för att motverka detta. En förutsättning är självklart noggranna mätningar och uppföljning av grundvattennivåer i anslutning till schakten. För att säkerställa att plymens riktning upprätthålls även i driftskedet krävs tydlig styrning och kvalitetskontroll under byggskedet så att de konstruktionsdelar som skall hindra plymen från att gå i avvikande riktningar (täta skott och permeabel kringfyllning av tråget) utförs väl och får avsedd funktion. Dessa åtgärder och kontroller är nödvändiga även om föroreningsområdet vore efterbehandlat.
- Att skador skulle uppstå på vattenmiljön bedöms inte som sannolikt förutsatt att god och fortlöpande kontroll hålls på behandlat vatten som släpps ut i havet. Situationen avviker inte nämnvärt från det fall kvarteret Renen 13 skulle vara efterbehandlat.
- Att efterbehandlingen inom kvarteret Renen 13 skulle påverkas/försvåras om järnvägsschakten utförs innan efterbehandlingen är genomförd är inte uteslutet. Påverkan bedöms dock primärt bli en fråga om ökade energikostnader eftersom värme från den planerade termiska behandlingen avgår med genomströmmande grundvatten. Om efterbehandlingen inte kommer igång förrän järnvägsarbetena är avslutade uppstår inte detta problem.

I frågan om skillnader på konsekvenser för järnvägens byggande och drift mellan ett delvis efterbehandlat, respektive ett icke alls efterbehandlat källområde bedöms skillnaderna som små i byggskedet. För driftskedet är det dock en fördel om efterbehandlingen eller delar av efterbehandlingsarbetet genomförs så snart som möjligt.

I tidigare nämnd matris i Bilaga 1 sammanfattas hur risker och konsekvenser bedöms med hänsyn till föroreningarnas olika förekomstformer inom olika områden och i olika medier. Matrisen skall ses som en översikt över risker och konsekvenser men kan, på grund av dess kortfattande form, inte ge en fullständig bild som också tar hänsyn till alternativa bedömningar eller tolkningar av undersökningsresultat.

5 Diskussion och slutsatser

Genomförd utredning pekar på att en grundvattensänkning vid schakt för tråg väster om Renen 13 är hanterbar även om Renen 13 ej är efterbehandlad.

De potentiella problem som skulle kunna uppstå i samband med grundvattensänkning vid trågschakt väster om Renen 13, om källområdet ej är efterbehandlat, är bland annat

knutna till risken för att förflytta förorening i fri fas. De slutsatser som dras i detta PM är:

- Risken är mycket liten att det fortfarande skulle finnas mobil fri fas av föroreningarna inom det avstånd från schakten där de hydrauliska gradienterna blir så stora att föroreningen skulle kunna flytta på sig. Eftersom avståndet från källan är stort i relation till de mängder föroreningar som bedömts ha läckt ut under åren är sannolikheten liten att det skulle finnas pooler av fri fas i anslutning till järnvägsområdet efter mer än 13 år sedan senaste utsläpp av de aktuella ämnena.
- Residual fri fas skulle kunna finnas i svaghetszoner i berget och i gränsen jord/berg inom planerat järnvägsområde om flödena vid något tillfälle varit stort från källområdet och fri fas kunnat avrinna i distinkta svaghetszoner i bergöverytan och sedan på visst avstånd från källan fastnat som residual fri fas. Eventuella sådana förekomster av residual fri fas torde dock i första hand påträffas på större djup än vad trågschakten når och huvudsakligen förbli immobile även om kraftig pumpning utförs i bergbrunnar under schaktbotten, varför risk för transport av föroreningar i sådan form bedöms som liten. Förhöjda halter av föroreningen i löst form kan dock förväntas i uppumpat vatten från sådana brunnar. Det förorenade grundvattnet bedöms i huvudsak avledas via djupare brunnar och i mindre utsträckning via inläckage i schaktbotten. Även om nämnda förhöjda halter skulle förekomma i det uppumpade grundvattnet bedöms detta vara hanterbart med den reningsutrustning som kommer användas.
- De aktuella föroreningarna i löst form kommer att finnas i grundvattnet under hela byggskedet, troligen med successivt sjunkande halter. När källområdet väl har efterbehandlats och järnvägen kommit i driftskedet kommer halterna av föroreningarna kring det färdiga tråget så småningom stabiliseras på en relativt låg nivå.

