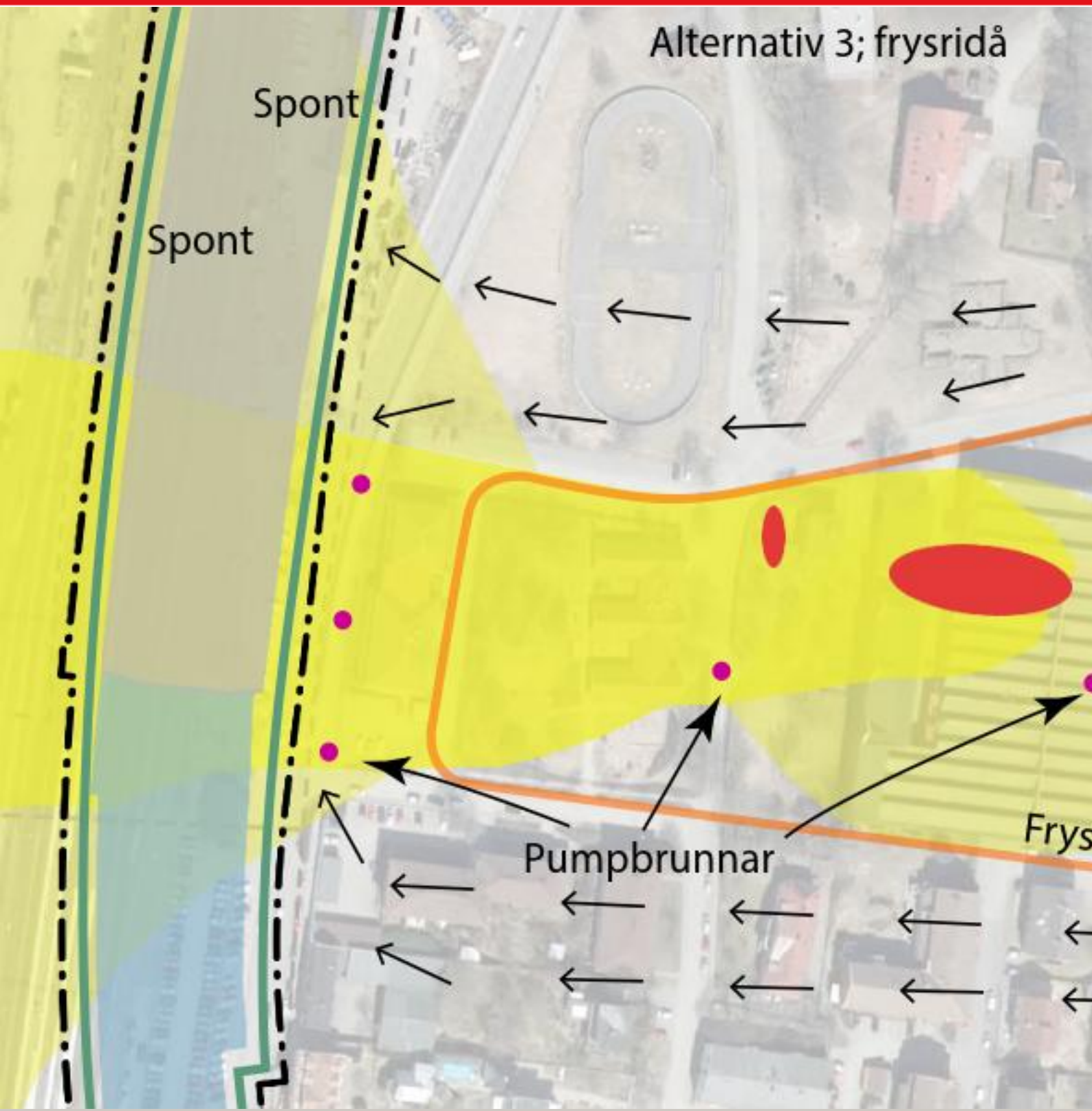


# PM Metoder för att minimera påverkan på förorening i Kv. Renen Varbergstunneln, Västkustbanan, Varberg-Hamra

Varbergs kommun, Hallands län

2017-07-03

Projektnummer: 101107



Dokumenttitel: PM Metoder för att minimera påverkan på förorening i Kv. Renen  
Skapat av: Tyréns AB  
Dokumentdatum: 2017-07-03  
Dokumenttyp: PM  
DokumentID: 101107-01-025-010  
Ärendenummer: TRV 2013/88739  
Projektnummer: 101107  
Version: 1

Publiceringsdatum:  
Utgivare: Trafikverket  
Kontaktperson: Per Rydberg  
Uppdragsansvarig: Per Rydberg  
Tryck:  
Fotograf:  
Distributör: Trafikverket, Kruthusgatan 17, 405 33 Göteborg, telefon: 0771-921 921

## Medverkande

Trafikverket

Jesper Mårtensson

Kenneth Rosell

Björn Bjurklint

Konsult, Tyréns AB

Bertil Sundlöf

Sandra Martinsson

Elisabet Hammarlund

Henrik Möller

# Läsanvisning

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

Dokumentet är framtaget för tillståndsprövning av vattenverksamhet för att presentera olika alternativa metoder vad gäller utförande med hänsyn till förorenat grundvatten i anslutning till den närliggande fastigheten Renen 13. Dokumentet förutsätter att läsaren har viss kunskap om projektet.

# Innehåll

1 Inledning .....	7
1.1 Bakgrund .....	7
1.2 Syfte och utvärderingsområden.....	7
1.3 Omfattning och avgränsning .....	8
2 Förutsättningar och krav .....	9
3 Metod .....	9
4 Nuläge, befintlig situation .....	9
5 Beskrivning av alternativen .....	10
5.1 Pumpning utanför spont .....	10
5.1.1. Beskrivning .....	10
5.1.2. Metodens påverkan på mål .....	11
5.1.3. Metodens fördelar och nackdelar .....	12
5.2 Extra injektering och balanserad pumpning.....	12
5.2.1. Beskrivning .....	12
5.2.2. Metodens påverkan på mål.....	14
5.2.3. Metodens fördelar och nackdelar.....	14
5.3 Frysridå och balanserad pumpning .....	15
5.3.1. Beskrivning .....	15
5.3.2. Metodens påverkan på mål.....	16
5.3.3. Metodens fördelar och nackdelar.....	17
5.4 Pumpning i källområde och utanför spont.....	17
5.4.1. Beskrivning .....	17
5.4.2. Metodens påverkan på mål.....	19
5.4.3. Metodens fördelar och nackdelar.....	19
5.5 Pumpning i källområde och utanför spont kombinerat med infiltration..	20
5.5.1. Beskrivning.....	20
5.5.2. Metodens påverkan på mål.....	21
5.5.3. Metodens fördelar och nackdelar.....	22
6 Jämförelse mellan alternativen.....	22
7 Rekommenderat val .....	24
8 Referenser .....	24



# 1 Inledning

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

## 1.1 Bakgrund

Byggandet av järnvägstunnel med anslutande tråg genom Varberg medför behov av grundvattenbortledning/grundvattensänkning. Inom beräknat påverkansområde för grundvattensänkning finns ett område som är kraftigt förorenat av klorerade lösningsmedel (främst trikloretylen och dess nerbrytningsprodukter). Källan till föroreningen finns inom fastigheten Renen 13 som är belägen ca 200 m väster om planerat tråg. Mellan planerad järnvägsanläggning och Renen 13 finns en plym av klorerade lösningsmedel i grundvattnet. Grundvatten som behöver ledas bort under byggtiden kommer att vara förorenat och behöver renas. Av arbetsmiljöskäl ska hantering av grundvatten med flyktiga lösningsmedel undvikas i schakten för tråg och betongtunnel. Efterbehandlingsåtgärder planeras för Renen 13 genom ett projekt med Varbergs kommun som huvudman och Naturvårdsverket som huvudfinansiär. I denna PM benämns efterbehandlingsprojektet för "Renenprojektet" för att skilja det från järnvägsprojektet som benämns "projektet". Åtgärder för att ta bort föroreningskällorna i jord och berg kommer med stor sannolikhet inte att vara slutförda då projektet påbörjas. Trafikverket måste således genomföra projektet med beaktande av den existerande föroreningen. I denna PM beskrivs metoder för att begränsa föroreningens påverkan på projektet och hur projektet kan genomföras utan att försvåra efterbehandlingsåtgärderna på Renen 13 och utan att öka utbredningen av föroreningsplymen.

