

PM

# Klorerade alifater i grundvatten

Tygeln 1 och Tygeln 3, Solna stad

**Beställare:**

Skanska  
Magnus Christiansen

**Datum:**

2022-03-10

**Uppdragsnummer:**

HP18028

**Författare:**

Arnulf Hedenvind

[Arnulf.hedenvind@hedenvindprojekt.se](mailto:Arnulf.hedenvind@hedenvindprojekt.se)

08-684 280 28

## Sammanfattning

Hedenvind Projekt AB har på uppdrag av Skanska och Fabege genomfört en utredning av föroreningsituationen med avseende på klorerade alifater i grundvattnet inom fastigheterna Tygeln 1 och Tygeln 3. Syftet har varit att öka kunskapen om framtida föroreningsituation för klorerade alifater inom Tygeln 1 och Tygeln 3 vid grundläggning och om ämnena kan utgöra en hälsorisk för planerad verksamhet.

Provtagningarna från 2015 fram till 2021 visar att grundvattnet i det undre magasinet inom Tygeln 1 och 3 är påverkat av klorerade alifater som tetrakloreten och dess nedbrytningsprodukter som trikloreten och cis-1,2-dikloreten. Spridningen sker i en plym i grundvattnets strömningsriktning från söder och Tygeln 2 mot norr och in under Tygeln 1 och fram till södra Tygeln 3. Totala halten klorerade alifater (PCE-ekvivalenter) i plymen har under senare år varit 10–15 µg/l vilket är en måttlig halt i en föroreningsplym och i nivå med drickbara halter. Föroreningskällan till plymen inom Tygeln 1 och 3 finns uppströms fastigheterna och kan finnas inom Tygeln 2 eller ytterligare uppströms och i så fall i berggrunden.

Uppströms mot nordost och öster i det undre grundvattenmagasinet finns två små plymer med trikloreten som sträcker sig mot Tygeln 1. Totala halterna klorerade alifater är låga <10 µg/l (TCE-ekvivalenter) och kan inte påverka grundvattnet inom Tygeln 1 om dessa små plymer skulle expanderad mot fastighet. Källorna till dessa plymer är sannolikt små mängder trikloreten adsorberad i jord.

Halterna tetrakloreten, trikloreten och cis-1,2-dikloreten i nuvarande och framtida grundvatten under Tygeln 1 och delvis Tygeln 3 utgör en låg och acceptabel hälsorisk utifrån att kontor med garage i källarplan kommer att byggas.

Tetrakloreten och nedbrytningsprodukter finns också i ett par små plymer i det begränsade övre grundvattenmagasinet. Halterna klorerade alifater är låga <10 µg/l (PCE-ekvivalenter).

Hedenvind Projekt rekommenderar att grundvattnet inom Tygeln 1 och 3 och dess omedelbara närhet kontrolleras i ett par provtagningsomgångar för att säkerställa påträffade haltnivåer och för att förbereda för eventuell rening av framtida länshållningsvatten. Klorerade alifater bör också mätas i färdiga källarplan för att verifiera de låga halterna.

## Innehåll

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>5</b>
1.1 Bakgrund .....	5
1.2 Uppdrag och syfte .....	5
1.3 Rapporter som underlag för utredningen.....	5
1.4 Förkortningar av klorerade alifater .....	6
<b>2 Områdesbeskrivning</b> .....	<b>7</b>
2.1 Läge och fastigheter .....	7
2.2 Markanvändning .....	8
2.3 Grundvattenförekomst som kan påverkas av grundvattenföroreningar från området	9
2.4 Ytvattenförekomster.....	9
<b>3 Mark- och vattenförhållanden</b> .....	<b>10</b>
3.1 Jordarter och lagerföljder .....	10
3.2 Grundvattenförhållanden .....	11
<b>4 Verksamheter och möjliga föroreningskällor</b> .....	<b>13</b>
4.1 Generell användning av klorerade alifater .....	13
4.2 Klorerade alifater har inte använts inom Tygeln 1 och 3 .....	13
4.3 Användning av klorerade alifater i närområdet .....	13
4.4 Kemiska och fysikaliska egenskaper .....	16
4.5 Föroreningskällor av klorerade alifater i marken .....	18
<b>5 Resultat klorerade alifater i grundvatten</b> .....	<b>22</b>
5.1 Jämförvärden .....	22
5.2 Övre grundvattenmagasinet .....	24
5.3 Undre grundvattenmagasinet .....	25
5.4 Grundvatten vid provpumpning och läns hållningsvatten .....	27
<b>6 Föroreningssituation i grundvatten</b> .....	<b>29</b>
6.1 Utbredning av klorerade alifater .....	29
6.2 Källor och plymer av klorerade alifater .....	35
6.3 Representativa halter i det undre grundvattenmagasinet inom Tygeln 1.....	38
<b>7 Hälsoriskbedömning</b> .....	<b>39</b>
7.1 Riktvärden för hälsorisker.....	39
7.2 Hälsorisker .....	41
7.3 Spridningsrisker till naturresurser .....	41
<b>8 Slutsatser</b> .....	<b>43</b>
<b>9 Rekommendationer</b> .....	<b>44</b>
<b>10 Referenser</b> .....	<b>45</b>

**Bilagor:**

- Bilaga 1      Generell beskrivning av användning av klorerade alifater
- Bilaga 2      Grundvattenrör i plan
- Bilaga 3      Analyssammanställning

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

En ny detaljplan för fastigheterna Tygeln 1 och Tygeln 3 samt del av Järva 4:11 tas fram för att möjliggöra framtida utveckling med nya kontorsbyggnaderna och parkmark. Del av Järva 4:11 utgörs av Lilla Frösunda park och kommer att användas som ett fördröjningsmagasin i en skyfallsanläggning som ska skydda bland annat Tygeln 1 och Tygeln 3 som ligger i en lågpunkt för området. Inom Tygeln 1 och Tygeln 3 kommer nya kontorsbyggnader att byggas. Inom Tygeln 3 kommer byggnaderna anläggas grunt medan det inom Tygeln 1 kommer att grundläggas djupt med flera källarplan.

Vid djup grundläggning inom Tygeln 1 kan grundvatten från både det övre och undre grundvattenmagasinet påverkas. Föroreningar i grundvattnet kan dels komma att finnas under och omkring framtida källarplan inom Tygeln 1, dels påverka länshållningsvattnet vid grundläggning av byggnaden.

## 1.2 Uppdrag och syfte

Hedenvind Projekt AB har på uppdrag av Skanska och Faberge genomfört en utredning av föroreningssituationen med avseende på klorerade alifater i grundvattnet inom fastigheterna Tygeln 1 och Tygeln 3. Utredningen sammanställer grundvattenprovtagningar som gjorts inom fastigheterna och närliggande fastigheter uppströms.

Syftet med utredningen är att öka kunskapen om framtida möjlig föroreningssituation med avseende på klorerade alifater inom Tygeln 1 och Tygeln 3 och om föroreningarna kan utgöra en miljö- eller hälsorisk för planerad verksamhet.

## 1.3 Rapporter som underlag för utredningen

Den här utredningen omfattar provtagning av grundvatten som genomförts inom Tygeln 1 och Tygeln 3 samt närliggande fastigheter uppströms. Provtagningarna har genomförts mellan 2015 och 2021. Följande undersökningar och sammanställningar har använts:

År	Rapport	Konsult
2021	Modell för grundvattenföroreningar	Golder Associates
2021	Reviderad miljöteknisk markundersökning, Tygeln 1 och 3	Hedenvind Projekt
2021	Miljöteknisk markundersökning kv Gårdsvägen	Hedenvind Projekt
2020	PM Markföroreningar – inför ändrad detaljplan vid Solna station	WSP
2017	PM Hydrogeologi. Miljöprovning för tunnelbana till Arenastaden. Bilaga C8	Stockholms läns landsting
2017	PM Miljökvalitetsnormer för ytvatten. Tunnelbana till Arenastaden	Stockholms läns landsting
2016	Detaljerad miljöteknisk markundersökning och klassificering av jord Kv Tygeln 2, Solna stad	Orbicon
2012	Översiktlig miljöteknisk provtagning. Tygeln 2 Solna	WSP

Utöver utredningarna ovan har vi använt resultat från geotekniska utredningar som ELU Konsult och Golder Associates har genomfört för geoteknik och hydrogeologi inom Tygeln 1 och 3, Tygeln 2 samt Stigbygeln 2, 3, och 5 samt Tömmen 1 och 2.

Vidare har en provtagning genomförts sommaren 2021 av grundvatten mellan fastigheterna Tygeln 1 och Tygeln 2. Resultaten redovisas i den här utredningen.

#### 1.4 Förkortningar av klorerade alifater

I denna PM kommer många olika klorerade alifater att utredas. Dessa förkortas ofta enligt följande:

tetrakloreten = PCE

trikloreten = TCE

Dikloreten = DCE

cis-1,2-dikloreten = cDCE

trans-1,2-dikloreten = tDCE

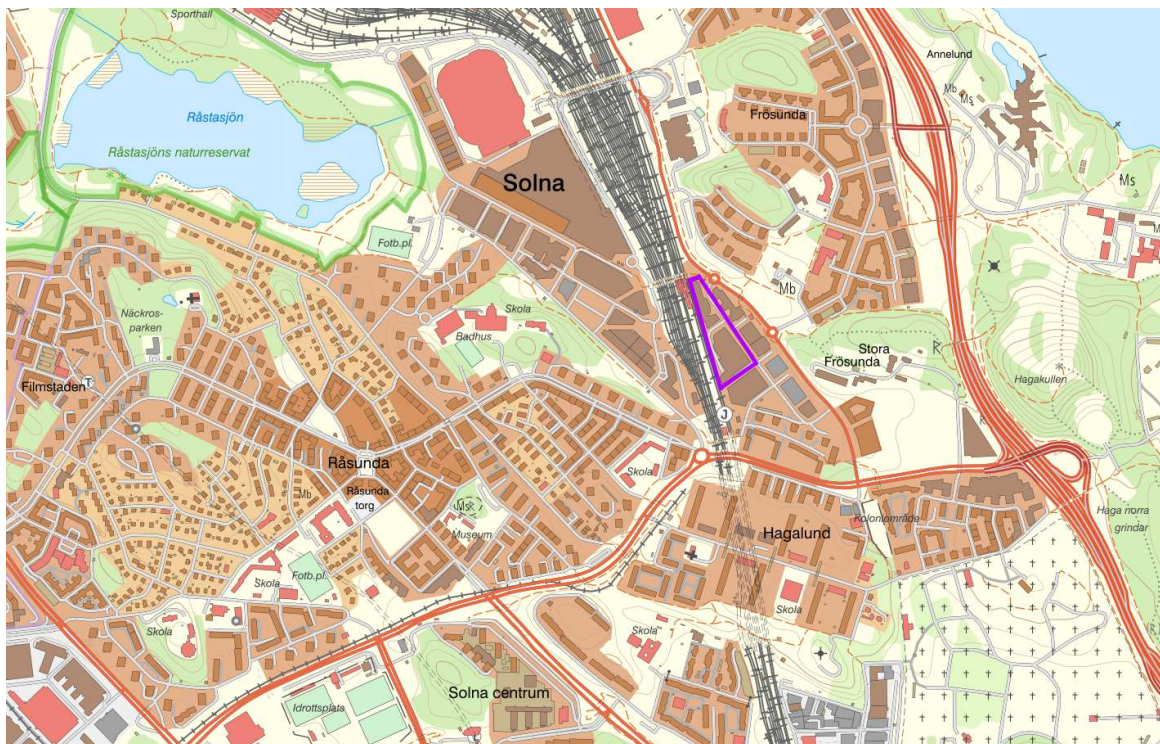
1,1-dikloreten = 11DCE

vinylklorid = VC.

## 2 Områdesbeskrivning

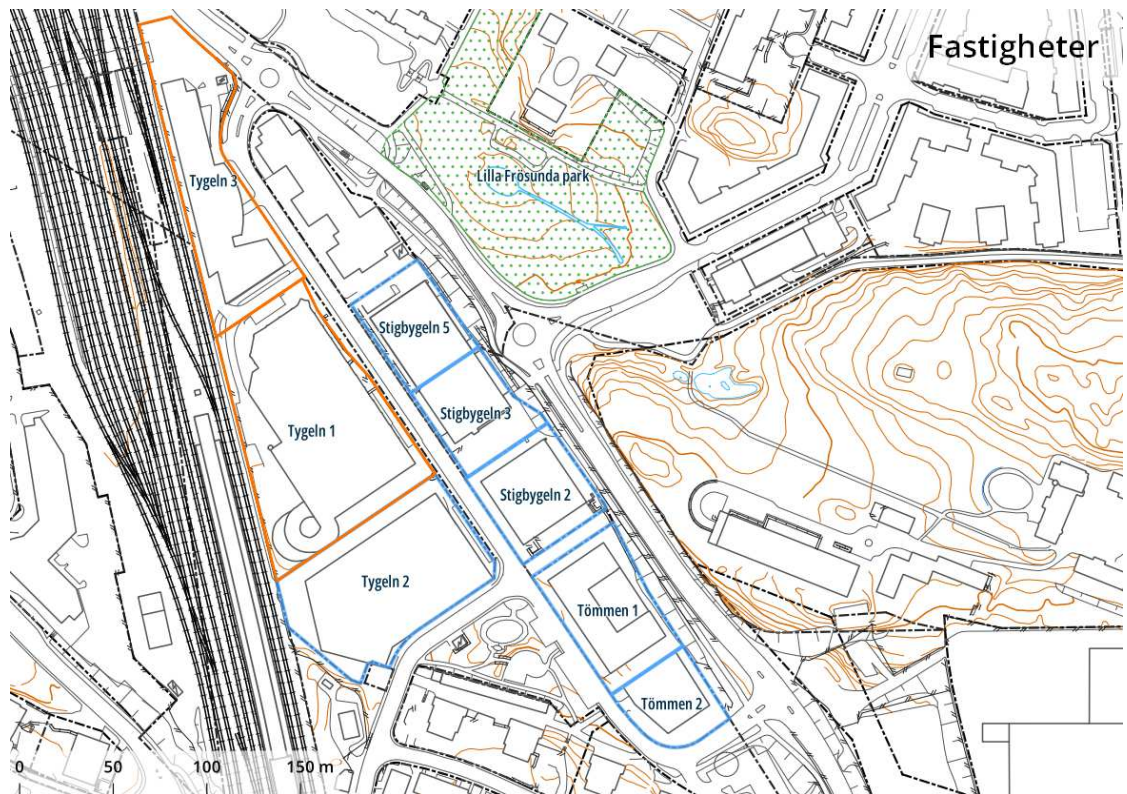
### 2.1 Läge och fastigheter

Tygeln 1 och 3 ligger öster om Solna station i sydvästra delen av stadsdelen Frösunda i Solna stad, se Figur 1.