Utöver möjliga risker och konsekvenser i samband med trågschakten bör också nämnas vilka konsekvenser som kan uppstå vid efterbehandlingen om trågschakten redan tagit sin början när efterbehandlingen skall utföras. Med ledning av vad som sagts tidigare bedöms riskerna vara begränsade att flytta på förorening i residual fri fas eller potentiellt mobil fri fas. Däremot kommer den ökade vattenomsättningen genom källområdet, som funktion av den ökade gradienten mot schakten, att medföra en kyleffekt inom källområdet när det skall behandlas termiskt. En grov överslagsberäkning pekar mot att en effektökning på ungefär 50 kW kan komma att behövas. Med ett el-pris på 1 kr/kWh skulle det innebära en extrakostnad på cirka 1 200 kr/dygn.

De detaljerade, inför saneringen förberedande undersökningar som Varbergs kommun planerar inom kvarteret Renen 13 kommer att bidra med ytterligare information om bland annat föroreningsmängder i källområdet. Sådan information kan ha betydelse för Trafikverket bland annat med hänsyn till kostnader för vattenbehandling under byggskedet.

Sammanfattningsvis tyder det mesta på att riskerna vid trågschakt i en situation innan föroreningarna vid kvarteret Renen 13 har efterbehandlats inte är påtagligt högre än vid en situation med föroreningsområdet i efterbehandlat skick. Detta innebär att de tillvägagångssätt och de försiktighetsåtgärder som tidigare beskrivits i systemhandlingen, avseende anläggande och drift av tråget i norr, fortfarande får ses

som tillämpbara även om efterbehandlingen av föroreningskällan vid Renen 13 inte hunnit genomföras före byggstart.

För att styrka de slutsatser som presenteras i detta kapitel föreslås vissa kompletterande undersökningar enligt nedanstående kapitel. Utfallet av dessa undersökningar förväntas inte påverka tillståndsansökan för vattenverksamhet utan undersökningarnas primära mål är att ge ökad beredskap avseende vattenbehandlingsåtgärder inför schaktningsarbetena.

6 Rekommendationer - fortsatta arbeten

Så som nämns ovan vore det värdefullt att genomföra vissa kompletterande undersökningar för att ytterligare öka säkerhet i de slutsatser som dras i detta PM. Vidare kan även förberedelser göras inför byggstart för att innan schaktning omhänderta en del av det förorenade grundvattnet, och minska denna hantering under schaktarbetena. En sådan förbyggande åtgärd är:

- Borra brunnar (i likhet med vad som föreslås i systemhandlingen) i sprickzoner i berget och lågpunkter nedströms kvarteret Renen 13, för att därefter pumpa dessa brunnar och registrera halt-utvecklingen av klorerade lösningsmedel. Detta bör med fördel göras så snart som möjligt och kan betraktas som både en undersökningsinsats men också, beroende på utfallet, som en mindre förberedande insats inför byggskedet, då man på detta sätt i tidigt skede kan omhänderta förorenat grundvatten i plymen enligt vad som beskrivs i kapitel 4.5.3.

Kompletterande undersökningsinsatser som med fördel kan genomföras, före byggstart, för att styrka och verifiera bedömningarna i detta PM är:

- Geofysiska mätningar i form av seismik och/eller mätning med slingram längs profiler utmed och parallellt med Birger Svenssons väg, samt i öst-västlig riktning norr och söder om Försäkringskassans kontor för att söka, dels svackor i bergytan, dels låghastighetszoner i berget, med syfte att studera om det förekommer områden där lösningsmedel i fri fas potentiellt skulle kunna ansamlas.
- Det vore mycket värdefullt om kommunens undersökningar av källan under fabriksbyggnaden genomförs så snart som möjligt för att klarlägga art, djup och omfattning av dessa föroreningar.