Grundvattenbortledningen som planeras för projektet är tillståndspliktig vattenverksamhet. Trafikverket har därför ansökt om tillstånd hos mark- och miljödomstolen. Som ett led i tillståndsprövningen har ansökningshandlingarna remitterats av mark- och miljödomstolen till bland annat Länsstyrelsen i Hallands län och Varbergs kommun. Dessa myndigheter har efterfrågat fördjupad beskrivning av metodvalet och alternativa metoder för att minimera påverkan på föroreningen i anslutning till Kv. Renen. Denna PM utgör en komplettering till ansökan för att belysa valet av metod för att hantera föroreningen i och i anslutning till Kv. Renen.

## 1.2 Syfte och utvärderingsområden

Syftet är att tydligare redovisa vilka metoder som har övervägts för att projektet ska kunna genomföras trots föroreningarna från Renen 13 och hur projektet i så liten utsträckning som möjligt ska påverka efterbehandlingen av föroreningar på fastigheten Renen 13. Redovisningen ska ingå som underlag vid tillståndsprövning av vattenverksamhet i form av grundvattenbortledning för att möjliggöra byggande av betongtråg och betongtunnel.

Projektet arbetar mot mål inom följande områden:

- Totalkostnad, projektets totalkostnad är högst 3,99 mdr SEK i kostnadsnivå 2009
- Byggbarhet
- Miljö
- Genomförande
- Tidplan

- Drift och underhåll
- Livscykelkostnad

Påverkan på föroreningsituationen i anslutning till Kv. Renen av stor betydelse. Denna påverkan delas upp i två delar:

- Påverkan på möjlighet att efterbehandla källområdena i jord och berg inom fastigheten Renen 13
- Påverkan på föroreningsplymen i berggrundvatten med ursprung i Renen 13

Denna PM belyser ovanstående aspekter för fem olika mer eller mindre realistiska metoder.

### **1.3 Omfattning och avgränsning**

De metoder som jämförs är:

1. Pumpning utanför spont
2. Extra injektering och balanserad pumpning
3. Frysridå och balanserad pumpning
4. Pumpning i källområde och utanför spont
5. Pumpning i källområde och utanför spont kombinerat med infiltration

Denna PM beskriver endast summariskt byggmetoder för det betongtråg som är den anläggningsdel som ligger närmast Kv. Renen. Betongtunnel och bergtunnel som ligger längre söderut beskrivs inte alls. Beskrivning av anläggning och byggmetoder redovisas i Teknisk beskrivning (Bilaga 3 till ansökan). Föroreningsituationen i anslutning till Kv. Renen beskrivs i PM Risker avseende föroreningar i samband med schaktarbeten för järnväg väster om kvarteret Renen (Bilaga 11 till ansökan). Utredning av utformning av anläggningen och byggmetoder har utretts inom ramen för en systemhandling. Metoden frysridå har utretts under våren 2017 och finns beskriven i PM Frysning Kv. Renen.

Undersökningar och utredningar av Renen 13 har genomförts av flera konsulter under lång tid men den utredning som främst ligger till grund för projektets utredningar är Structors rapport Miljöteknisk undersökning centrala Varberg, kompletterande miljöteknisk markundersökning samt miljö och hälsoriskbedömning och åtgärdsalternativ med avseende på klorerade lösningsmedel i mark. Rapporten redovisades 2011.

Ytterligare en metod har diskuterats men bedömts vara orealistisk; Schaktning och byggande under vatten har valts bort eftersom det är mycket dyrt, tar lång tid och dessutom olämpligt ur arbetsmiljösynpunkt pga av att vattnet förväntas vara förorenat och omfattande arbeten med dykare.



## 2 Förutsättningar och krav

De förutsättningar som metoderna ska kunna uppfylla som specifikt riktar sig mot föroreningsproblematiken är:

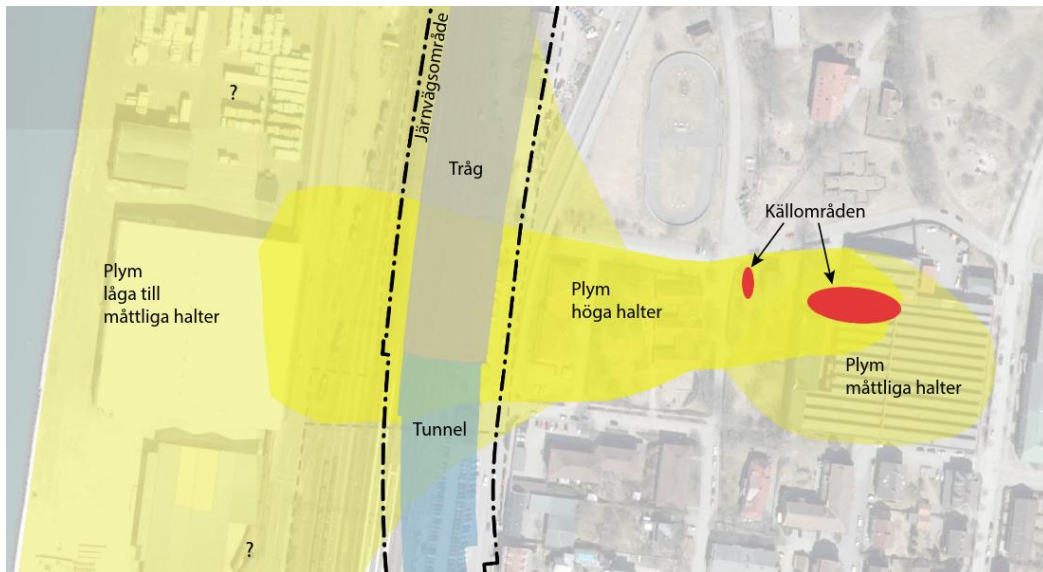
- Arbetsmiljö: Förorenat grundvatten bör i möjligaste mån omhändertas innan det når schakten så att arbetarna inte exponeras genom inandning av ångor eller genom direktkontakt med inläckande grundvatten. Inläckaget av förorenat grundvatten till schakten bör därför minimeras.
- Ej förändra grundvattnets strömningsriktning under bygg- eller driftskede: För att förhindra att förorenat grundvatten sprider sig till områden som idag inte är förorenade är det viktigt att inte förändra grundvattnets strömningsriktning. Den västliga grundvattenströmmen från Kv. Renen måste därför bibehållas under både bygg- och driftskede. Järnvägsanläggningen får därför ej heller, varken under bygg- eller driftskede, skapa dämning av grundvattenytan.
- Miljö generellt: Länshållningsvatten från schakten skall så långt möjligt kunna omhändertas separat från inläckande vatten förorenat av klorerade alifater.

## 3 Metod

De olika metoderna beskrivs översiktligt baserat på de utredningar som har genomförts inom ramen för arbetet med järnvägsplan och systemhandling samt tillkommande utredning av frysning. Vidare beskrivs hur de påverkar projektets mål samt målet att begränsa påverkan på föroreningsituationen i Kv. Renen. Metodernas för- och nackdelar presenteras i förhållande till huvudalternativet (alternativ 1). Efter beskrivningen av de fem metoderna görs en jämförelse av metodernas möjlighet att uppfylla målen.

## 4 Nuläge, befintlig situation

Klorerade lösningsmedel har använts i verkstadsindustri inom fastigheten Renen 13. Användningen har resulterat i förorening i jord och berg på fastigheten samt en plym av förorenat grundvatten som transporteras med grundvattenströmmen västerut mot hamnbassängen. Inom projekt Renen har en konceptuell modell för föroreningens utbredning tagits fram och en förenkling av denna redovisas i Figur 4.1. Av figuren framgår att det finns två huvudsakliga källområden. Det västra källområdet har liten utbredning i plan men där förekommer föroreningen ner till ca 20 m under markytan. Det östra källområdet har större utbredning i plan men föroreningen når inte lika djupt, ner till ca 5 m under markytan. Dessutom förekommer förorening i jord på en stor del av tomten. I den förenklade bilden har spridning av fri fas i sprickor i berget utanför plymområdet inte redovisats eftersom sprickornas utbredning inte är utredd.