Figur 1. Tygeln 1 och 3 i lila markering öster om Solna station i sydvästra Frösunda.

Fastigheterna omgärdas av andra fastigheter som också har undersökts, se Figur 2. Mot öster finns Lilla Frösunda park som är en del av Järva 4:11.



Figur 2. Tygeln 1 och 3 samt fastigheter som undersökts uppströms.

## 2.2 Markanvändning

Marken inom Tygeln 1 och 3 är idag till största del bebyggda. Runt om Tygeln 1 finns hårdgjorda ytor som vägar, parkering och trottoarer. Inom byggnaden har det funnits bilförsäljning och bilverkstad samt kontor.

Runt byggnaden inom Tygeln 3 finns en inhägnad grönyta mot väster och hårdgjorda gångvägar och en infart till parkeringsgarage. Inom byggnaden på Tygeln 3 finns det kontor och parkeringsgarage i flera våningsplan.

Mot söder och Tygeln 2 finns en nybyggd byggnad i flera plan med bilförsäljning, bilservice, garage, kontor och restaurang. Garage finns i flera plan.

Mot öster och fastigheterna Stigbygeln 2, 3 och 5 samt Tömmen 1 och 2 finns flera byggnader med kontor, restauranger, handel men också mindre industrier som läkemedelstillverkning, däckverkstad med mera. Runt dessa byggnader finns hårdgjorda ytor som parkering, vägar och gångbanor.



## 2.3 Grundvattenförekomst som kan påverkas av grundvattenföroreningar från området

Närmaste grundvattenförekomst som kan påverkas av föroreningar från området är Stockholmsåsen-Solna som ligger nordost om området, se Figur 3. Mot öster finns Stockholmsåsen-Haga som dock inte kan påverkas av grundvatten från området.

Spridning till Stockholmsåsen-Solna sker som löst fas med grundvattnet och i dess strömningsriktning. Avståndet är stort och går via Arenastaden och varför eventuell spridning tar lång tid eftersom strömningshastigheten är någon meter per år. Vidare bildar klorerade alifater plymer som det är tveksamt om de kan nå Stockholmsåsen-Solna utifrån föroreningskällornas begränsade storlek.



Figur 3. Grundvattenförekomster, Stockholmsåsen-Solna och Stockholmsåsen-Haga i Stockholmsåsen. Streckad linje omfattar grundvattenförekomsternas tillströmningsområden.

## 2.4 Ytvattenförekomster

Närmaste ytvattenförekomst är Brunnsviken som kan påverkas genom spridning via grundvattnet i det undre magasinet, se Figur 3.

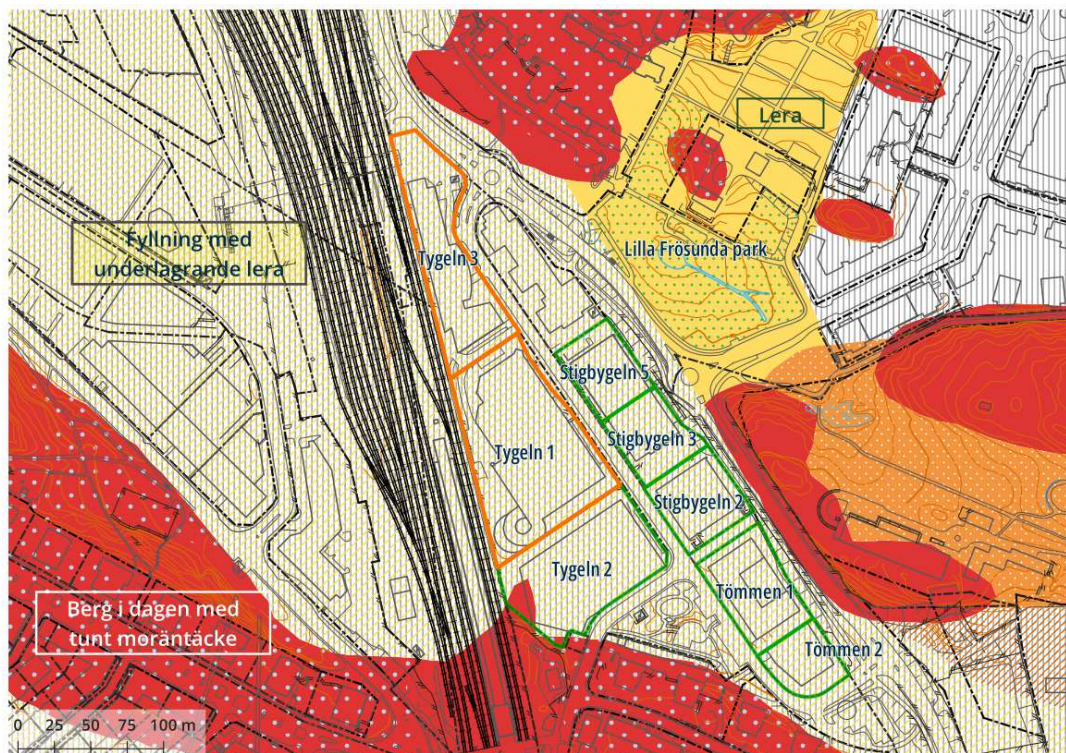
Spridning i det övre grundvattenmagasinet kan vara snabbare och ske via äldre avledningssystem av ytvatten som gamla diken som gått till Råstaån som i sin tur rinner ut i Brunnsviken.

### 3 Mark- och vattenförhållanden

För spridning av klorerade alifater från källa och ut i en spridningsplym är jordarter och grundvattenförhållanden viktiga parametrar.

#### 3.1 Jordarter och lagerföljder

Ett snitt över jordarter (på 0,5 m djup) i plan från SGU:s jordartskarta 1:25 000–1:100 000 visas i Figur 4.



Figur 4. Utsnitt från SGU:s jordartskarta 1:25 000 (SGU, 2022).

Inom Tygel 1 och 3 samt närliggande fastigheter finns fyllning med underlagande lera längs sprickdalen som löper från Arenastaden mot området. Höjderna längs dalgången består av berg i dagen eller berg med ett tunt moräntäcke. Över ett av höjdområdena (mot Stora Frösunda) finns glaciala eller postglaciala sandlager som utlöpare från Stockholmsåsen.

SGU:s jordartskarta visar den storskaliga jordarternas utbredning. I verkligheten har undersökningar visat att lera saknas inom Tömmen 1 och 2 där det finns växellagring av sand, silt och lera. I Fröparken söder om Tygel 2 finns ingen lera utan berg i dagen eller fläckvis tunt moränlager. Tygel 2 saknar idag jordlager eftersom de schaktas ur för nuvarande byggnad.

Lerans tjocklek är tunnast mot dalgångskanterna, dvs. öster, söder och norr om Tygeln 1 och 3. Mäktigheten på leran ökar mot dalgångens mitt dvs. mot väster och Ostkustbanan/Arlandabanan.

Under lera finns i morän (utom området för Tömmen 1 och 2). Geotekniska undersökningar har visat att moränlagret under leran är delvis tunt öster om Gårdsvägen och fastigheterna Stigbygeln 2, 3 och 5 men ökar till större mäktigheter mot väster och Tygeln 1 och vidare ut mot dalgångens mitt och Ostkustbanan/Arlandabanan.

### 3.2 Grundvattenförhållanden

Bedömd utbredning av övre och undre grundvattenmagasinen kring Tygeln 1 och 3 visas i Figur 5. Bedömningen har gjorts från påträffade magasin i provpunkter och grundvattenrör, geologi, ekonomiska kartan (diken), häradsekonomiska kartan (diken) och uppgifter om grundvatten under källargolv inom Tygeln 1.

#### *Övre grundvattenmagasinet*

Det övre grundvattenmagasinet har påträffats längs tidigare diken (från Häradsekonomiska kartan, och Ekonomiska kartan) samt under byggnaden inom Tygeln 1 dvs. lågpunkter från grundläggning eller tidigare avvattning när området var ängs- och åkermark. Det övre magasinet är tunt och utgör mindre än en decimeter upp till några decimetrar i nedre fyllningen och övre torrskorpeleran. Normalt består det övre magasinet av flera små magasin som ibland kan hänga samman enligt Figur 5. Vattnet i det övre magazine härstammar sannolikt från nederbörd som läcker igenom icke hårdgjorda ytor samt läckage från avlopps- och vattenledningar.

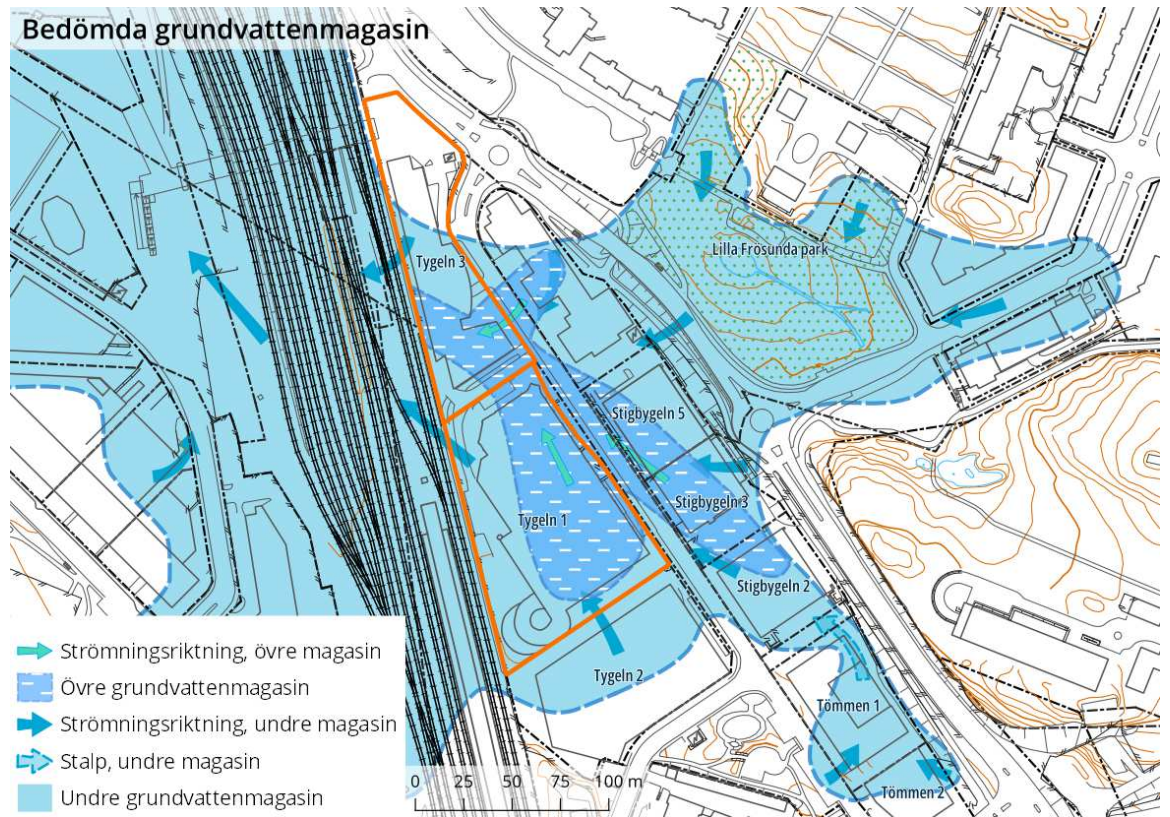
#### *Undre grundvattenmagasinet*

Utbredningen av det undre grundvattenmagasinet är sammanhängande och bedöms vara enligt Figur 5 utifrån genomförda undersökningar. Det grundvattenbärande jordlagret är morän under lera utom inom Tömmen 1 där jordlagret består av växellagring av sand, lera och silt. Tätande lerlager saknas från södra Stigbygeln 2 och mot söder och Tömmen 1 och 2.