För att skapa möjligheter att närmare följa och prognosticera föroreningstransporten i området under bygg- och driftskede kan man överväga att utveckla en numerisk multifas transportmodell (vatten/lösningsmedel) för att simulera föroreningstransporten. Den modell som har använts i rapporten är utvecklad med syfte att studera grundvattenflöden och omgivningspåverkan i större skala, och är därmed inte optimal för att studera grundvattenströmning och föroreningstransport i mindre, lokal skala.

Ovan föreslagna åtgärder samt undersökningar och utredningar bör lämpligen genomföras i god tid före start av schaktningsarbetena för tråget så att erfarenheter kan erhållas avseende vilka halter och vilka mängder föroreningar som kan påräknas inför vattenbehandling och omhändertagande.

Föreningens läge och förekomstform	Föreningen finns i...	Grundorsak till problem	Anpassningar, val av byggmetoder och skyddsåtgärder inarbetade i järnvägsplan och systemhandling	Vad skulle kunna hända? Vad skulle påverkan bli?	Bedömd effekt/konsekvens Förtyligande: I nedanstående kolumn anges i vissa fall (-/+), med detta avses att förutom negativa konsekvenser, kan i vissa lägen eller vid vissa tider även positiva konsekvenser uppstå. Enbart negativa effekter markeras med (-)	Sannolikhet för att negativ effekt/konsekvens ska uppstå		Beskrivning av risken	Behov av anpassning, beredskap eller utökade skyddsåtgärder	Behov av kompletterande utredning inkl syfte	Slutsats
						I alt 1	I alt 2				
Löst form i trågområde och plym	Grundvatten i jord och berg	Befintlig förorening samt fortsatt spridning vid grundvattensänkning	Inarbetade skyddsåtgärder i enlighet med systemhandling med pumpbrunnar som omhändertar förorenat grundvatten under nivå för schaktbotten och täta skott som i driftskedet hindrar föroreningstransport i avvikande riktningar	Föreningensplymen i grundvattnet ökar i storlek eller ändrar riktning	Arbetsmiljöproblem och föroreningsspridning mot bergtunnel (-)	Mycket liten med inarbetade skyddsåtgärder	Mycket liten med inarbetade skyddsåtgärder	Liten risk med inarbetade skyddsåtgärder för bygg- och driftskede. Denna risksituation har beaktats ända sedan systemhandlingsskedet och genomtänkta åtgärder finns förberedda.	Inget ytterligare behov utöver god utförandekontroll i byggskede så att skyddsåtgärder utformas på det som det är tänkt	Inget ytterligare behov	Riskerna bedöms som begränsade och hanterbara
Löst form i källområdet	Grundvatten i jord och berg	Befintlig förorening samt fortsatt spridning vid ökad hydraulisk gradient	Inarbetade skyddsåtgärder med pumpning som hindrar plymen att avvika från nuvarande riktning, vidare att pumpning påbörjas något år före bygstart i brunnar i anslutning till blivande schakt	Förändringar av föroreningshalten i grundvattnet. Tillfälliga förhöjda halter inledningsvis, dock som helhet sjunkande halter med tiden, nedströms källan	Som helhet med tiden sjunkande halter nedströms källan (-/+)	Mycket liten med inarbetade skyddsåtgärder	Mycket liten med inarbetade skyddsåtgärder	Liten risk med inarbetade skyddsåtgärder för bygg- och driftskede. Denna risksituation har beaktats ända sedan systemhandlingsskedet och genomtänkta åtgärder finns förberedda.	Inget ytterligare behov utöver de inarbetade skyddsåtgärdena som bl a innebär att vatten skall börja pumpas ut något år före schaktens början, varvid haltförändringar kan hanteras	Inget behov utöver beskriven inledande pumpning	Tillräckliga åtgärder finns för att hantera föroreningen i löst form