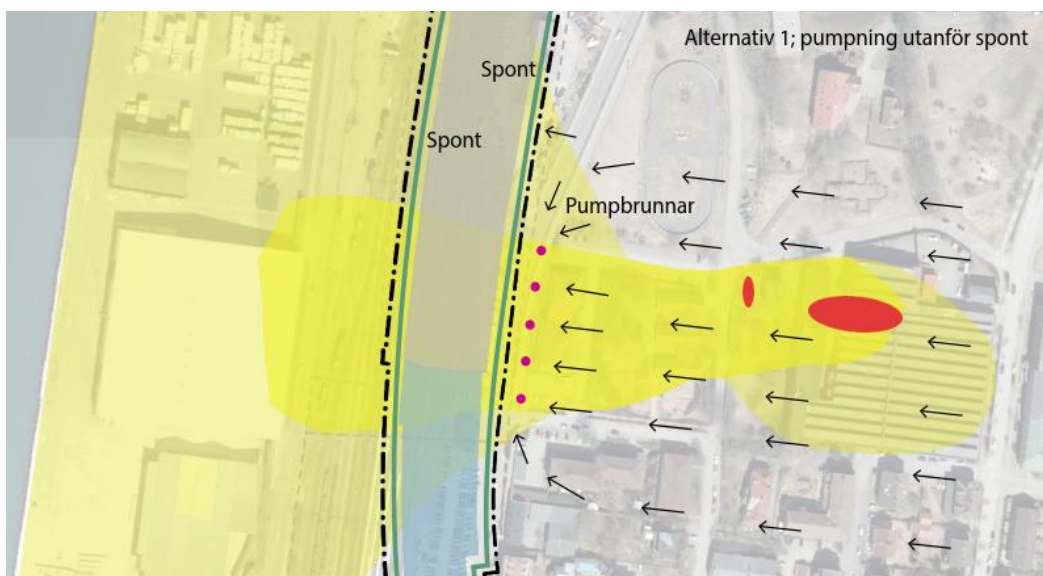
Figur 4.1; Konceptuell modell för föroreningsutbredning. Konceptet har ursprung från Structor 2011.

## 5 Beskrivning av alternativen

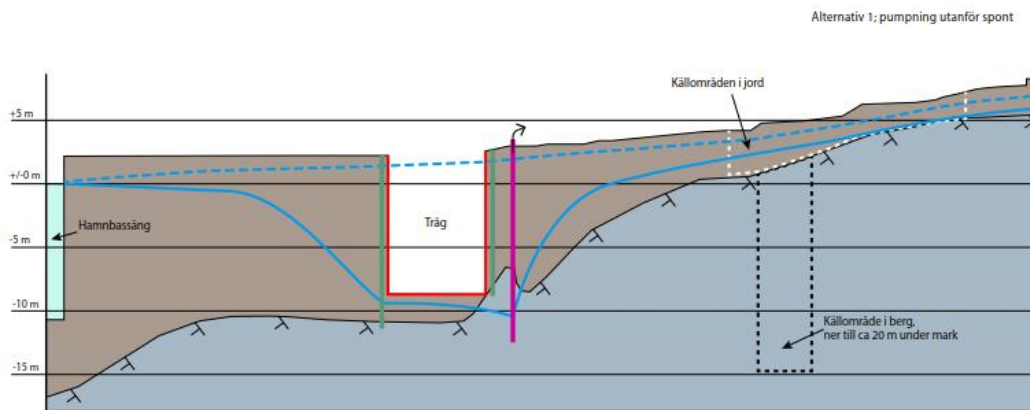
### 5.1 Pumpning utanför spont

#### 5.1.1. Beskrivning

Den föreslagna byggmetoden, enligt systemhandlingen, innebär att schakten kommer att spontas med tätspont och sponten kommer att tätas mot berg för att begränsa grundvatteninläckage till schakten. Grundvatten kommer i första hand att avledas och omhändertas via en rad pumpbrunnar strax utanför schakten samt under schaktbotten. Alternativet illustreras i plan och sektion i Figur 5.1 respektive Figur 5.2.



Figur 5.1; Alternativ 1 i plan.



Figur 5.2; Alternativ 1 i sektion.

Efter byggskedet kommer sponten att kapas och vid behov kommer den kvarvarande delen av sponten att perforeras, för att undvika att grundvattenströmningen hindras. Tråget kommer att kringfyllas med ett genomsläppligt material som ska medföra att den idag rådande västliga grundvattenströmningen mot havet åter kan etableras. Med vissa mellanrum kommer kringfyllningen i stället att bestå av lera eller annat tätt material för att skapa täta skott som förhindrar längsgående grundvattenflöde. Fyra tätningar längs tråget har föreslagits i systemhandlingen.

Osäkerheten i prognoser av flöde och föroreningsgrad vid pumpningen är en risk för projektet. Ytterligare undersökningar av områdets hydrogeologiska förhållanden och föroreningssituationen kommer att genomföras för att minska osäkerheten. Ett sätt att reducera risken är att påbörja pumpningen innan anläggningsarbetena för att i god tid kunna trimma in styrning av pumpningen och driften av reningsanläggningen.

### 5.1.2. Metodens påverkan på mål

#### *Totalkostnad*

Metoden är den som ingår i den aktuella kostnadskalkylen

#### *Byggbarhet*

Metoden är väl beprövad och noga utredd. Metoden för att hantera föroreningen är förenlig med byggmetoder för tråg och järnvägsanläggningen i övrigt.

#### *Genomförande*

En risk som är förknippad med metoden är att flöde och/eller föroreningskoncentration i pumpat grundvatten blir högre än förväntat vilket kan innebära svårighet att rena vattnet i tillräcklig utsträckning. Ytterligare undersökningar kan minska sannolikheten för underskattning av flödet.

Metoden förutsätter ett omfattande kontrollprogram under byggtiden för att säkerställa att grundvattenströmningen sker i rätt riktning och att avsänkningen inte blir större än vad som prognostiserats. Kontrollprogrammet förutsätts även behövas under driftfasen men i mindre omfattning.

#### *Tidplan*

Metoden är anpassad för den rådande tidplanen.

#### *Drift- och underhåll*

Kontrollprogram kommer troligen behövas även i driftskedet.

Metoden bedöms inte orsaka några tillkommande kostnader i driftskedet utöver kontrollprogram.

### *Livscykelkostnad*

Metoden är den som ingår i den aktuella livscykelanalysen.

### *Arbetsmiljö*

Metoden kommer att minimera anläggningsarbetarnas exponering för föroreningarna i byggskedet.

### *Påverkan på efterbehandling av Kv. Renen*

Metoden påverkar inte möjligheten att efterbehandla inom Renen 13.

### *Påverkan på plymen från Kv. Renen*

Förorening i plymen kommer att minska eftersom den pumpas upp och renas.

### **5.1.3. Metodens fördelar och nackdelar**

Fördelar är att metoden består av väl beprövad teknik, att antalet borrhål är begränsat och förorening i grundvattenplymen tas om hand vilket leder till minskad belastning på hamnbassängen och på arbetsmiljön.

Nackdelar är att mängden grundvatten som behöver pumpas kan bli stor och att kontrollprogram kommer att behövas även i driftskedet, åtminstone inledningsvis.

## **5.2 Extra injektering och balanserad pumpning**

### **5.2.1. Beskrivning**

Metoden innebär att täta schakten så långt det är praktiskt möjligt. Både att sponten och det underliggande berget behöver tätas ytterligare i förhållande till vad som beskrivs i systemhandlingen. Alternativ till konventionell spont skulle kunna vara:

- borrarad tät rörspons,
- sekantpålevägg,
- slitsmur

Ingen av dessa metoder, möjligen med undantag för borrarad rörspons, medger dock tillskapande av en tät vägg som sträcker sig ända ned i fast berg, varför gränzonen jord/berg och berget i sig kommer att kräva kompletterande tätningsmetoder t. ex. med jetgrouting.