Magasinen inom Tömmen 1 och delvis Tömmen 2 kan delvis vara ett eget litet magasin eftersom det rinner över en berggribba som fungerar som stalp i norra Tömmen 1 och södra Stigbygeln 2. Stalpet syns genom brantare grundvattengradient från Tömmen 1 mot Stigbygeln 2.

Inom Tygeln 2 finns idag det undre magasinet inte i några jordlager eftersom dessa har schaktats ur till berg (även viss bergschakt) vid grundläggning av nuvarande byggnad.

Infiltration och grundvattenbildning sker vid dalgångskanter och även inom Tömmen 1 och 2 där morän eller växellagring sticker upp mellan berg och lera. Grundvattenbildning sker även genom torrskorpelera kring höjdområden vid dalgångskanterna.



Figur 5. Bedömd utbredning och strömningsriktningar i övre och undre grundvattenmagasinen. Stalp utgör brantare gradient vid norra Tömmen 1.

## 4 Verksamheter och möjliga föroreningskällor

### 4.1 Generell användning av klorerade alifater

Generella användning av klorerade alifater beskrivs i Bilaga 1.

Tetrakloreten (PCE) och trikloreten (TCE) är vätskor som varit mycket vanliga lösningsmedel, avfettningsmedel med mera i många olika verksamheter som verkstadsindustrin, i kemtvättar men även inom grafiska verksamheter, kemiindustrin, livsmedelsindustri med flera. PCE och TCE har använts som enskilda vätskor eller en blandning från flera kubikmeter per år till någon eller några liter som avfettning eller rengöringsmedel.

PCE och TCE har också använts i olika produkter som värmeväxlare och transformatorer, lim, färg, sprayburkar med mera i varierande men förhållandevis små volymer för enskilda produkter.

PCE används fortsatt i kemtvättar medan TCE är förbjudet sedan 1996. För TCE finns det dock yrkesmässiga dispenser.

Dikloreten (DCE) och vinylklorid (VC) har också använts i olika verksamheter. DCE för samma ändamål som TCE men är mycket mer ovanligt eftersom vätskan är mycket mer flyktig. VC är en gas och används nästan uteslutande inom plastindustrin i tillverkning av PVC (polyvinylklorid).

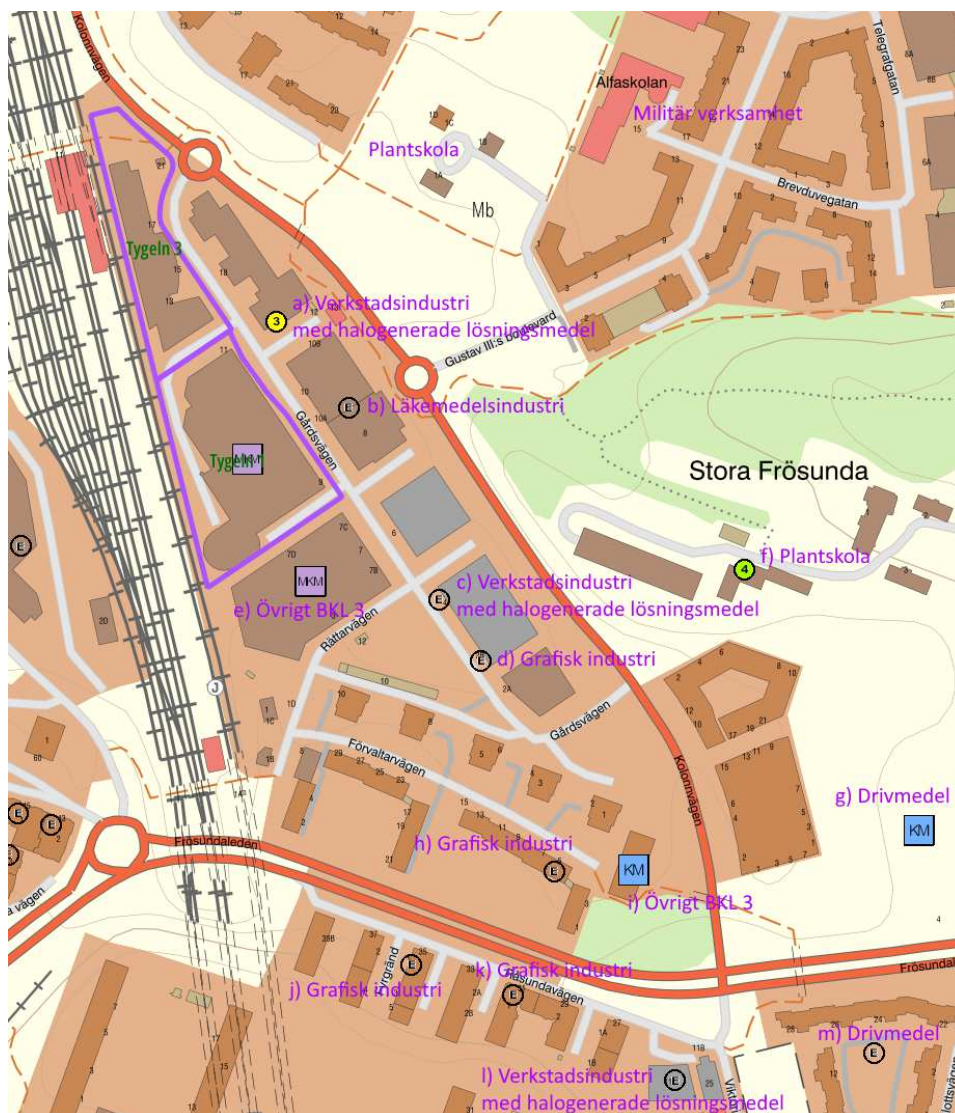
### 4.2 Klorerade alifater har inte använts inom Tygeln 1 och 3

Inom Tygeln 1 och 3 finns ingen känd användning av klorerade alifater i tidigare verksamheter som bilverkstad och bilförsäljning samt äldre parkering, upplag och garage för Tekniska kontoret, Solna stad.

Mindre hantering och användning av PCE och TCE kan inte uteslutas inom några industriområden och verkstadsbyggnader vilket även gäller Tygeln 1 och 3. PCE och TCE har varit ett vanligt avfettnings-, lösnings- och tvättmedel på grund av dess goda fettlösliga förmåga och kan ha använts i små mängder.

### 4.3 Användning av klorerade alifater i närområdet

I Figur 6 visas möjliga och konstaterade förorenade områden i närområdet av Tygeln 1 och 3. Dessa områden ligger uppströms i grundvattnets strömningsriktning.



Figur 6. Karta över misstänkta och konstaterade förorenade områden från länsstyrelsens databas EBH-stödet. Halogenerade lösningsmedel är bland annat klorerade alifater.

Uppströms Tygeln 1 och Tygeln 2 finns det minst 13 möjliga objekt med förorenande områden vilka sammanställs i Tabell 1 nummer a–m. I huvuddelen av dessa kan klorerade alifater som PCE och TCE med flera ha använts i olika stor omfattning. Inga klorerade alifater bedöms ha förekommit vid e – Tygeln 2, f – Hagalund 2:1, i – Hagalund 3:1 och m – Anhalten 1. Vid e – Tygeln 2 har klorerade alifater påträffats i grund- och länshållningsvatten (se nedan).

Inom de noterade verkstadsindustrierna kan PCE och TCE ha använts för rengöring, avfettning och som lösningsmedel i elektrolytiska bad som förzinkning eller förnickling. Inom c och d – Tömmen 1 har det funnits ett hantverkshus med flera mekaniska verkstäder och tryckerier som även inkluderat off-set tryckeri dvs. lite större verksamheter. I dessa verksamheter har klorerade alifater sannolikt använts i varierande mängd

och på flera våningsplan. Det finns dock inga uppgifter om någon omfattande användning i större avfettningsanläggningar eller elektrolytiska anläggningar (Hedenvind Projekt, 2021b) vare sig i bottenvåning eller på andra plan i hantverkshuset. Mindre spridning till mark genom sprickor och genomföringar av bottenplattan kan i så fall ha skett i södra och östra byggnaden där det funnits och finns mekanisk verkstad i bottenplan. Avloppsledningar som spill- och dagvattenledningar kan ha fungerat som spridningsvägar och skapat markföroreningar inom större delen av fastigheten.

Tabell 1. Primära och sekundära verksamheter inom misstänkta och åtgärdade förorenade områden uppströms Tygeln 1 och Tygeln 3. Fetmarkerade fastigheter har undersökts i andra utredningar och tagits med i den här utredningen.

Fastighet	Verksamheter
a) Stigbygeln 6	<i>Primär:</i> Verkstadsindustri – med halogenerade lösningsmedel <i>Sekundär:</i> – <i>Riskklass</i> 3 Klassningen baseras inte på någon provtagning.
b) <b>Stigbygeln 3</b> <b>Stigbygeln 5</b>	<i>Primär:</i> Läkemedelsindustri <i>Sekundär:</i> Övrig organisk kemisk industri
c) <b>Tömmen 1</b>	<i>Primär:</i> Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel <i>Sekundär:</i> Elektroteknisk industri; Grafisk industri; Tillverkning av plast - polyuretan; Verkstadsindustri – utan halogenerade lösningsmedel
d) <b>Tömmen 1</b>	<i>Primär:</i> Grafisk industri <i>Sekundär:</i> Grafisk industri
e) <b>Tygeln 2</b>	<i>Primär:</i> Övrigt BKL 3 <i>Sekundär:</i> Grafisk industri och verkstadsindustri - utan halogenerade lösningsmedel Åtgärdad till MKM dvs. kontorsverksamhet. Större delen av jordtäcknet har grävts ur.
f) Hagalund 2:1	<i>Primär:</i> Plantskola
g) <b>Hagalund 2:2</b>	<i>Primär:</i> Drivmedelsanläggning <i>Sekundär:</i> Bilvårdsanläggning, bilverkstad och åkerier; Livsmedelsindustri Delåtgärdad för bostads-, kontor- och centrumverksamhet.
h) Ridskolan 1	<i>Primär:</i> Grafisk industri
i) Hagalund 3:1	<i>Primär:</i> Övrigt BKL 3 <i>Sekundär:</i> – Delåtgärdad.
j) Fänriken 1	<i>Primär:</i> Grafisk industri
k) Nordan 27	<i>Primär:</i> Grafisk industri <i>Sekundär:</i> Bilvårdsanläggning, bilverkstad samt åkerier; Livsmedelsindustri
l) Fjorden 9	<i>Primär:</i> Verkstadsindustri – med halogenerade lösningsmedel
m) Anhalten 1	<i>Primär:</i> Drivmedelshantering <i>Sekundär:</i> Skrothantering och skrothandel; Bilvårdsanläggning, bilverkstad samt åkeri.

Inom Stigbygeln 5 och 3 har det funnits och finns det läkemedelsindustri. I byggnaden på Stigbygeln 5 finns garage i nedersta källarplan medan det i byggnadens bottenplan i Stigbygeln 3 funnits förpackning och lager för läkemedelstillverkning förutom pannrum, skyddsrum och förråd. Eventuell spridning av klorerade alifater till marken kan framför allt ha förekommit via avloppsledningar som spill- och dagvattenledningar dvs. inom större delen av fastigheterna.

Verkstadsindustrin inom a – Stigbygeln 6 har inte undersökts. Inom fastigheten fanns mekanisk verkstad, John Sjöding & Co, som länsstyrelsen klassificerats i riskklass 3 måttlig risk utifrån att klorerade alifater var vanliga i verkstadsindustrier under verksamhetstiden. Byggnaden med verkstadsindustrin finns inte längre kvar (revs före 1980) men var en mindre byggnad mitt i fastigheten.

Länsstyrelsens sammanställning ska ses som översiktlig och ofullständig men även överskattande av risker för markföroreningar.

Sammanställningen blandar obetydliga verksamheter med större medan ibland betydande förorenande verksamheter saknas. I länsstyrelsens sammanställning över misstänkta och åtgärdade förorenade områden saknas information om plantskola inom Lilla Frösunda gård och att försvaret haft sin verksamhet under lång tid i Frösunda nordost om Lilla Frösunda park. Vidare saknas att det inom område ”m” längst i söder i Figur 6 funnits Stockholmsområdets största istillverkning inom fastighet Anhalten 1 med stora kylanläggningar nedsprängda i berget. Dessutom fanns den sekundära skrotverksamheten som anges för ”m” inte inom Anhalten 1 utan på grannfastigheten.

#### 4.4 Kemiska och fysikaliska egenskaper

Kemiska och fysikaliska egenskaper hos klorerade alifater kommer att styra hur ämnena sprids till och i marken samt hur de kan komma att exponera olika skyddsobjekt. I Tabell 2 visas kemiska och fysikaliska egenskaper för tetrakloreten (PCE), trikloreten (TCE), cis-1,2-dikloreten (cDCE), trans-1,2-dikloreten (tDCE) och vinylklorid (VC).



Tabell 2. Kemiska och fysikaliska data för PCE, TCE, cDCE, tDCE och VC. Data har i huvudsak hämtats från PubChem (National Institutes of Health, 2022). I PubChem invar Hazardous Substances Data Bank (HSDB).