Residual fri fas i trågområde och plym	I jord samt i sprickor i berget	Eventuellt befintliga föroreningar samt eventuella förändringar vid grundvattensänkning	Inarbetade skyddsåtgärder i enlighet med systemhandling med pumpbrunnar som omhändertar förorenat grundvatten under nivå för schaktbotten och täta skott som i driftskedet hindrar föroreningstransport i avvikande riktningar	Långsam övergång till löst fas vid ökad vattengenomströmning med möjligen något högre halter av löst förorening	Något högre koncentrationer av halten löst förorening (-)	Bedömd effekt är tämligen sannolik	Bedömd effekt är tämligen sannolik men begränsad	Liten risk eftersom vattnet behandlas med relevant reningsteknik. Genom föreslagna förberedande pumpning minimeras risken för oväntade haltökningar	Inget ytterligare behov utöver inarbetade skyddsåtgärder där beredskap skall finnas för behandling av vatten med förhöjda halter	Inget ytterligare behov	Liten risk eftersom beredskap finns för behandling
Residual fri fas i källområdet	I jord samt i bergets spricksystem	Befintliga föroreningar	Föreningen är inte rörlig i denna förekomstform vid de måttliga hydrauliska gradienter som kommer att råda	Långsam övergång till löst fas av vissa delar av föroreningen vid ökad genomströmning av vatten	Förändringar (ökning och minskning beroende på läge) av halten löst fas i vatten samt förflyttning av viss mängd förorening i löst form (-/+)	Det tar relativt lång tid innan halterna i löst fas börjar sjunka med källan i jord helt obehandlad	Med jordlagren sanerade kommer halterna av löst fas sjunka relativt snart vid tillströmning av rent grundvatten	Förväntade skeenden som inte bör generera oväntade negativa effekter. Tillströmning av rent grundvatten kommer utgöra en ångspärr mot gasavgång från kvarvarande föroreningar	Inga ytterligare behov. Med inledande pumpning före byggstart vid schakten, som inarbetad skyddsåtgärd, finns tid att hantera haltvariationer i löst fas	Ökad kunskap och information, från kommunens efterbehandlingsprojekt, om mängden föroreningar vore önskvärt, men inte nödvändigt inför schakt och pumpning i trågområdet	Liten risk att arbetena med järnvägsschakten märkbart skall påverka den residuala frifasen i källområdet
Mobil fri fas i trågområde och plym	I sprickor i berg eller i skålar/sänkor i bergytan	Eventuellt befintliga föroreningar samt eventuella förändringar av föroreningens fas och läge vid ändrade gradienter	Inarbetade skyddsåtgärder i enlighet med systemhandling med pumpbrunnar som omhändertar förorenat grundvatten under nivå för schaktbotten och täta skott som i driftskedet hindrar föroreningstransport i avvikande riktningar	Påverkan vid en ny, icke tidigare förekommen gradient eller strömningssituation skulle kunna flytta föroreningen ett kortare stycke tills den fastläggs i bergets spricksystem som residual fri fas	Med en grundvattenyta som, med inarbetade skyddsåtgärder, hålls under schaktbotten kommer det vatten som passerar förbi föroreningen successivt föra den med sig i lösning till pumparna och därmed renas. Beredskap avseende vattenbehandling krävs. (-/+)	Mycket liten, med hänsyn till att mobil fri fas sannolikt inte förekommer i tråg- och plymornas område	Mycket liten, med hänsyn till att mobil fri fas sannolikt inte förekommer i tråg- och plymornas område	Det bedöms som mkt osannolikt att större volymer skulle finnas i mobil fri fas. Ev mindre volymer kommer efter en övergång till residual fas och sedan till löst form kunna behandlas med tillgänglig reningsutrustning	Inget ytterligare behov utöver inarbetade skyddsåtgärder där beredskap skall finnas för behandling av vatten med förhöjda halter	Inget behov, men kompletterande undersökningar avseende förekomst av bergskålar och svagheter i bergytan skulle minimera riskerna för överraskningar	Hanterbar situation som dessutom kan förebyggas dels genom inledande pumpningar före schakt, dels kontroll av bergskålar