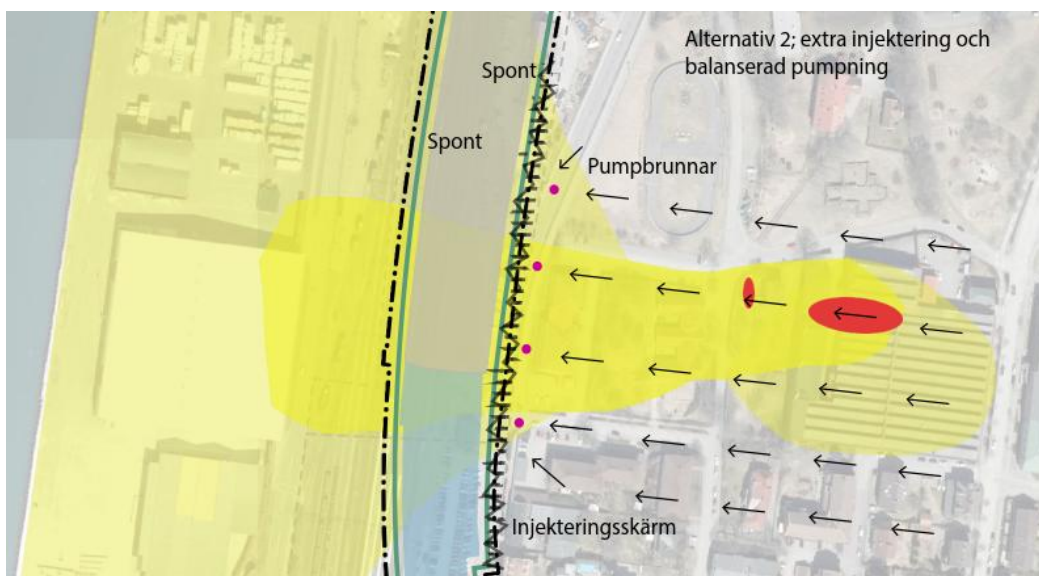
Berget bedöms kunna tätas ytterligare genom mer omfattande injektering av vattenförande zoner och spricksystem. För att nå så hög täthet i berget som krävs behövs användning av kemiska injekteringsmedel för att även kunna täta de finare spricksystemen i berget. Traditionell cementinjektering används till större sprickor. Alternativet illustreras i plan och sektion i Figur 5.3 respektive Figur 5.4.

Den omfattande tätningen innebär att en dämning av grundvattenytan uppstår i byggskedet och i driftskedet uppströms tråget. Det får grundvattnet, i detta fall förorenat sådant, att söka sig andra vägar genom avlänkning norrut och söderut. För att förhindra detta i byggskedet etableras en rad brunnar öster om schakten som pumpas i en omfattning som motsvarar det naturliga grundvattenflödet. En sådan balanserad pumpning för att upprätthålla dagens rådande gradienter i området bör gå att åstadkomma med ett pumpgalleri med automatisk styrning samt ett omfattande kontrollsystem så att inte för höga eller för låga grundvattennivåer uppstår i området öster om schakten.

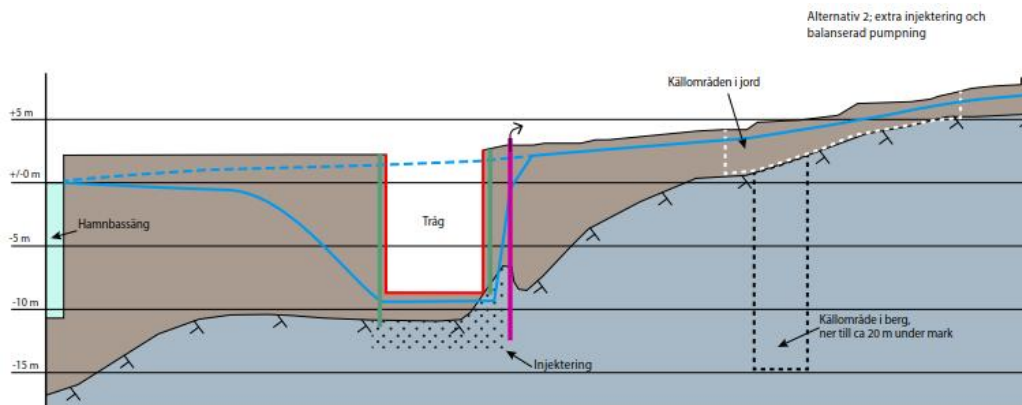
Permanent pumpning under driftsfasen bedöms inte som en hållbar metod. Därför behövs åtgärder som ökar (återställer) genomsläppligheten kring den kraftigt tätade

schakten. Detta skulle möjligen kunna åstadkommas genom en kombination av olika åtgärder:

- Kapning och/eller perforering av tätspont/sekantpålevägg/slitsmur (kapning och perforering av spont redan föreslaget i systemhandling).
- Med styrd borrning utföra "kanaler" i berget under spont så att kontakt skapas mellan jord/berg öster om schakten och den genomsläppliga kringfyllningen kring tråget.
- Vertikala sanddräner som installeras ett stycke ned i berg för att skapa vertikal hydraulisk kontakt och utjämning av trycknivåer i möjliga vattenförande enheter. Grundvattenflödet kan sedan fortsätta i västlig riktning förbi/över den kapade/perforerade sponten.
- Att anlägga ett dräneringsdike strax under grundvattennivå på spontens uppströmssida dit sanddränerna får mynna. Dräneringsdiket får sträcka sig längs det extrem-tätade partiet nedströms Kv. Renen och får sedan avrinna norr och söder om detta område där schakten endast utförts normaltät, varvid vattnet där kan leta sig ned under betongtråget, så som planerat enligt systemhandlingen.



Figur 5.3; Alternativ 2 i plan. Extra injektering i berget under schaktbotten framgår inte på planen utan enbart på sektionen (Figur 5.4).



Figur 5.4; Alternativ 2 i sektion.

### 5.2.2. Metodens påverkan på mål

#### *Totalkostnad*

Metoden är dyrare än alternativ 1 på grund av mera omfattande injektering samt åtgärder för att minska tätheten efter avslutat arbete.

#### *Byggbarhet*

Metoden är beprövad även om erfarenhet av keminjektering är mindre spridd. Metoden för att hantera föroreningen är förenlig med byggmetoder för tråg och järnvägsanläggningen i övrigt.

#### *Genomförande*

En risk som är förknippad med metoden är att injekteringen inte uppnår önskad täthet. Metoden förutsätter ett omfattande kontrollprogram för att säkerställa att grundvattenströmningen sker i rätt riktning och att avsänkningen inte blir större än vad som prognostiserats.

#### *Tidplan*

Metoden innebär mera tidsåtgång för injektering och tid för efterföljande åtgärder för att förhindra dämning. Tidsförslängning uppskattas till 3-5 månader.

#### *Drift- och underhåll*

Kontrollprogram kommer troligen att behövas även i driftskedet.

Metoden bedöms inte orsaka några tillkommande kostnader i driftskedet utöver kontrollprogram.

#### *Livscykelkostnad*

Eftersom totalkostnaden är högre än alternativ 1 kommer även livscykelkostnaden att bli högre jämfört med alternativ 1.

#### *Arbetsmiljö*

Metoden kommer att minimera anläggningsarbetarnas exponering för föroreningarna i byggskedet.

#### *Påverkan på efterbehandling av Kv. Renen*

Metoden påverkar inte möjligheten att efterbehandla inom Renen 13.

#### *Påverkan på plymen från Kv. Renen*

Förorening i plymen kommer att minska eftersom den pumpas upp och renas dock i mindre omfattning jämfört med alternativ 1.