Ämne		Molekylvikt [g/mol]	Vattenlöslighet [mg/l]	Viskositet [cP]	Densitet [g/cm <sup>3</sup> ]	Ångtryck [kPa]	Henrys konstant [-]	Log K <sub>ow</sub>	K <sub>oc</sub> [l/kg]
Tetrakloreten (PCE)	vätska	166,0	206	0,89	1,62	2	0,72	3,4	263
Triklloreten (TCE)	vätska	131,38	1 280	0,49	1,46	8	0,367	2,6	101
Cis-1,2-dikloreten (cDCE)	vätska	96,94	6 400	0,48	1,28	24	0,17	1,85	49
Trans-1,2-dikloreten (tDCE)	vätska	96,94	4 520	0,41	1,26	35	0,38	2,08	59
Vinylklorid (VC)	gas	62,5	2 700	0,01	0,91	337	1,14	1,46	57

PCE och TCE är hydrofoba vätskor som är tyngre än vatten och med en sötaktig lukt. PCE och TCE har log K<sub>ow</sub> nära 4 som brukar anges som gräns för helt hydrofoba ämnen. DCE har lägre log K<sub>ow</sub> men förekommer sällan som vätska i marken eftersom ämnet oftast är nedbrytningsprodukt och inte ursprunglig förorenande vätska. VC är en gas under normala tryck och temperaturer och sprids därför inte till marken. VC i marken är en nedbrytningsprodukt från ursprunglig PCE eller TCE.

Vätskorna PCE och TCE har lägre viskositet (och högre fluiditet) än vatten (som har 1 cP) och kan därför spridas lättare och snabbare än vatten i markens porsystem.

Vattenlösligheten är relativt hög för TCE, DCE och VC för att vara hydrofoba vätskor om än mycket lägre än t.ex. etanol. Vattenlösligheten är störst för cDCE men är ändå mindre än 1 % som kan jämföras med etanols 100 % löslighet i vatten. Den låga om än relativt goda vattenlösligheten för att vara markföroreningar bidrar till att klorerade alifater påträffas i både grundvatten och porgas även om mängderna inte är så stora. Den låga absoluta lösligheten bidrar till att föroreningar kan finnas kvar under lång tid och spridas med grundvatten i spridningsplymer.

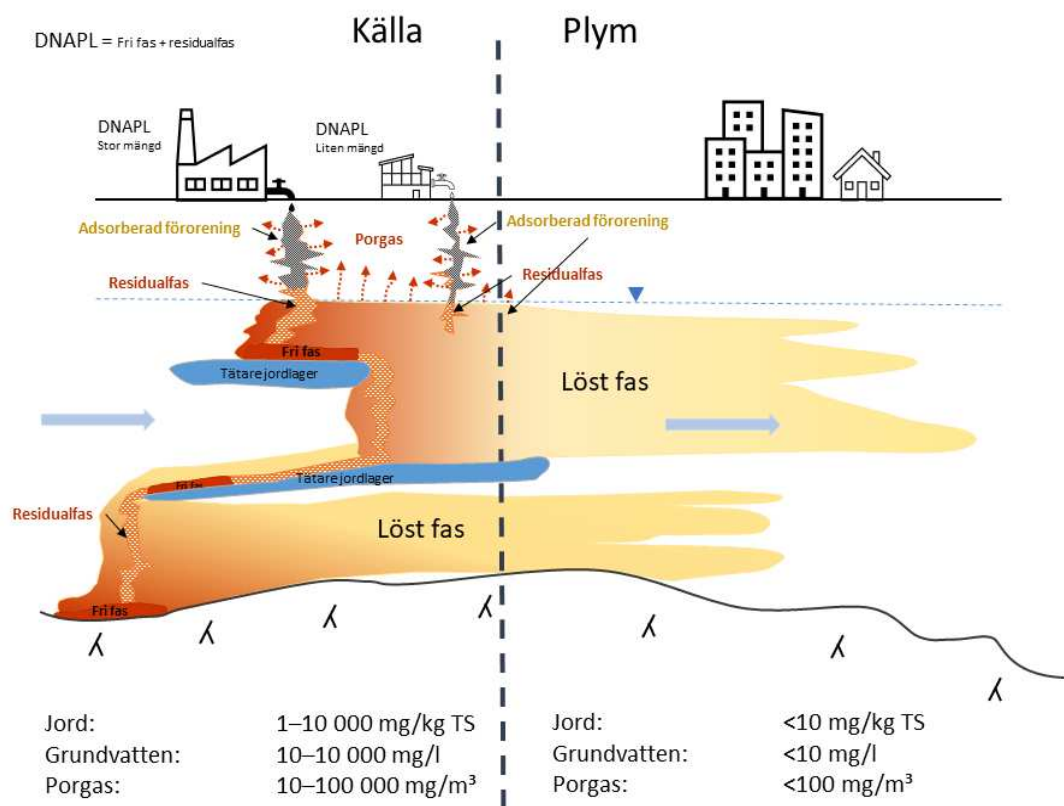
K<sub>oc</sub> visar ämnens fastläggningsförmåga i marken. Alla klorerade alifater i tabellen ovan har relativt låg fastläggningsförmåga vilket tillsammans med de relativt höga (för hydrofoba markföroreningar) vattenlösligheten orsakar att de kan skapa stora spridningsplymer om föroreningsmängden varit stor. PCE har högst fastläggningsförmåga medan DCE och VC har låg fastläggningsförmåga även om alla ämnen fördröjs mer än vatten dvs. retarderas i förhållande till grundvattnets strömningshastighet.

Ångtrycket för PCE är lägre än vatten men något högre än vatten för TCE. För cDCE och VC är ångtrycket högt där VC är en gas under normala förhållanden.

I marken finns de flesta förorenande ämnen i utspädda förhållanden eftersom de ofta är hydrofoba eller har låg vattenlöslighet (undantag finns som till exempel alkoholer, salter eller syror). Under sådan förhållanden beskriver Henrys lag och Henrys konstant bäst hur ämnena fördelas mellan porgas och vatten. VC fördelas nästan helt till porgas medan cDCE fördelas nästan helt till vattenfasen. PCE fördelas relativt mycket till porgas medan TCE fördelas relativt mycket till vattenfasen.

#### 4.5 Föroreningskällor av klorerade alifater i marken

En konceptuell modell för källor och spridning av klorerade alifater i marken visas i Figur 7.



Figur 7. Konceptuell modell för DNAPL som DNAPL för källa och plym. Konceptet visar inte jordlagerföljd inom området.

*Primära föroreningskällor är verksamheter där klorerade alifater använts och hanterats*

Primära föroreningskällor utgör verksamheter där vätskor av klorerade alifater som PCE eller TCE använts. Omfattningen och mängden av användningen i allt från kemtvättar till avfettning i verkstadsindustrier har varierat stort från flera kubikmeter per år till 10-tals liter per år. Dessutom har framför allt TCE varit ett vanligt avfettningsmedel för ännu mindre

hantering på någon eller några liter per år inom till exempel grafiska verksamheter med flera där det funnits behov av ett effektivt avfettnings- och rengöringsmedel. Dessutom har PCE och TCE använts i liten skala inom de flesta industrier och verkstäder och har funnits i många olika produkter som lösningsmedel, utspädningsmedel och liknande i lim, färg, sprayburkar med mera.

#### *Frigörelse till marken*

Vätska av PCE eller TCE kan ha spillts, droppats eller läckt ut till marken där anläggningar och hantering använts i våningsplan närmast marken. Större vätskemängder kan ta sig igenom betonggolv men sprickor och genomföringar är ofta viktiga spridningsvägar till marken.

Cisterner och anläggningar med PCE eller TCE vätska kan också vara anlagda i mark där direkt läckage till marken kan förekomma från ledningar, cisterner eller andra markanläggningar.

Avloppsledningar som spill- och dagvattenledningar är viktiga spridningsvägar från verksamheter med PCE och TCE och kan genom dessa sprida föroreningar även från verksamheter högt upp i byggnader. Spridning till mark kan ske genom läckage från trasiga ledningar, sprickor och liknande. Gummipackningar i avloppsledningar kan lösas upp av PCE och TCE och på så sätt skapa läckage till marken. Vätskor med PCE och TCE som ligger an mot avloppsledningar av plast kan läcka genom plasten. Mängderna blir dock små eftersom det sker genom diffusion i plasten amorfa delar. Läckage till marken från avloppsledningar kan både vara vätska av PCE eller TCE och lösta ämnen i avloppsvattnet.

#### *Spridning i marken*

Väl i marken kommer de kemiskt sätt hydrofoba vätskorna PCE eller TCE (ibland en blandning) med hjälp av tyngdkraften att spridas nedåt i jordlagerföljden. Spridningen sker snabbt och kan förekomma i relativt smala band på grund av vätskornas höga densitet och fluiditet (låg viskositet) som är större än vatten. Vätskeutsläpp av PCE och TCE har ofta spridits klart på någon månad eller ännu snabbare. Hastiga utsläpp i större volym skapar ofta bredare spridning av vätskor medan långvariga dropp skapar smalare spridningsvägar som kan nå större djup.

I marken sprids PCE- eller TCE-vätskan genom att mätta jordens porer i så kallad fri fas. Efter fria fasen passerat lämnas droppar eller strängar (ganglier) av vätska i så kallad residualfas. Tillsammans utgör fri fas och residualfas NAPL – non-aqueous phase liquid som för klorerade alifater är tyngre än vatten och därför anges som DNAPL (dense non-aqueous phase liquid).

Bildandet av residualfas leder till att PCE- eller TCE-vätskan till slut stannar upp dvs. vätskan "tar slut". Beroende på vilket geologisk formation som vätskan sprids i samt hur den sprids (plötsligt utsläpp eller långsamt droppande) kan olika stora och djupa NAPL bildas. Vidare kommer även PCE- eller TCE att fördelas till jordpartiklar och adsorberas på främst organiskt material.

Fri fas av PCE eller TCE kan samlas upp i ansamlingar på tätare jordlager eller bergytter (så kallade pools). Dessa ansamlingar kan sedan i sin tur spridas vidare som fri fas längs geologiska formationer (tvärs grundvattnets strömningsriktning) och skapa nya ansamlingar på större jorddjup samt efterföljande residualfas. Dessutom kan PCE och TCE diffundera in i det tätare jordlagret eller i mikrosprickor i berggrunden och sedan fungera som en slags källzon under lång tid.

Från NAPL löses PCE eller TCE till grundvattnet och sprids sedan i dess flödesriktning. Spridningen sker långsammare än grundvattnet eftersom ämnena har en viss fastläggningsförmåga. PCE och TCE har större fastläggningsförmåga än DCE och VC (se skillnad i  $K_{oc}$  ovan). Fastläggningsförmågan är dock mindre än för många andra markföroeningar. Den relativt låga fastläggningsförmågan och den relativt höga vattenlösligheten för att vara hydrofoba vätskor gör att PCE och TCE kan skapa stora spridningsplymer. Dessa kemiska egenskaper leder också till att även små NAPL eller adsorberad föroening kommer att påträffas i grundvatten men i låga halter.

#### *Nedbrytning kan ske naturligt med hjälp av mikroorganismer*

I plymen kan PCE och TCE brytas ned naturligt med hjälp av mikroorganismer om förhållanden är de rätta. Vanligast är så kallad reduktiv deklorering där huvudämnet successivt bryts ned till ämnen med färre antal klor i följande kedja: tetrakloreten (PCE) → triklloreten (TCE) → diklloreten (DCE) → monoklloreten (vinylklorid, VC). DCE förekommer i främst isomeren cis-1,2-diklloreten (cDCE) men även trans-1,2-diklloreten (tDCE) och 1,1-diklloreten (11DCE). VC kan brytas ned till eten som i sin tur bryts ned till koldioxid och vatten. VC och i viss mån DCE kan oxideras abiotiskt till exempel längst ut i en spridningsplym med hjälp av angränsande rent och syrerikt grundvatten.

#### *Halter och förekomst av olika klorerade alifater kommer att variera i plym och inom källområden*

Längs en spridningsplym dominerar ursprungämnet, dvs. PCE eller TCE, närmast en källa. Längre nedströms i plymen tar nedbrytningsprodukter successivt över som cDCE. Längst ut och i kanterna av plymen finns VC. Längs en plym kommer dessutom utspädning och dispersion att leda till sjunkande halter och att plymen breddas i strömningsriktningen.

Halterna inom ett område med källor där NAPL av PCE eller TCE förekommer är halterna i jord, grundvatten och porgas höga. I jord kan halterna variera mellan 1–10 000 mg/kg TS, i grundvatten 10–10 000 mg/l (upp till ämnets vattenlöslighet) och porgas 10–100 000 mg/m<sup>3</sup>.

I plymen nedströms är halterna lägre. I jord <10 mg/kg TS och beror av grundvattenhalten och fastläggning av ämnet. I plymen är halten i grundvattnet <10 mg/l, oftast ännu lägre beroende på föroreningskällans storlek och provets läge i plymen. Porgashalten är <100 mg/m<sup>3</sup> i en spridningsplym och beror av halten i grundvattnet varför halterna ofta är ännu lägre och mäts ofta i µg/m<sup>3</sup>.

## 5 Resultat klorerade alifater i grundvatten

Halter klorerade alifater i grundvatten är en viktig del i utvärderingen av både föroreningskällor och spridning av föroreningar i plymer. Orsaken är att källor i jord som NAPL eller adsorberad på jordpartiklar av klorerade alifater ofta utvecklats mer vertikalt än horisontellt i marken och därför inte alltid påträffas i jordprover. Detta är ännu viktigare för små källor eftersom även sådana kommer att påträffas i grundvatten på grund av att klorerade alifater har relativt hög vattenlöslighet för att vara hydrofoba vätskor.