Mobil fri fas i källområdet	I sprickor i berg eller i skålar/sänkor i bergytan samt möjligen i kontakten jord/berg	Eventuellt befintliga föroreningar samt eventuella förändringar av fas och läge vid ändrade gradienter	Eventuellt kommer sanering av jord ned till bergytan att ske före byggstart	Eventuell mobil fri fas skulle kunna flyttas ett kortare stycke, varefter den övergår till residual fri fas och fastnar	Skulle kunna påverka kommande efterbehandling (-)	Mycket liten med hänsyn till liten risk att kunna flytta eventuellt fri fas mer än i begränsad omfattning	Mycket liten med hänsyn till liten risk att kunna flytta eventuellt fri fas mer än i begränsad omfattning	Mobil fri fas i källområdet har inte konstaterats.	Främst frågor som får hanteras av kommunen i samband med efterbehandlingen av källområdet	Löpande information från kommunens undersökningar av källan inför efterbehandlingen, vore önskvärt	Riskerna avseende både järnvägsprojektet och efterbehandlingen av källområdet bedöms som hanterbara
Ångor till luft i trågområde och plym	Markluft i jordens porsystem samt i jord- eller markyta	Ökad grundvattenströmning och förändrade grundvattennivåer vid avsnäckning i trågområdet	Inarbetade skyddsåtgärder i enlighet med systemhandling med pumpbrunnar som omhändertar förorenat grundvatten under nivå för schaktbotten och täta skott som i driftskedet hindrar föroreningstransport i avvikande riktningar. Ångavgång utanför nuvarande plymornas område är därför ej att förvänta.	Ökad ångavgång från ev residual fri fas i markens porer eller bergets spricksystem, eller vid höga halter löst form, från grundvattnet	Arbetsmiljöproblem i lokaler ovanför plym och/eller i trågschakten (-)	Liten risk för bedömd effekt.	Liten risk för bedömd effekt, minskat föroreningsbidrag till inströmmande rent grundvatten om marken är efterbehandlad inom källan	Inga höga halter i ytligt grundvatten eller jord har påträffats i plymen, därför mkt liten risk att en gv-sänkning skulle ge ökad ångavgång	Med inledande pumpning före schaktningen för tråget, såsom föreslås, begränsas halterna i grundvattnet och därmed riskerna för ångavgång från vattnet. Kontroll av inomhusluft och eventuellt ytterligare åtgärder för lokaler inom plymornas område föreslås, se vidare utredningstext	Inget ytterligare behov	Riskerna för ångavgång till byggnader och trågschakt bedöms som begränsade och hanterbara
Ångor till luft i källområdet	Markluft i jordens porsystem samt i jord- eller markyta	Ökad grundvattenströmning och förändrade grundvattennivåer vid avsnäckning i trågområdet	Inga anpassningar med hänsyn till ångavgång inom källområdet, eftersom inga byggnader kommer finnas kvar inom källområdet vid tidpunkten för järnvägsanläggandet, och därmed föreligger ingen risk för ångavgång till byggnader.	Ingen påverkan eftersom eventuella ångor inte kommer att gå in i några byggnader	Eventuella arbetsmiljöproblem inför och i samband med efterbehandlingen (-)	Liten risk med hänsyn till att tillräckliga skyddsåtgärder torde vidtas vid saneringen av källområdet	Liten risk med hänsyn till att tillräckliga skyddsåtgärder torde vidtas vid saneringen av källområdet	Arbetsmiljörisker som finns vid efterbehandlingen av källan oavsett de arbeten som görs inom järnvägsområdet	Inget ytterligare behov med anledning av järnvägsarbetena	Inget ytterligare behov utöver information från kommunens undersökning	Ångavgång till byggnader inom källområdet är ej aktuellt