### 5.2.3. Metodens fördelar och nackdelar

Fördelar är att metoden består av beprövad teknik dock med viss osäkerhet för momentet med att återskapa samma genomsläpplighet som förbi tråget som nuläget, antalet borrhål är begränsat, förorening i plymen tas om hand vilket leder till minskad belastning på hamnbassängen och på arbetsmiljön.

Nackdelen är att metoden är dyrare och mera tidsödande än alternativ 1, osäkerheten om man kan uppnå en tillräckligt hög täthet och att ett kontrollprogram kommer att behövas i driftskedet. De alternativa system som krävs för att leda förbi grundvattnet i driftskedet kommer att kräva övervakning och underhåll under järnvägens hela livstid, eller åtminstone till föroreningssituationen har reducerats till en helt obetydlig föroreningsnivå. Om inte systemen fungerar kommer det att finnas risk för att förorenat grundvatten söker sig söder ut, in mot station och bergtunnel.

## 5.3 Frysråd och balanserad pumpning

### 5.3.1. Beskrivning

Principen är att ringa in den förorenade marken med en fryst barriär så ingen spridning kan ske då planerade schaktarbeten för betongträget utförs.

Den tekniska lösning som föreslås är en rad vertikala frysrör med inbördes avstånd på 2,2 m och som borrar ned i berget under ca 5 m. Den frysta barriärens längd (700 m) och djup har antagits för kostnadsberäkning men annan omfattning kan också vara möjlig. Frysningen sker med en mekanisk kylanläggning med cirkulerande kylvätska (saltlösning sk brine).

Vid installation av kylrör i jord borrar först ett foderrör som lämnas kvar. I foderröret installeras sedan själva kylröret. Foderröret skyddar kylröret för de jordrörelser som kan uppkomma vid nedfrysning. Utrymmet mellan kylrör och foderrör fylls med vatten. Kylvätskan förs ned till botten av kylröret via ett inre rör. Stryp- och avstängningsventil monteras på varje tilllopps- och retur slang. Ett kylrör skall kunna stängas och kopplas bort om läckage eller skada inträffar. Genom strypventilen skall flödet genom varje kylrör kunna regleras. Matar- och returledning till kylmaskinen isoleras och förläggs i detta fall lämpligen i en kulvert. Kylmaskiner, pumpar och kylare placeras i och på containrar. Kostnadsberäkningen har baserats på en ca 700 m lång ridå bestående av ca 320 borrhål med kylrör som når ned 5 m i berg. Erforderlig kapacitet är beräknad till ca 500 kW.

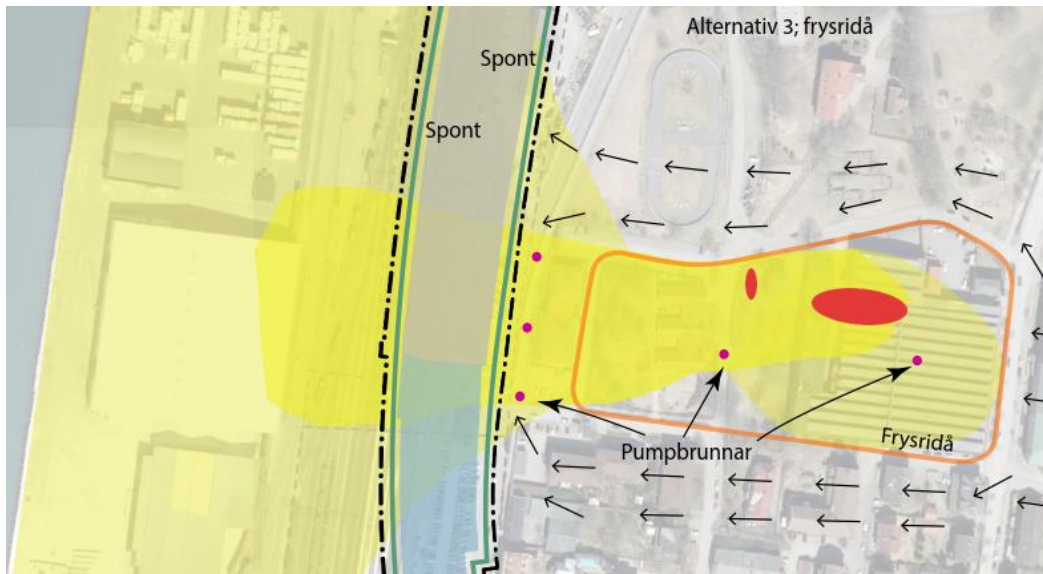
För att öka driftsäkerheten installeras dubbla kylmaskiner. Under början av nedkylningsfasen används båda kylmaskinerna. Efter en tid klarar en kylmaskin att hålla ridån nedkyld. Man kan då alternera mellan maskinerna och alltid ha en i reserv vid service eller vid haveri av en maskin. När ridån fryst ihop kan temperaturen på utgående kylvätska höjas så att utbredningen av ridån hålls konstant, dvs så att den inte blir onödigt bred och påverkar omgivningen. Alternativet illustreras i plan och sektion i Figur 5.5 respektive Figur 5.6.

För att balansera grundvattennivån innanför ridån behövs en viss pumpning av grundvatten. Pumpning av grundvatten behövs även i anslutning till träget för att förhindra förorenat grundvatten från att läcka in i schakten och orsaka arbetsmiljöproblem. Grundvattnet som pumpas renas i en reningsanläggning. Flödet blir mindre än vid alternativ 1. Mängden förorening som omhändertas av projektet blir mindre jämfört med alternativ 1.

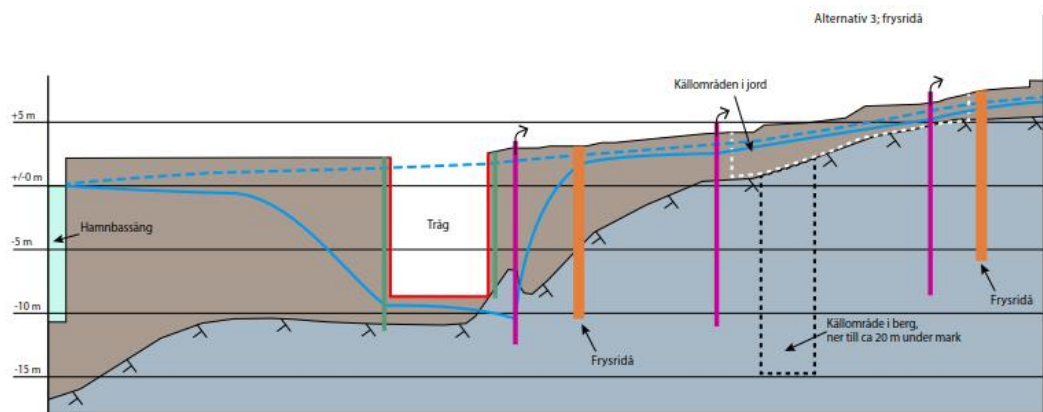
Efter avslutat byggskede kommer ridån att tina och marken återfår sin ursprungliga genomsläpplighet. Vid frysning sker en volymökning som kan orsaka hävning och vid upptining kan det uppstå tjälskott och problem med sättningar i jorden framför allt i finkornig jord. För att minska riskerna bör det föreslagna läget för ridån undersökas med avseende på jordprofil och djup till berg. Inventering av konstruktioner längs ridån som är känsliga för horisontella och vertikala jordrörelser bör ske. Där det finns känsliga konstruktioner kan man instrumentera med inklinometrar och sättningspeglar så att man kan följa eventuella rörelser. När ridån fryst ihop kan man lokalt strypa flödet till kylrören för att inte bredden på kylzonen skall växa mer än nödvändigt.

Med det föreslagna upplägget kommer även en stor del av plymen att vara innesluten vilket är en fördel under byggtiden men i driftfasen kommer föroreningen att passera under träget och därmed belasta hamnbassängen i större utsträckning än vid alternativ 1.





Figur 5.5; Alternativ 3, frysridå, i plan.



Figur 5.6; Alternativ 3, frysridå, i sektion.