Vidare är det viktigt att skilja på prov från grundvattenrör och prov från länshållningsvatten eller propumpning av grundvatten. Prover från grundvattenrör visar halter i plymer och möjliga källor under opåverkade markförhållanden. Resultat från propumpning kan visa halter längre upp i en plym eller en plym från annat område. Prover från länshållningsvatten visar föroreningar från processvatten i grundläggningen, föroreningar i jord inom området som frigörs i större utsträckning än normalt eller utströmmande grundvatten från jord eller berggrund.

Resultat av klorerade alifater från grundvattenprovtagningar inom Tygeln 1 och Tygeln 3 samt närliggande fastigheter har sammanställts från 2015–2021. Prover omfattar grundvattenrör men även vatten från länshållning och propumpning. Grundvattenrörens läge visas i Bilaga 2 och analyserna finns sammanställda i Bilaga 3.

### 5.1 Jämförvärden

Jämförvärden används för att visa föroreningarnas storleksordning.

#### *Grundvatten som dricksvatten*

För summan av tetrakloreten och trikloreten har SGU ett riktvärde på 10 µg/l (SGU, 2016) för en grundvattenförekomst. Riktvärdet motsvarar Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten (Livsmedelsverket, 2001). SGU:s riktvärde motsvarar ett drickbart grundvatten men visar inte ett grundvattenprovs läge i en plym eller närhet till en källa med NAPL av till exempel PCE.

*Föroreningsnivå klorerade alifater i en plym*

För att kunna bedöma föroreningsnivåer i en plym som sprids från en källa med NAPL kan följande kategorier från låg till mycket hög halt användas:

<b>µg/l</b>	<b>Värdering av halt i plym med klorerade alifater</b>
<10	Låg
10–100	Måttlig
100–1000	Hög
>1000	Mycket hög

I sammanställningen har vi valt att även beräkna total halt klorerade alifater uttryckt som ekvivalenter av ursprunglig förorening dvs. antingen PCE- eller TCE-ekvivalenter. Halten beräknas från mängden av varje enskild klorerad alifat i mol/l som sedan summeras och i sin tur åter igen beräknas till mg/l för ursprungsåmnet. På så sätt kommer inte ursprungsmängden att underskattas vilket den gör om alla ingående klorerade alifater i mg/l summeras (eftersom molvikten för PCE är mycket högre än för VC). Med denna beräkning syns också hur mycket av klorerade alifaterna (CAH) som bryts ned, späds ut eller hur dispersionen sker längs plymen.

Mycket hög halt är en försiktig skattning av 1 % av vattenlösligheten för det minst vattenlösliga klorerade alifaten PCE där vattenlösligheten brukar anges mellan 150 och 206 mg/l dvs.  $\approx 1$  mg/l eller 1 000 µg/l. Denna nivå brukar anges som tumregel för att NAPL kan finnas i närheten och uppströms ett grundvattenprov<sup>1</sup>. För TCE är skattningen på 1 000 µg/l extra försiktig eftersom vattenlösligheten är 1 280 mg/l och således 1 % = 12,8 mg/l.

Låg halt utgör Livsmedelsverkets gränsvärde och SGU:s riktvärde för PCE+TCE dvs. en drickbar halt. Måttlig till hög halt utgör tiopotensgränser mellan mycket hög och låg halt.

<sup>1</sup> Tumregeln om 1 % av ämnets vattenlöslighet baseras på en skattning Amerikanska Naturvårdsverkets (USEPA) gjorde 1994. Skattningen baseras på en generell filterlängd av 3 m där spridning av klorerad alifat sker i skikt och lager i jordlagerföljden och som späds ut med rent grundvatten längs filterlängden. I många svenska grundvattenrör är filterlängden ofta mindre, 0,5–1 m, och jordarten ofta en morän där skikt och lager saknas. Därför är 1 % tumregel ibland en mycket försiktig skattning av närhet till NAPL (fri fas och residualfas).

## 5.2 Övre grundvattenmagasinet

Klorerade alifater i det övre grundvattenmagasinet visas i Tabell 3.

Tabell 3. Klorerade alifater i det övre grundvattenmagasinet inom och uppströms Tygel 1 och 3.

µg/l		Inom området		Uppströms	
		Tygel 1	Tygel 3	Stigbyg.3	Stigbyg.5
Ämne	SGUrv	19H04Ö:1	21E3026:L1	21E3056:L1	21E3066:L1
Datum		11 april -19	30 april -21	30 april -21	30 april -21
PCE		<0,20	<0,20	0,39	<0,20
TCE		<0,10	<0,20	0,7	<0,20
PCE + TCE	10	<0,20	<0,20	1,09	<0,20
cDCE		0,22	<0,20	0,42	<0,20
tDCE		<0,10	<0,20	<0,20	<0,20
s:a DCE		0,22	<0,20	0,42	<0,20
VC		<1,00	<0,50	<0,50	<0,50
PCE-ekvivalenter		0,38	<0,4	1,99	<0,4
Källzon NAPL		Nej	Nej	Nej	Nej

Inom området har cDCE påträffats i det övre grundvattenmagasinet.

Uppström har PCE, TCE och cDCE påträffats i ett av tre undersökta grundvattenrör.

Inom och uppströms Tygel 1 och 3 underskrider klorerade alifater SGU:s riktvärde för PCE+TCE.

Halten PCE-ekvivalenter är låga för en plym och visar att det inte finns någon närliggande källzon NAPL av PCE eftersom halterna tydligt underskrider 2 mg/l.



## 5.3 Undre grundvattenmagasinet

*Grundvatten inom Tygeln 1 och 3*

Klorerade alifater i det undre grundvattenmagasinet inom Tygeln 1 och 3 visas i Tabell 4.

Tabell 4. Klorerade alifater i undre grundvattenmagasinet inom Tygeln 1 och 3.

µg/l		Tygeln 3	Tygeln 3	Tygeln 3	Tygeln 1	Tygeln 1
Ämne	SGU rv	19H04U:2	14W019u	14W018br:3	19H09U:4	17E01GV:5
Datum		11-apr-19	22-maj-15	11-apr-19	11-apr-19	11-apr-19
PCE		<0,20	8,96	<0,20	10,3	<0,20
TCE		<0,10	4,77	<0,10	2,18	<0,10
PCE+TCE	10	<0,20	13,73	<0,20	12,5	<0,20
cDCE		<0,10		<0,10	0,9	0,17
tDCE		<0,10		<0,10	<0,10	<0,10
s:a DCE		<0,10		<0,10	0,9	0,17
VC		<1,0		<1,0	<1,0	<1,00
PCE-ekvivalenter		<0,25	15	<0,25	14,6	0,4
Källzon NAPL		Nej	Nej	Nej	Nej	Nej

Inom Tygeln 1 och 3 har PCE, TCE och cDCE påträffats i det undre grundvattenmagasinet.

PCE+TCE har överskridit SGU:s riktvärde i två rör vid två olika tillfällen 2015 och 2019.

Den totala halten klorerade alifater som PCE-ekvivalenter förekommer i låg till måttlig halt. Halterna visar att det inte finns någon källzon med NPAL av PCE i närområdet eftersom halterna tydligt underskrider 2 mg/l.

*Grundvatten som strömmar in till Tygeln 1 och 3*

**Inströmande grundvatten från söder och Tygeln 2.** I Tabell 5 visas klorerade alifater i undre grundvattenmagasinet inom Tygeln 2 som ligger uppströms och strömmar in mot Tygeln 1 från söder.

Tabell 5. Klorerade alifater inom Tygeln 2 söder om Tygeln 1.

µg/l		Tygeln 2	Tygeln 2	Tygeln 2	Tygeln 2
Ämne	SGUrv	13W1G	15E17GW	21E201u	21E202u
Datum		16-04-21	16-04-21	21-06-10	21-06-10
PCE		<0,20	3,78	4,8	1,3
TCE		<0,10	8,73	2,4	1,4
PCE+TCE	10	<0,20	12,5	7,2	2,7
cDCE		<0,10	14,1	2,2	6,6
tDCE		<0,10	0,13	<1,0	<1,0
s:a DCE		<0,10	14,2	2,2	6,6
11DCE		<0,10	0,12	<0,10	<0,10
VC		<1,0	2	<1,0	<1,0
PCE-ekvivalenter		<0,25	44,4	11,7	14,5
Källzon NAPL		Nej	Nej	Nej	Nej

PCE, TCE, cDCE, tDCE, 11DCE och VC har påträffats i det undre grundvattenmagasinet inom Tygeln 1.

PCE+TCE överskrider SGUrv i ett prov (15E17GW) från 2016 men inte i närliggande rör (21E201u) från 2021.

Totala halten klorerade alifater uttryckt som PCE-ekvivalenter förekommer i låga till måttliga halter för en föroreningsplym. Halten har minskat mellan 2016 och 2021 (tidigare rör 15E17GW låg invid befintligt 21E201u). Halterna PCE-ekvivalenter visar att det inte finns någon källzon NAPL nära proverna eftersom halterna tydligt underskrider 2 mg/l.

**Stigbygeln 2, 3 och 5 samt Tömmen 1, inströmning från öster.** I Tabell 6 visas klorerade alifater i undre grundvattenmagasinet inom Stigbygeln 2, 3, och 5 samt Tömmen 1 som ligger uppströms och öster samt sydost om Tygeln 1 och 3.

Tabell 6. Klorerade alifater inom Stigbygeln 2, 3 och 5 samt Tömmen 1 sydost om Tygeln 1 och 3.

Fastighet	Stigb. 5	Stigb. 5	Stigb. 3	Stigb. 3	Stigb. 2	Tömn. 1	Tömn. 1	Tömn. 1	Tömn. 1	Tömn. 1	Tömn. 1	
	SGUrv	21E301:L1	21E302:u:L1	21E305:u:L1	21E306:u:L1	21E309:u:L1	13GA02	13GA02:12	13GA03	13GA03:12	13GA04	13GA04:12
µg/l												
Datum		21-04-30	21-04-30	21-04-30	21-04-30	21-04-30	13-09-30	21-05-03	13-09-30	21-05-03	13-09-30	21-04-30
PCE		<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	48	0,27
TCE		2,3	0,11	<0,2	1	0,66	<0,2	<0,10	<0,2	<0,10	37	0,47
PCE+TCE	10	2,3	0,11	<0,20	1	0,66	<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	85	0,74
cDCE		1,8	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	8,3	14
tDCE		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0
s:a DCE		1,8	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	8,3	14
VC		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		<1,0
PCE-ekv.							<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	109	24,8
TCE-ekv.		4,74	0,11	<0,1	1	0,66						
Källzon NAPL		Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej

Inom Tömmen 1 har PCE, TCE och cDCE påträffats i det undre grundvattenmagasinet. Inom Stigbygeln 2 och 3 har TCE påträffats. Inom Stigbygeln 5 har TCE och cDCE påträffats.

I ett prov från Tömmen 1 överskred PCE+TCE SGU:s riktvärde 8 ggr vid provtagning 2013 medan riktvärdet inte överskreds i samma rör vid provtagningen 2021.

Halten TCE-ekvivalenter är låg för Stigbygeln 2, 3 och 5. För ett rör längst uppströms inom Tömmen 1 var halten PCE-ekvivalenter hög 2013 men måttlig år 2021 (omfördelning från PCE och TCE år 2013 till dominans av nedbrytningsprodukten cDCE år 2021). Halterna visar att det inte finns några källzoner med NAPL av TCE eller PCE eftersom halterna tydligt underskrider 12 respektive 2 mg/l.

**Lilla Frösunda park, inströmning från nordost.** I Tabell 7 visas klorerade alifater i undre grundvattenmagasinet inom Lilla Frösunda park som ligger nordost och uppströms om Tygeln 1 och 3.

Tabell 7. Klorerade alifater inom Lilla Frösunda park nordost om Tygeln 1 och 3.

Ämne	SGUrv	14W086K	21E327:L1	21E332:L1
Datum		15-02-10	21-04-29	21-04-29
PCE		<0,1	<0,20	<0,20
TCE		2,8	0,17	<0,10
PCE+TCE	10	2,8	0,17	<0,20
cDCE			<1,00	<1,00
tDCE			<1,00	<1,00
s:a DCE		0,9	<1,00	<1,00
VC		0,4	<1,00	<1,00
TCE-ekvivalenter		4,86	0,17	<0,1
Källzon NAPL		Nej	Nej	Nej

TCE, DCE och VC ha påträffats i grundvattnet inom Lilla Frösunda park.

Halten PCE+TCE underskrider SGU:s riktvärde.

Halten TCE-ekvivalenter förekommer i låga halter och visar att det inte finns någon källzon NAPL nära provpunkterna eftersom halten underskrider 12 mg/l.

#### 5.4 Grundvatten vid provpumpning och länshållningsvatten

Klorerade alifater i grundvatten från pumpstest inom södra Tygeln 3 och norra Tygeln 1 och länshållningsvatten inom Tygeln 2 visas i Tabell 8.

Tabell 8. Klorerade alifater vid pumpstest inom Tygeln 3 och länshållningsvatten uppström inom Tygeln 2. Beräknade PCE-ekvivalenter och bedömning av möjlig källzon men NAPL.