### 5.3.2. Metodens påverkan på mål

#### *Totalkostnad*

Kostnaden för att genomföra frysningen av ovanstående barriär uppskattas till ca 30 miljoner kronor. För att upprätthålla barriären under byggtiden beräknas en kostnad på ca 7 miljoner kronor/år.

#### *Byggbarhet*

Metoden är beprövad men erfarenheten är begränsad i Sverige.

Metoden för att hantera föroreningen är förenlig med byggmetoder för tråg och järnvägsanläggningen i övrigt.

#### *Genomförande*

Risker förknippade med metoden är hävning och sättning. Borrning och kylmaskiner orsakar buller vilket kan påverka människor i omgivningen.

#### *Tidplan*

Etablering av anläggningen bedöms ta 6-7 månader och frysningen av barriären beräknas ta 3-4 månader i anspråk.



### *Drift- och underhåll*

Kontrollprogram kommer troligen behövas även i driftskedet.

Metoden bedöms inte orsaka några tillkommande kostnader i driftskedet utöver kontrollprogram.

### *Livscykelkostnad*

Eftersom totalkostnaden är högre än alternativ 1 kommer även livscykelkostnaden att bli högre jämfört med alternativ 1.

### *Arbetsmiljö*

Metoden kommer att minimera anläggningsarbetarnas exponering för föroreningarna i byggskedet.

### *Påverkan på efterbehandling av Kv. Renen*

Metoden påverkar möjligheten att efterbehandla termiskt inom Renen 13 samtidigt som frysridån upprätthålls på så sätt att metoderna motverkar varandra (uppvärmning och nerkylning) och därmed försvårar och fördyrar efterbehandling. Uppvärmning inom Renen innebär även risk för att det kan uppstå hål/glipor i frysridån. Metoderna kan dock användas efter varandra utan problem. Schaktsanering i jord kan utan vidare kombineras med samtidig frysridå.

### *Påverkan på plymen från Kv. Renen*

Förorening i plymen kommer att minska eftersom den pumpas upp och renas, dock i mindre omfattning jämfört med alternativ 1. Den del av plymen som ligger inom det inneslutna området kommer inte att renas utan kommer efter ridåns upptining att rinna mot hamnbassängen.

### **5.3.3. Metodens fördelar och nackdelar**

Fördelar är att föroreningen blir innesluten under byggtiden och därmed begränsas spridningen. Med det föreslagna upplägget kommer även en stor del av plymen att vara innesluten vilket begränsar mängden grundvatten som behöver renas.

Nackdelar är främst den höga kostnaden och hög energiförbrukning samt att den inte lämpar sig att använda samtidigt som termisk rening pågår inom Renen 13.

## **5.4 Pumpning i källområde och utanför spont**

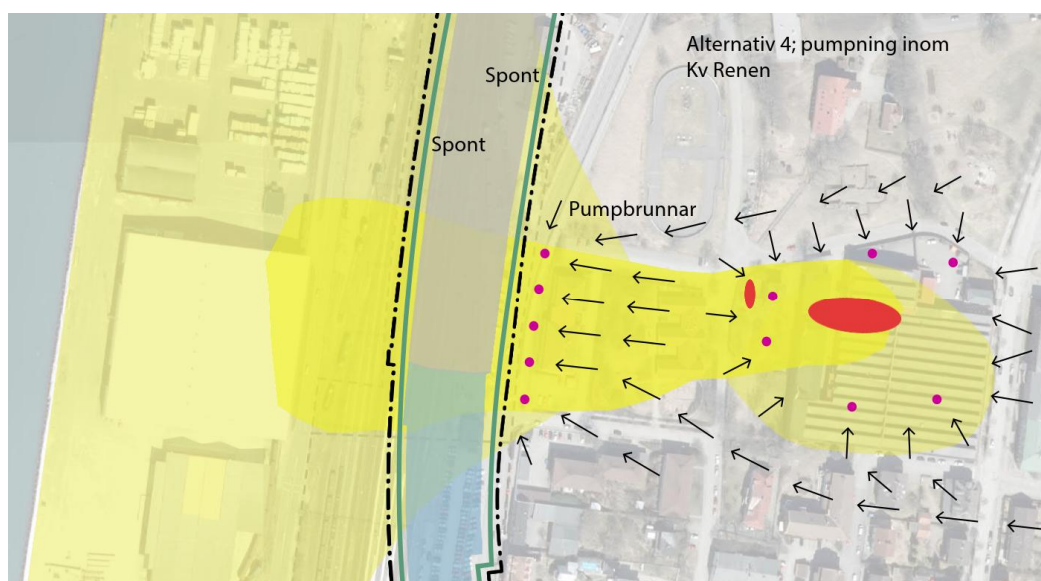
### **5.4.1. Beskrivning**

Ett alternativ till att angripa problemet vid järnvägsschakten är att istället överväga åtgärder inom, eller i nära anslutning till Renen 13. För att förhindra grundvattenströmning, och därigenom också föroreningsspridning från Renen 13, skapas en grundvattengradient riktad mot Renen 13. Detta skulle kunna åstadkommas genom att hålla nere grundvattennivån inom Renen 13 medelst pumpning i ett pumpgalleri av bergborrade brunnar. Med kontroll och automatisk styrning säkerställs att gradienten är riktad mot Renen 13, samtidigt som grundvattenytan inte ska sänkas av alltför mycket. Kontroll av förekomst av förorening i mobil fri fas görs i kärnborrhål i sprickzoner innan större (under bergyttenivå) grundvattensänkande åtgärder sätts in. Pumpat grundvatten renas från förorening innan bortledning till hamnbassängen. Alternativet illustreras i plan och sektion i Figur 5.7 respektive Figur 5.8.

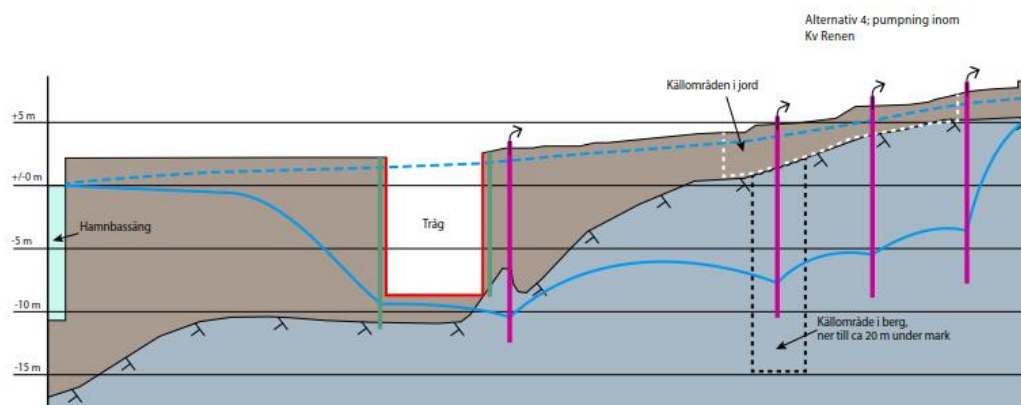
Ovan nämnda lösning skulle kunna innebära arbetsmiljöfördelar genom att grundvatteninflödet till schakten nedströms Renen 13 torde minska. Framförallt minimeras tillrinningen av förorenat grundvatten som behöver hanteras i och utanför

schakten. En viss pumpning i anslutning till sponten blir ändå nödvändig för att hanteras föroreningar i plymen närmast träget. Det sammanlagda pumpflödet som är nödvändigt för att skapa önskvärt strömningsmönster bedöms vara större än i alternativ 1. Alternativet innebär en hydraulisk påverkan inom Renen 13 men torde minimera risken för föroreningsspredning utanför Renen 13. Pumpning på detta sätt förväntas inte försvåra en kommande efterbehandling av källområdet med den metod som är planerad. Det område som påverkas av grundvattensänkning blir större jämfört med alternativ 1 och omfattar också omgivningen öster om Kv. Renen.

Alternativet innebär borrning av ett större antal brunnar i berget inom Kv. Renen. Detta medför att spricksystem kortsluts vilket kan leda till ökad spridning inom kvarteret, men eftersom termisk rening av området planeras bedöms detta inte ha någon större betydelse. Hålen kan gjutas igen om de skulle bli ofördelaktiga.



Figur 5.7; Alternativ 4 i plan.



Figur 5.8; Alternativ 4 i sektion.

#### 5.4.2. Metodens påverkan på mål

##### *Totalkostnad*

Metoden innebär pumpning av större flöde och högre halter varför kostnad för rening av grundvatten blir större än alternativ 1.

##### *Byggbarhet*

Metoden kan vara svår att genomföra och kräver ett omfattande kontrollprogram vad gäller grundvattennivåer i omgivningen.

Metoden för att hantera föroreningen är förenlig med byggmetoder för tråg och järnvägsanläggningen i övrigt.

##### *Genomförande*

En risk som är förknippad med metoden är att flöde och/eller föroreningskoncentration i pumpat grundvatten blir högre än förväntat vilket kan innebära svårighet att rena vattnet i tillräcklig utsträckning.

Borrhål inom Kv. Renen skapar nya vertikala spridningsvägar för föroreningen.

Metoden förutsätter ett omfattande kontrollprogram för att säkerställa att grundvattenströmningen sker i rätt riktning och att avsänkningen inte blir större än vad som prognostiserats.

##### *Tidplan*

Metoden påverkar inte den rådande tidplanen.

##### *Drift- och underhåll*

Metoden bedöms inte orsaka några tillkommande kostnader i driftskedet.

##### *Livscykelkostnad*

Eftersom totalkostnaden är högre än alternativ 1 kommer även livscykelkostnaden att bli högre jämfört med alternativ 1.

##### *Arbetsmiljö*

Metoden kommer att minimera anläggningsarbetarnas exponering för föroreningarna i byggskedet.

##### *Påverkan på efterbehandling av Kv. Renen*

Metoden påverkar inte möjligheten att efterbehandla inom Renen 13. Förorening i plymen kommer att minska eftersom den pumpas upp och renas dock i mindre omfattning jämfört med alternativ 1.

##### *Påverkan på plymen från Kv. Renen*

Förorening i plymen kommer att minska eftersom den pumpas upp och renas dock i mindre omfattning jämfört med alternativ 1.

#### 5.4.3. Metodens fördelar och nackdelar

Fördelar med metoden är att den förväntas kunna förhindra spridning av förorening från källområdena och begränsa exponeringen för arbetarna under byggtiden. Metoden begränsar inte möjligheten att efterbehandla Renen 13 samtidigt som järnvägsbygget pågår. Tidplanen ändras inte.

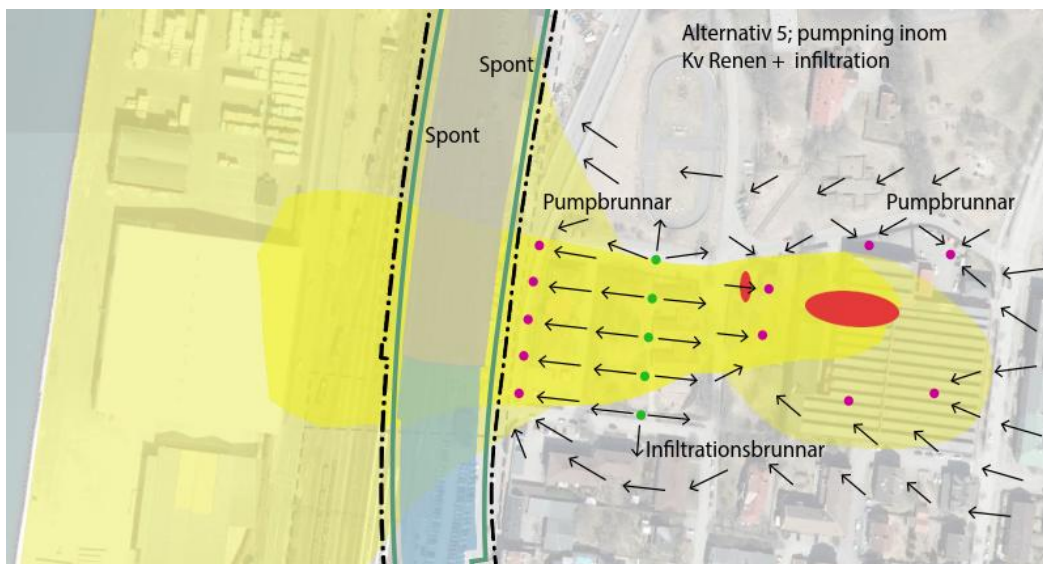
Nackdelar med metoden är att mer grundvatten måste pumpas jämfört med alternativ 1 och därmed blir kostnaden högre. Området som påverkas av grundvattensänkning blir större än alternativ 1 vilket medför ökad risk för sättningar och påverkan på brunnar.

## 5.5 Pumpning i källområde och utanför spont kombinerat med infiltration

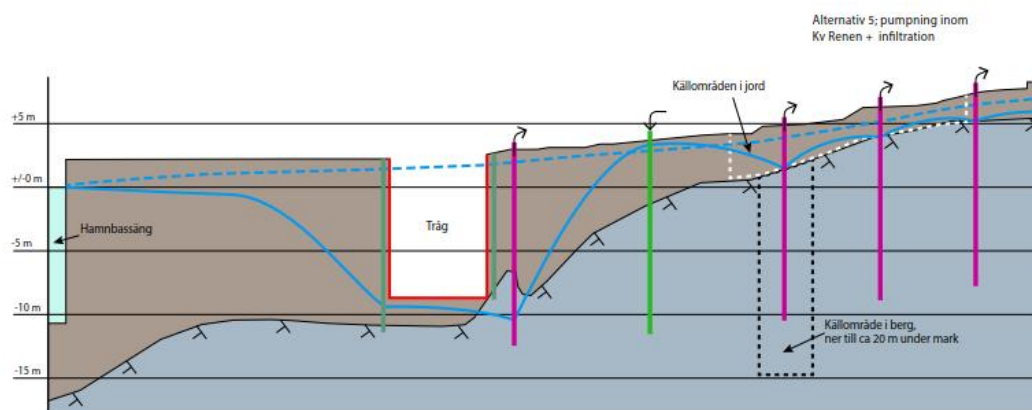
### 5.5.1. Beskrivning

För att upprätthålla grundvattennivån och begränsa utbredning av grundvattensänkning är infiltration en metod som ofta tillämpas. I alternativet kombineras pumpning inom Renen 13 och pumpning vid sponten med infiltration i området däremellan.

Med kontroll och automatisk styrning säkerställs att gradienten är riktad mot Renen 13, samtidigt som grundvattenytan höjs i närområdet. Pumpat grundvatten renas från förorening innan bortledning till hamnbassängen alternativt sker återinfiltration av renat grundvatten. Eventuellt skulle en lägre reningsgrad vara acceptabel för vatten som återinfiltreras jämfört med vatten som släpps ut i hamnbassängen. Om detta inte accepteras kan infiltration genomföras med dricksvatten från den kommunala vattenförsörjningen. Alternativet illustreras i plan och sektion i Figur 5.9 respektive Figur 5.10.



Figur 5.9; Alternativ 5 i plan.



Figur 5.10; Alternativ 5 i sektion.

Att kontrollera flöden och strömningsriktning i grundvattenmagasinet förutsätter automatisk styrning men trots det är det troligt att metoden innebär en utökning av föroreningsplymns utbredning och samtidigt en utspädning av föroreningen. På grund av att avståndet blir litet mellan uttagsbrunnar och infiltrationsbrunnar blir gradienterna stora och styrning svår. Det föreligger en relativt stor sannolikhet för att det blir kortslutning mellan brunnarna med följden att flöden och gradienter inte kan styras som planerat.

Alternativet innebär en hydraulisk påverkan inom Renen 13 som minimerar risken för förorenings-spridning från källområdena till områden utanför Renen 13. Pumpning förväntas inte försvåra en kommande efterbehandling av källområdet med den metod som är planerad. Dels kommer de föroreningsformer som är mobila koncentreras inom källområdet, dels kommer föroreningar i löst fas direkt kunna tas om hand och behandlas.