µg/l	Inom området		Uppströms	
	Tygeln 3	Tygeln 3	Tygeln 2	Tygeln 2
Magasin	Pumptest	Pumptest	Läns.v.	Läns.v.
Ämne	SGUrv	14W018br	Läns 1	Läns, flera prov
Datum		15-06-29	15-07-03	dec-17
PCE		23	29	53,5
TCE		9,22	11,7	36,4
PCE+TCE	10	32,2	40,7	89,9
cDCE			20,3	
VC			<1,0	<1,0
PCE-ekvivalenter		34,6	43,8	134
Källzon NAPL		Nej	Nej	Nej

PCE+TCE har överskridit SGU:s riktvärde för både provpumpning inom Tygeln 1 och 3 samt i länshållningsvatten inom Tygeln 2.

Halten PCE-ekvivalenter var måttlig 2015 vid provpumpningen inom Tygeln 1 och 3. I länshållningsvatten inom Tygeln 2 uppströms påträffades

höga halter PCE-ekvivalenter. Både provpumpningen och länshållningsvattnet visade att det inte finns någon närliggande källzon med NAPL eftersom halterna tydligt underskrider 2 mg/l.

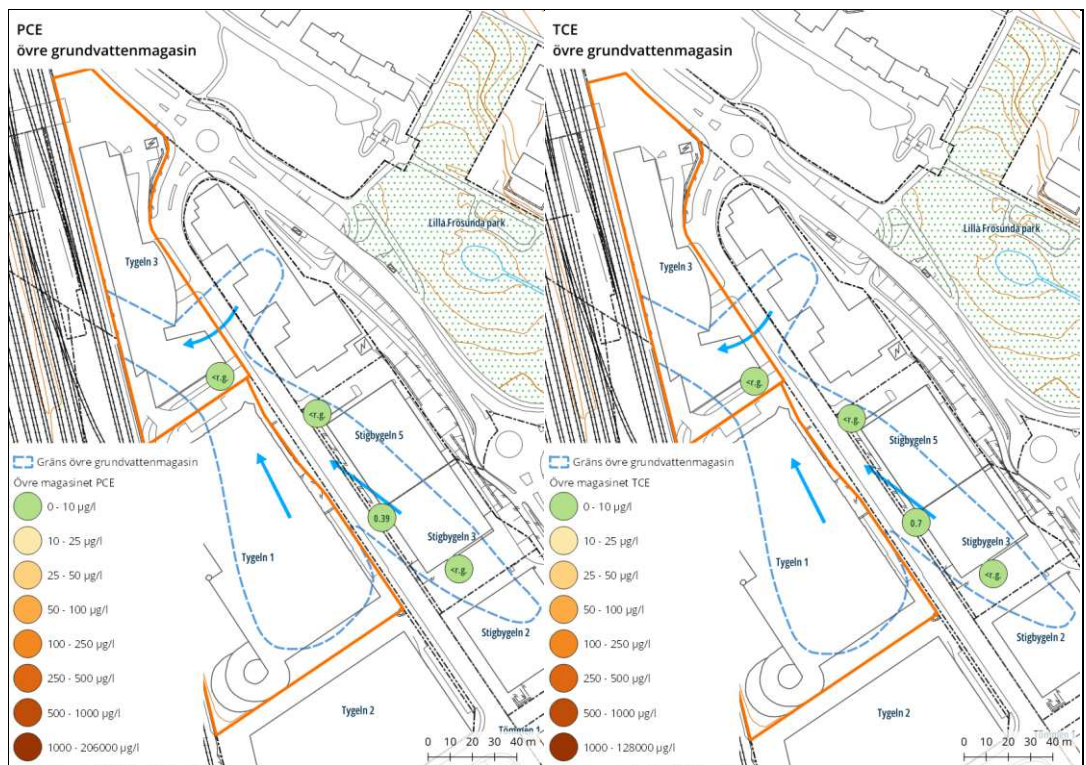
## 6 Föroreningsituation i grundvatten

### 6.1 Utbredning av klorerade alifater

#### Övre grundvattenmagasinet

Det övre magasinet är tunt med någon eller några decimeter vatten i fyllningens nedkant och underlagrande lerans torrskorpa. Det övre magasinet består sannolikt av flera små magasin som ibland har kontakt och kan strömma mot nordväst.

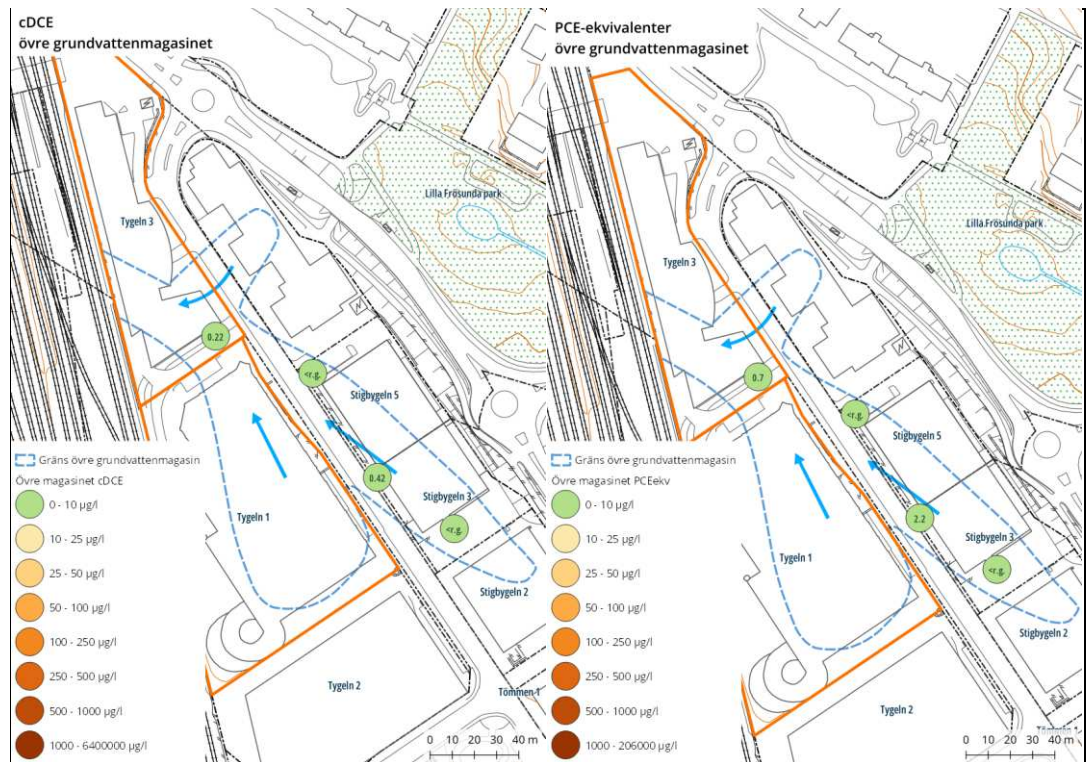
Utbredningen av PCE och TCE i det övre magasinet visas i Figur 8.



Figur 8. Utbredning av PCE och TCE i övre grundvattenmagasinet inom Tygel 1 och 3 och omkringliggande fastigheter (<r.g. = mindre än analysens rapporteringsgräns).

Ursprungssämnena PCE och/eller TCE har bara påträffats i låga halter i ett rör öster om Tygel 1 (nordvästra Stigbygel 3).

Halter cDCE i det övre grundvattenmagasinet visas i Figur 9.



Figur 9. Halter cDCE och PCEekv i det övre magasinet (<r.g. = mindre än analysens rapporteringsgräns).

Nedbrytningsprodukten cDCE har påträffats i låg halt i två punkter, en i södra Tygel 3 och en öster om Tygel 1 där även PCE och TCE förekommer. Förekomst av cDCE visar att PCE och TCE bryts ned naturligt.

Förekomst av låga halter PCE-ekvivalenter visar att det sannolikt utgörs av två olika små källor av PCE/TCE som finns i södra Tygel 3 och norra Tygel 1 respektive öster om Tygel 1 i nordvästra Stigbygeln 3.

### Undre grundvattenmagasinet

Det undre grundvattenmagasinet finns främst i morän och varierar i tjocklek från tunnare öster om Tygel 1 och 3 för öka in under fastigheterna och ut mot Ostkustbanan/Arlandabanan. Det undre magasinet är ett sammanhängande magasin förutom möjligen i allra sydostligaste delen där grundvattenförande lagret är växellagrad sand, sil och ler bakom en bergribba som fungerar som stalp.

Utbredningen av PCE i det undre grundvattenmagasinet visas i Figur 10.

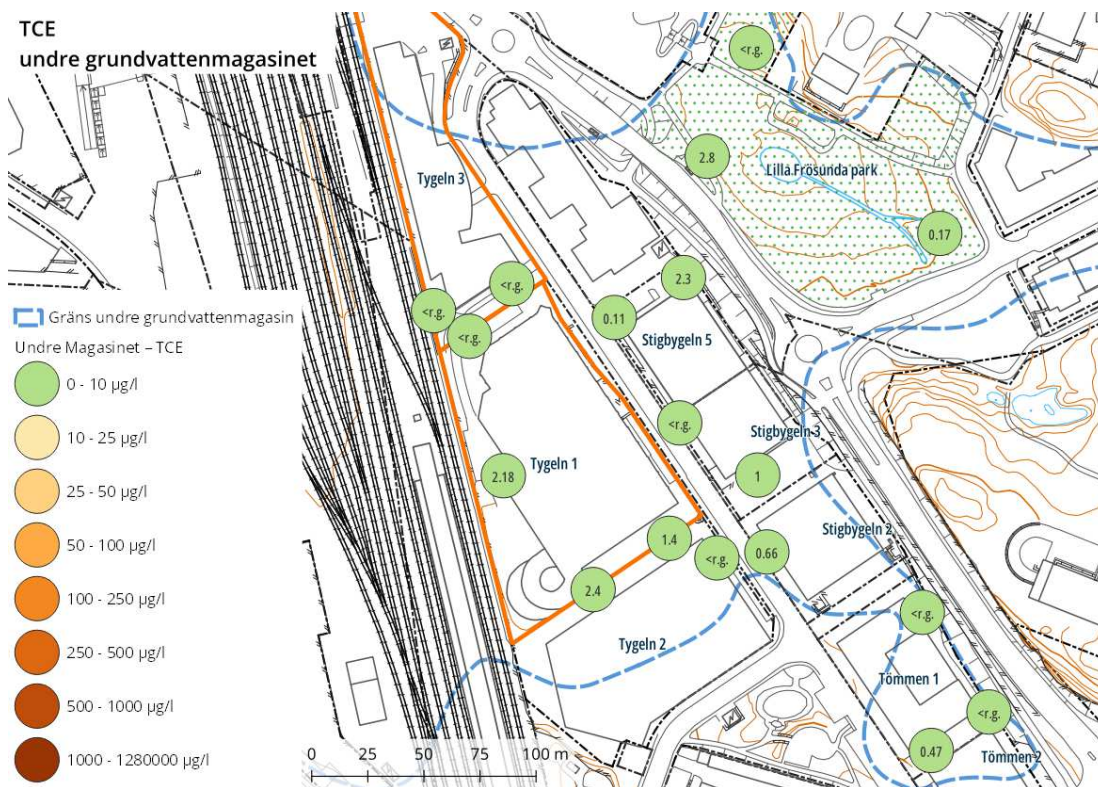


Figur 10. PCE i undre grundvattenmagasinet (<r.g. = mindre än analysens rapporteringsgräns).

PCE förekommer i två områden. Ett sammanhängande område inom Tygeln 1 och Tygeln 2 dvs. grundvatten som strömmar in från söder. I västra delen av Tygeln 2 var halten PCE något högre vid provtagning 2016.

PCE i mycket låg halt finns också i ett begränsat område mot sydost och södra Tömmen 1. Observera att här var halten PCE tydligt högre vid provtagningen 2013.

Utbredningen av TCE i det under magasinet visas i Figur 11.



Figur 11. TCE i undre grundvattenmagasinet (<r.g. = mindre än analysens rapporteringsgräns).

TCE förekommer i fyra områden. Ett sammanhängande område med TCE inom Tygeln 1 och Tygeln 2 och grundvatten som strömmar in från söder. TCE halten var något högre vid provtagningen 2016 i västra området vid gränsen mellan Tygeln 1 och 2.