Det område som påverkas av grundvattensänkning blir större jämfört med alternativ 1 men mindre än alternativ 4. Det sammanlagda flödet som pumpas och renas blir större än i alternativ 1.

Alternativet innebär borrning av ett större antal brunnar i berget inom Kv. Renen. Detta medför att spricksystem kortsluts vilket kan leda till ökad spridning inom kvarteret, men eftersom termisk rening av området planeras bedöms detta inte ha någon större betydelse. Hålen kan gjutas igen om de skulle bli ofördelaktiga. Antalet brunnar blir fler än i alternativ 4 och blir därmed även mera kostsamt.

#### 5.5.2. Metodens påverkan på mål

##### *Totalkostnad*

Metoden blir något dyrare än alternativ 1 eftersom det blir fler brunnar och större flöden som pumpas. Den högre kostnaden för pumpning kan kompenseras av lägre kostnad för rening om en lägre reningsgrad skulle accepteras för grundvatten som infiltreras i plymen.

##### *Byggbarhet*

Metoden påverkar inte möjligheten att sänka av grundvattnet så att träget kan byggas i torrhet.

Metoden för att hantera föroreningen är förenlig med byggmetoder för tråg och järnvägsanläggningen i övrigt.

##### *Genomförande*

Borrhål inom Kv. Renen skapar nya vertikala spridningsvägar för föroreningen.

Metoden med infiltration är beprövad men korta avstånd mellan uttagsbrunnar och infiltrationsbrunnar gör metoden osäker.

En risk som är förknippad med metoden är att flöde och/eller föroreningskoncentration i pumpat grundvatten blir högre än förväntat vilket kan innebära svårighet att rena vattnet i tillräcklig utsträckning.

Metoden förutsätter ett omfattande kontrollprogram för att säkerställa att grundvattenströmningen sker i rätt riktning och att avsänkningen inte blir större än vad som prognostiserats.

##### *Tidplan*

Metoden påverkar inte den rådande tidplanen.

### *Drift- och underhåll*

Metoden bedöms inte orsaka några tillkommande kostnader i driftskedet.

### *Livscykelkostnad*

Eftersom totalkostnaden är högre än alternativ 1 kommer även livscykelkostnaden att bli högre jämfört med alternativ 1.

### *Arbetsmiljö*

Metoden kommer att minimera anläggningsarbetarnas exponering för föroreningarna i byggskedet.

### *Påverkan på efterbehandling av Kv. Renen*

Metoden påverkar inte möjligheten att efterbehandla inom Renen 13.

### *Påverkan på plymen från Kv. Renen*

Förorening i plymen kommer att minska eftersom den pumpas upp och renas dock i mindre omfattning jämfört med alternativ 1.

### **5.5.3. Metodens fördelar och nackdelar**

Fördelar med metoden är att den förväntas kunna förhindra spridning av förorening från källområdena och begränsa exponeringen för arbetarna under byggtiden. Metoden begränsar inte möjligheten att efterbehandla Renen 13 samtidigt som järnvägsbygget pågår. Tidplanen ändras inte.

Nackdelen är att metoden påverkar grundvattenströmningen i området så att föroreningsplymen kan bli utspädd och mera utbredd. Kostnaden är högre än för alternativ 1 och 4.

## **6 Jämförelse mellan alternativen**

I stora drag kan de presenterade alternativen uppfylla ställda krav men vissa metoder gör det bättre än andra. I Tabell 1 har alternativens möjlighet att uppfylla målen klassificerats och sammanställts. Ett + anger att metoden uppfyller målen mycket bra, 0 att målet uppfylls tillräckligt bra, - innebär att målet uppfylls men sämre än alternativ 1 och -- innebär att det är osäkert om målet uppfylls.

Kostnadsmissigt är alternativ 1 att föredra medan alternativ 4 och 5 är något mera kostsamma. Alternativ 2 och 3 är betydligt mera kostsamma.

Ingen av metoderna medför oöverstigliga problem att genomföra byggandet av järnvägsanläggningen och alla metoderna medför att grundvatten bortleds så att schakten för tråget kan genomföras i torrhet.

Alla metoderna har vissa osäkerheter vad gäller möjlighet att genomföra dem på ett säkert och förutsägbart sätt. Alternativ 1 är det som i störst utsträckning nyttjar beprövad teknik. Alternativ 5 bedöms vara osäkert eftersom det kan vara svårt att styra pumpningen och därmed uppnå önskvärd avsänkning och strömningsriktningar på olika håll inom ett begränsat område med heterogent berg. Det finns således en relativt stor osäkerhet om metoden uppnår målet att inte öka spridningen av föroreningsplymen.

Tidsmissigt bedöms alternativen 1, 4 och 5 kunna genomföras inom föreliggande tidplan medan alternativ 2 och 3 kommer att förlänga tidplanen för projektet. Alternativ 3 förväntas även påverka tidplanen för Renenprojektet negativt eftersom frysridå inte ska göras samtidigt som termisk rening.

Skillnaden mellan alternativen är liten vad gäller drift och underhåll samt livscykelkostnad. Ur arbetsmiljösynpunkt är alternativet med frysridå det bästa eftersom även föroreningsplymen innesluts av den frysta tätskärmen.

Ingen av metoderna påverkar föroeningen på Renen 13 i så stor utsträckning att möjligheten till en lyckad sanering riskeras men frysridån kan påverka tidplanen för Renenprojektet negativt och har därför klassats som negativ för aspekten påverkan på Kv. Renen.

Metodernas påverkan på föroreningsplymen varierar. Alternativ 1 ger störst positiv effekt eftersom mycket av föroeningen i plymen kommer att renas och pumpningen vid sponten medför att plymens utbredning reduceras. Alternativ 2 innebär att plymen i hög grad lämnas opåverkad. Begränsad pumpning med efterföljande rening bidrar till att uppfylla målet. Med alternativ 3 begränsas plymens utbredning av frysridån och begränsad pumpning med efterföljande rening bidrar till att uppfylla målet i hög grad. Alternativ 4 håller tillbaka plymen och förhindrar att plymen ökar i utbredning. Med alternativ 5 är det sannolikt att plymen ökar i utbredning även om koncentrationen sjunker genom utspädning.

Tabell 1: Påverkan på måluppfyllelse

Aspekt	Alt. 1 Pumpning vid spont	Alt. 2 Extra tätning	Alt. 3 Frysridå	Alt. 4 Pumpning i Kv. Renen	Alt. 5 Pumpning och infiltration
Totalkostnad	0	--	--	-	-
Byggbarhet	0	0	0	0	0
Genomförande	+	-	-	-	--
Tidplan	0	-	--	0	0
Drift- och underhåll	0	0	0	0	0
Livscykelkostnad	0	-	-	-	-
Arbetsmiljö	0	0	+	0	0
Påverkan på Kv. Renen	0	0	-	0	0
Påverkan på föroreningsplym	++	0	+	0	-

Sammantaget visar jämförelsen att alternativ 1 är det alternativ som i störst utsträckning bidrar till att uppfylla målet utan att öka kostnaderna eller förlänga tidplanen.

## 7 Rekommenderat val

Baserat på dagens kunskapsnivå är alternativ 1 är det bästa metodvalet som uppfyller alla uppsatta mål. För att minska riskerna med alternativet kommer fördjupade undersökningar att genomföras med syfte att bättre kartlägga de hydrauliska egenskaperna i berget och föroreningens utbredning i jord och berg. Skulle undersökningarna visa att förhållandena är väsentligt annorlunda, t ex att föroreningen är betydligt mera utbredd än vad som är känt kan metodiken komma att revideras.

## 8 Referenser

Structor (2011): Miljöteknisk undersökning centrala Varberg, kompletterande miljöteknisk markundersökning samt miljö och hälsoriskbedömning och åtgärdsalternativ med avseende på klorerade lösningsmedel i mark, 2011

Trafikverket (2016): PM Risker avseende föroreningar i samband med schaktarbeten för järnväg väster om kvarteret Renen, 2016-10-12

Trafikverket (2017): PM Frysning Kv. Renen, 2017-06-13.