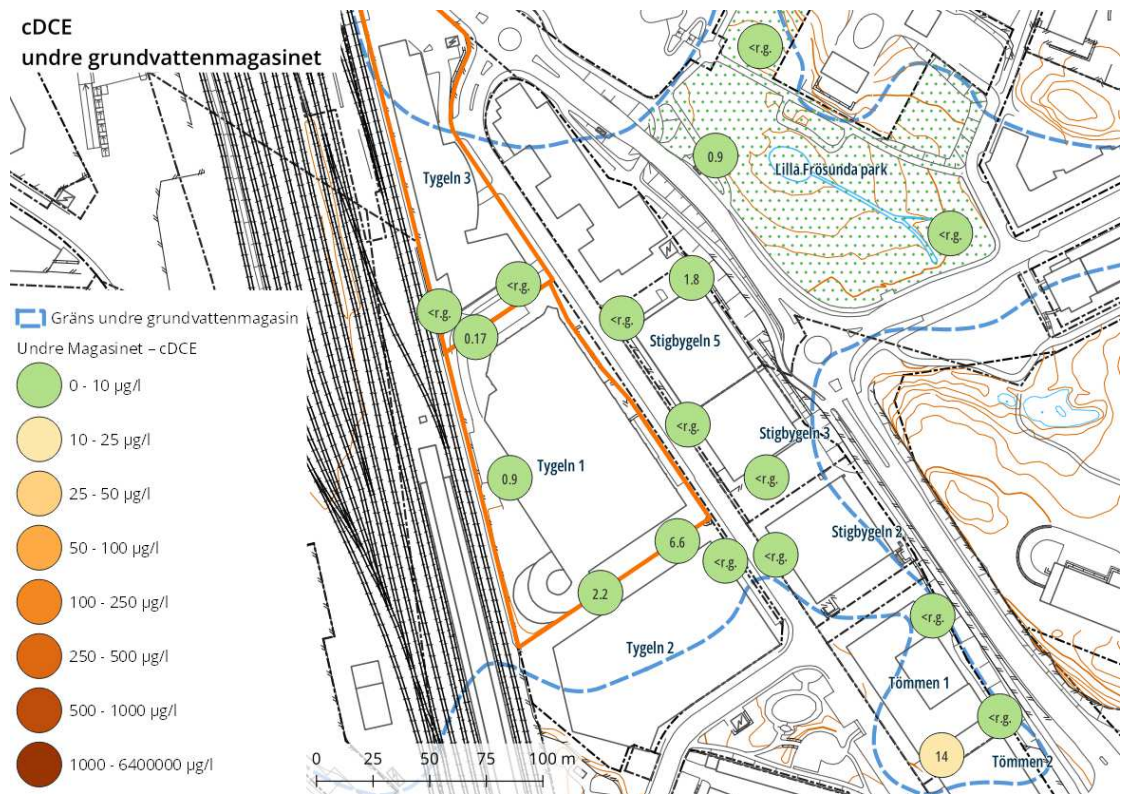
Nordost om Tygeln 1 och 3 finns TCE i låga halter i grundvattnet från Lilla Frösunda park. TCE är låg vid gränsen mot Tygeln 1 (0,11 µg/l).

Låga halter TCE finns vid Stigbygeln 2 och 3 sydost om Tygeln 1.

I södra Tömmen 1 finns låga halter TCE kring 0,5 µg/l. TCE-halten var högre vid provtagning 2013.



Utbredningen av cDCE i det undre grundvattenmagasinet visas i Figur 12.



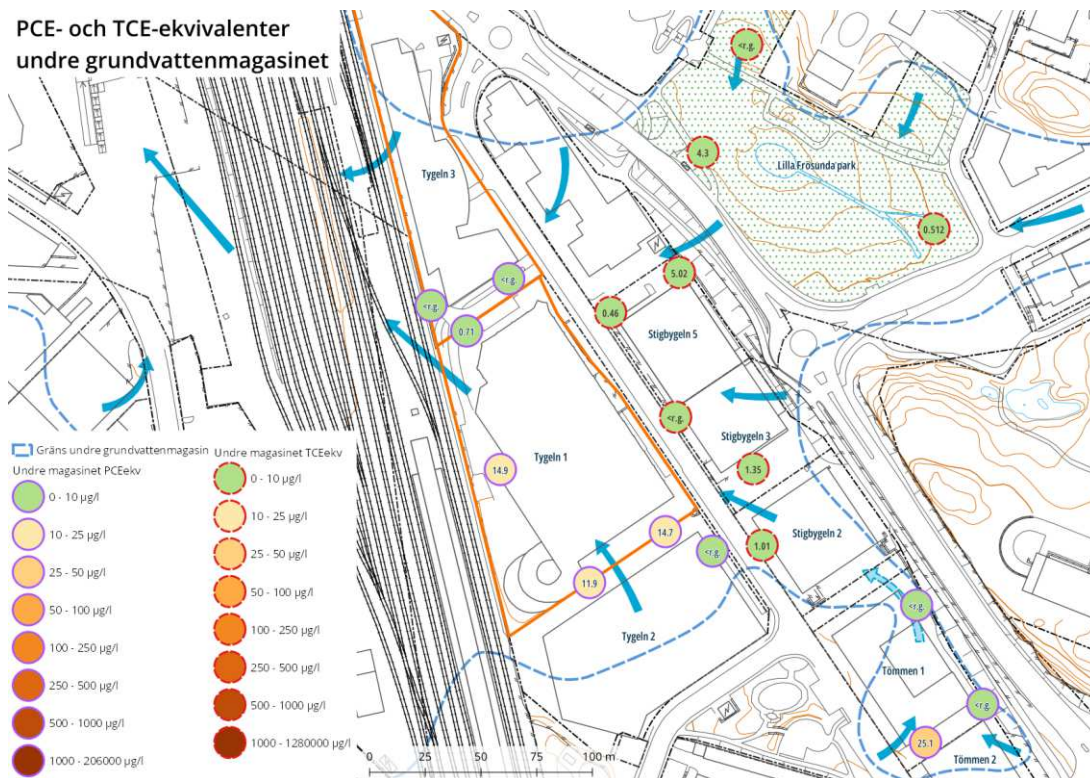
Figur 12. cDCE i det undre grundvattenmagasinet (<r.g. = mindre än analysens rapporteringsgräns).

cDCE kan urskiljas i tre områden. Ett sammanhängande område med cDCE finns inom Tygeln 1 och Tygeln 2 och grundvatten som strömmar in från söder. Halten cDCE var tydligt högre i västra Tygeln 2/Tygeln 1 vid provtagningen 2016 jämfört med 2021.

Nordost om Tygeln 1 och 3 finns cDCE i låga halter i södra Lilla Frösunda park.

I södra Tömmen 1 sydost om Tygeln 1 finns låga halter cDCE. Halten cDCE var något lägre vid provtagningen 2013 jämfört mot 2021.

I Figur 13 visas PCE- eller TCE-ekvivalenter som representerar den totala halten klorerade alifater i grundvattnet. PCE bedöms utgöra ursprungssämne inom Tygel 1 och 3 samt Tömmen 1 medan TCE bedöms vara ursprungsförorening inom Lilla Frösunda park och Stigbygel 2, 3 och 5.



Figur 13. Total halten av klorerade alifater i det undre grundvattenmagasinet uttryckt som PCE-ekvivalenter eller TCE-ekvivalenter (<r.g. = mindre än analysens rapporteringsgräns).

Fyra områden men PCE- eller TCE-ekvivalenter kan urskiljas som avgränsas av rör utan förorening. Måttliga PCE-ekvivalenter i ett sammanhängande området omfattande Tygel 1 och Tygel 2 som utgör grundvatten som strömmar in från söder. Mängden minskar inte mellan Tygel 2 och mitten av Tygel 1 utan först vid plymens slut i södra Tygel 3.

TCE-ekvivalenter i låga halter i södra Lilla Frösunda park nordost om Tygel 1 och 3. Mängden minskar inte i plymen utan först vid dess slut vid Stigbygel 5.

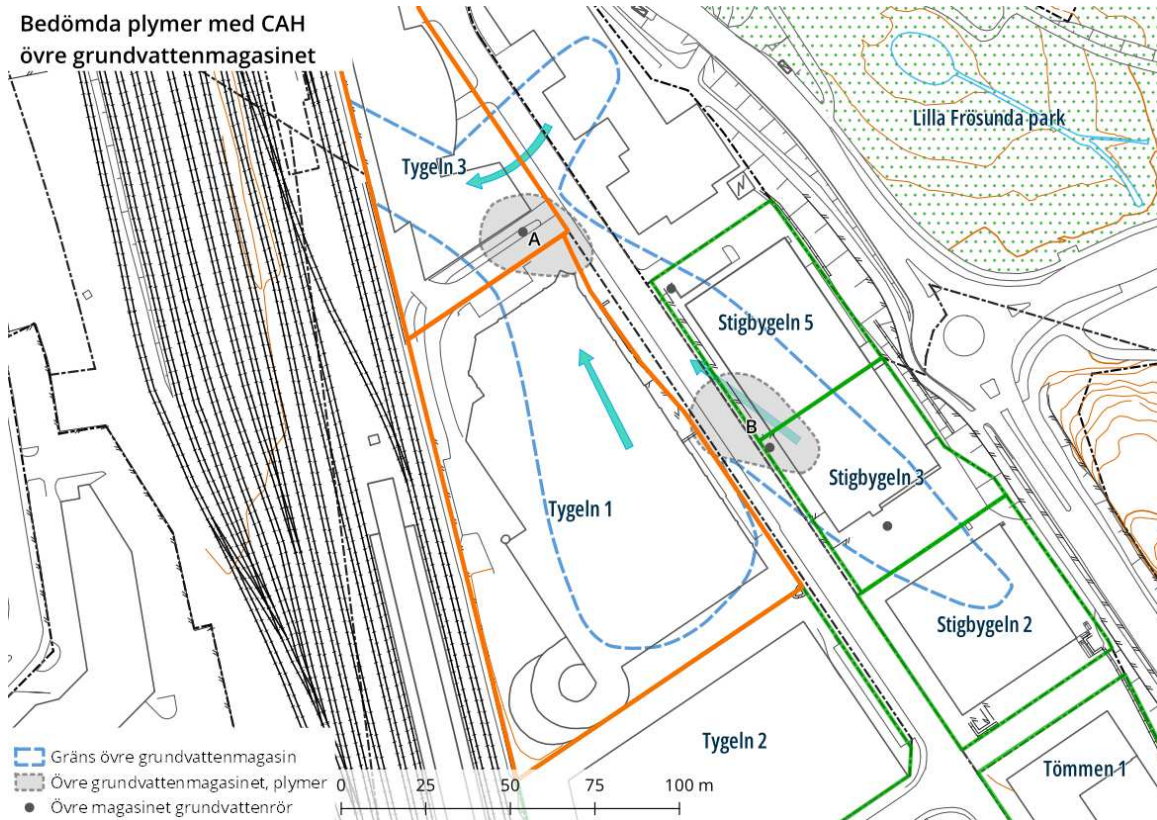
TCE-ekvivalenter i låga halter vid Stigbygel 2 och 3. Halterna är oförändrade i plymen.

PCE-ekvivalenter i måttlig halt finns i södra Tömmen 1. Nedströms har inga klorerade alifater påträffats till exempel vid stalpet i norra Tömmen 1.

## 6.2 Källor och plymer av klorerade alifater

*Övre grundvattenmagasinet*

Utbredning av möjliga plymer med klorerade alifater (CAH) i det övre grundvattenmagasinet visas i Figur 14. Det finns två plymer: A och B.



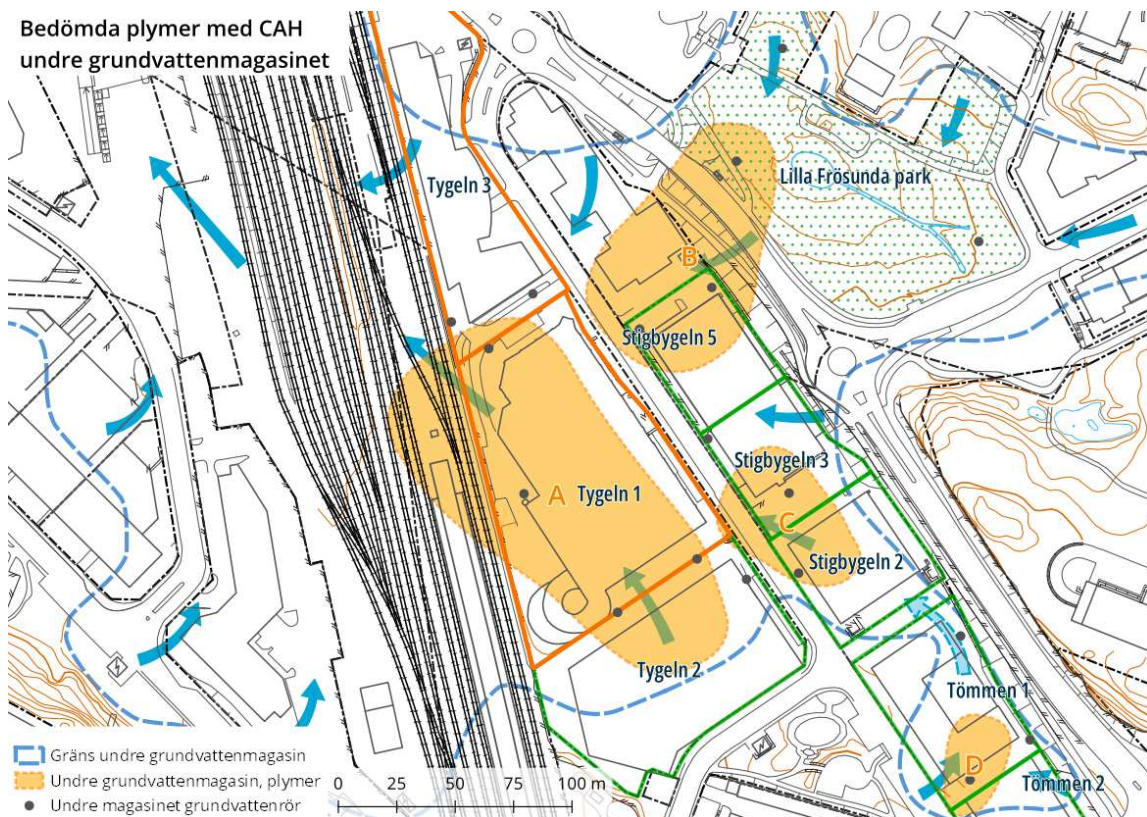
Figur 14. Plymerna A och B med CAH i övre grundvattenmagasinet.

**Plym A i det övre magasinet.** Plym A har liten utsträckning och innehåller låga halter cDCE som motsvarar ursprunglig PCE-halt på mindre än 1 µg/l. Plymen finns i södra Tygel 3 och norra Tygel 1. De låga halterna PCE-ekvivalenter visar att källan sannolikt är mycket liten och finns adsorberad i jorden.

**Plym B i det övre magasinet.** Plym B har liten utsträckning mellan Stigbygeln 3 och 5 samt innehåller låga halter PCE, TCE och cDCE. Ursprunglig PCE-halt har varit <2 µg/l och källan är mycket liten och finns sannolikt adsorberad i jorden inom Stigbygeln 3 (t.ex. någon avloppsledning). På sikt kan plymen spridas mot Tygel 1 om den expanderar.

*Undre grundvattenmagasinet*

I det undre grundvattenmagasinet kan det urskilja sig fyra olika plymer, A–D, med klorerade alifater (CAH) inom Tygeln 1 och 3 och dess närområden, se Figur 15.



Figur 15. Plymerna A–D med CAH i undre grundvattenmagasinet.

**Plym A i det undre grundvattenmagasinet.** Plym A är måttligt stor och sträcker sig från Tygeln 2 in över hela Tygeln 1 och fram till sydligaste delen av Tygeln 3. Ursprunglig klorerad alifat har sannolikt varit PCE men som bryts ned naturligt till PCE och cDCE längs plymen.

Halten CAH uttryckt som PCE-ekvivalenter är måttliga i Plym A och är 10–15 µg/l i undersökta grundvattenrör. Vid propumpning av det undre magasinet år 2015 påträffades högre men fortsatt måttliga halter 35–45 µg/l PCE-ekvivalenter längst ut i plymen vid gränsen mellan Tygeln 1 och 3. Dessa föroreningar kan ha sitt ursprung från grundvatten längre uppströms i plymen eller från en okänd plym till exempel mot väster och under Ostkustbanan/Arlandabanan vilket vi dock bedömer är mindre sannolikt. I länshållningsvatten vid grundläggning av nuvarande byggnad inom Tygeln 2, dvs. längst uppströms, påträffades måttliga till höga halter PCE-ekvivalenter mellan 70–135 µg/l.

Halterna i plymen från grundvattenrör, propumpning eller länshållningsvatten visar inte någon nära liggande källzon med NAPL av

PCE. Källan med PCE kan ha funnits inom Tygeln 2 men i så fall adsorberad i jorden eller i en mycket liten mängd NAPL i jord eller berggrund. Det är också möjligt att det finns en källzon med NAPL av PCE längre uppströms Tygeln 2 och att förorenat berggrundsvatten läckt ut till länshållningsvatten under grundläggningen via något mindre spricksystem. I norra Tygeln 2 på gränsen mot Tygeln 1 har mängden CAH som PCE-ekvivalenter minskat något från 2016 då det fanns 44 µg/l till 2021 då halten var 12 µg/l (Rör 15E17GW respektive 21E201u) vilket indikerar att spridningen mot Tygeln 1 har minskat efter grundläggningen av nuvarande byggnader inom Tygeln 2.

**Plym B i det undre grundvattenmagasinet.** Plym B är måttligt stor och sträcker sig från Lilla Frösunda park och mot väster och Stigbygeln 5. Plym B bedöms inte riktigt nå Tygeln 1 och 3 men ligger nära och kan spridas till fastigheterna i framtiden om plymen expanderar. Ursprunglig klorerad alifat bedöms vara TCE som långsamt bryts ned till cDCE längs plymen. Däremot verkar nedbrytningen till VC vara begränsad eller inte förekomma.

Den totala halten TCE-ekvivalenter är låg för en plym och underskrider 10 µg/l dvs. grundvattnet är drickbart. De låga halterna visar att källan sannolikt består av adsorberad TCE eller mycket små mängder NAPL av TCE. Primär föroreningskälla för föroreningen inom Plym B dvs. förorenande verksamhet kan ha varit den tidigare mekaniska verkstaden som fanns innan nuvarande byggnad inom Stigbygeln 6 (ligger norr om Stigbygeln 5).

**Plym C i det undre grundvattenmagasinet.** Plym C är en liten plym som sträcker sig från Stigbygeln 2 mot nordväst och Stigbygeln 3. Plym C kan i framtiden nå fram till östra Tygeln 1 om plymen är expanderande. Ursprungsmålet har sannolikt varit TCE och det förekommer ingen synbar nedbrytning av föroreningen. Källan TCE är sannolikt mycket liten och finns adsorberad i jorden under Stigbygeln 2.

**Plym D i det undre grundvattenmagasinet.** Plym D är en liten plym i södra Tömmen 1, sydost om Tygeln 1. Halten PCE-ekvivalenter är måttlig vid provtagningen 2021 men var vid provtagning 2013 hög för en plym. Plym D bedöms inte kunna spridas mot Tygeln 1 även om den skulle expandera.

Halterna PCE-ekvivalenter i Plym D visar att det inte finns någon nära liggande källzon med NAPL av PCE. Källan kan vara adsorberad förorening eller försumbar mängd NAPL som kan ha spridits via avloppsledningar från hantverkshuset inom Tömmen 1 där det funnits många verksamheter som kan ha använt PCE och TCE för avfettning och rengöring. I östra och södra bottenplan finns det och har det funnits en mekanisk verkstad som

där föroreningar kan ha läckt genom betonggolvet genom sprickor och genomföringar. Vi bedömer dock att spridning från avloppsledningar är mer sannolik eftersom det saknas klorerade alifater invid den mekaniska verkstaden. Källan till CAH-föroreningen inom Tömmen 1 kan också ha sitt ursprung längre uppströms och spridits till fastigheten via berggrundvatten.

### 6.3 Representativa halter i det undre grundvattenmagasinet inom Tygeln 1

Inom Tygeln 1 finns klorerade alifater som PCE, TCE och cDCE i en spridningsplym från söder och Tygeln 2. Halterna varierar PCE  $\approx 10 \mu\text{g/l}$ , TCE 2–5  $\mu\text{g/l}$  och cDCE  $\approx 1 \mu\text{g/l}$ . Vid en provpumpning 2015 vid gränsen mellan Tygeln 1 och 3 påträffades dock något högre halter som kan ha sitt ursprung längre uppströms i plymen. Eftersom representativa halter för bedömning av hälsorisker ska vara en försiktig skattning av föroreningsituationen används de högre halterna för provpumpningen enligt följande:

- PCE – tetrakloreten = 30  $\mu\text{g/l}$
- TCE – trikloreten = 10  $\mu\text{g/l}$
- cDCE – cis-1,2-dikloreten = 10  $\mu\text{g/l}$ .

## 7 Hälsoriskbedömning

*Hälsoriskbedömningen motsvarar tidigare riskbedömning från den reviderade miljöteknisk markundersökning (Hedenvind Projekt, 2021a).*

Nuvarande och framtida markanvändning inom Tygeln 1 och Tygeln 3 antas motsvara Naturvårdsverkets modell för mindre känslig markanvändning – MKM, vad gäller exponeringsmodell. MKM bedöms vara en försiktig modell för nuvarande och kommande markanvändning och bedöms snarare överskatta än underskatta hälsorisker. Följande skiljer från generella modellen för MKM:

<b>Andra exponeringstider</b>	Människors exponeringstid för föroreningar är kortare än i Naturvårdsverkets modell för MKM för flera exponeringsvägar eftersom området är och kommer att vara hårdgjort eller bebyggt. Exponeringstillfällena för intag av damm, direkt intag av jord och upptag via huden kommer att vara färre än 200 dagar/år som antas för MKM. Exponeringstiden för intag av ånga inomhus kommer dock att motsvara MKM vilket är den viktigaste exponeringsvägen för flyktiga ämnen
<b>Markmiljön</b>	Markmiljön inom området har låg känslighet eftersom marken är överbyggd eller hårdgjord och jordarter närmast markytan utgörs av konstruktionsjordarter där ekologiska markprocesser redan från början är begränsade. I MKM stöds ekologiska funktioner som krävs för odling av prydnadsväxter, gräs och liknande växter. Djur kan också vistas tillfälligt inom området.
<b>Skyddat grundvatten</b>	Skyddat grundvatten som naturresurs som till exempel en grundvattenförekomst antas finnas 200 m nedströms det förorenade området i MKM. För Tygeln 1 och 3 finns Stockholmsåsen över 1 km nedströms. Tidsaspekten innan grundvattnet når åsen är också i storleksordningen 1000-tals år. Dessutom beaktas varken fastläggning eller nedbrytningsprocesser för spridning i modellen vilket överskattar riskerna.

### 7.1 Riktvärden för hälsorisker

Klorerade alifater som tetrakloreten (PCE), trikloreten (TCE) och isomerer av dikloreten (DCE) sprids med det undre grundvattenmagasinet i en plym in till framför allt Tygeln 1 och sydligaste Tygeln 3. Ämnena är relativt flyktiga och kan frigöras från vatten till markens porgas som sedan kan spridas i marken och vidare in i framtida byggnader. Människor kan där exponeras via inandning av den förorenade inomhusluften.

Det finns inga riktvärden för grundvatten som beaktar spridning till inomhusluft. Däremot kan halterna i inomhusluften skattas från halterna i

grundvattnet med samma spridningsmodell som Naturvårdsverket använder för jordriktvärden. De beräknade halterna kan sedan jämföras mot toxikologiska referensvärden (TRV) för en försiktig bedömning av långsiktiga hälsorisker via inandning av inomhusluft.

TRV kan baseras på toxikologiska referenskoncentrationer, RfC, för icke-cancerogena ämnen och RISK<sub>inh</sub> för cancerogena ämnen. RfC motsvarar den maximala koncentrationen av ett ämne med tröskeeffekt som en människa kontinuerligt kan utsättas för utan att negativa effekter uppstår.

RISK<sub>inh</sub> baseras på det cancerogena ämnets *enhetsrisk* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) och motsvarar risk per enhetskoncentration (i luft) av ett cancerframkallande ämne som en människa exponeras för kontinuerligt *under en livstid*. I Sverige är ett extra cancerfall per 100 000 invånare en acceptabel nivå som för enhetsrisken och beräkningen av RISK<sub>inh</sub>. TRV för klorerade alifater antas enligt följande:

- DCE – dikloreten antas RfC vara  $0,060 \text{ mg}/\text{m}^3$  (RIVM, 2009)
- TCE – trikloreten antas RISK<sub>inh</sub> vara  $0,023 \text{ mg}/\text{m}^3$  (WHO, 2010)
- PCE – tetrakloreten antas RfC vara  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$  (WHO, 2010).

Antaganden som gjorts är att det förorenade vattnet finns invid ett dränerande lager under framtida byggnad och att de klorerade alifaterna frigörs till luft i ett dränerande lager. All förorening som frigörs till dräneringslagret kommer sedan kunna spridas till nedersta källarplanet via sprickor och otätheter vid till exempel genomföringar. Nedersta källarplanet kommer att vara garageplan. Inläckaget genom sprickor och otätheter i bottenplattan antas motsvara vad som antas för radon utan någon radonsäker eller radonskyddad konstruktion. Storlek, volym och ventilation antas motsvara vad som är normalt för ett garage.

För att skatta halterna i inomhusluft från halter i grundvattnet används Naturvårdsverkets spridningsmodell som används för beräkning av jordriktvärden där exponering via inandning av inomhusluft ingår. De klorerade alifaterna i grundvattnet antas finnas invid det dränerande skiktet. Inläckaget genom bottenplattan är  $2,4 \text{ m}^3/\text{dygn}$  (vilket motsvarar radon). Luftomsättningen är  $32 \text{ ggr}/\text{dygn}$  (motsvarar vanlig omsättning i garage och mindre än  $12 \text{ ggr}/\text{dygn}$  som antas i NV:s modell för ett mindre rum i bostad). Arealen under garaget är  $400 \text{ m}^2$  och höjden antas vara  $2,5 \text{ m}$  vilket ger en luftvolym på  $1\,000 \text{ m}^3$ . Totalt ger det en ungefärlig utspädning på cirka  $14\,000 \text{ ggr}$  från dräneringsgas till inomhusluft.

Beräknad halt i gas i dräneringslagret beräknas med hjälp av Henrys lag enligt modell som används för Naturvårdsverkets generella riktvärden i jord.



Modellen är försiktig av flera orsaker. A) Metoden antar att människor andas in luften under en hel dag under hela sitt liv medan människor bara kommer exponeras under del av dagen och under sin yrkesverksamma tid. I framtida byggnader kommer därför exponeringen att vara 20 % av en livstidsexponering det vill säga bedömningen i den här riskbedömningen är mycket försiktig. B) Metoden förutsätter att förorenat grundvatten från undre magasinet kommer att läcka upp genom lerlagren och finnas under framtida byggnader vilket är långt ifrån säkert men kan inte helt uteslutas. C) Ingen hänsyn tas till radonskyddad eller radonsäker konstruktion vilket minskar inläckage av gas. D) Grundläggningen kan komma att göras vattentät dvs. med en tätare betong och krav på färre sprickor och tätare genomföringar.

## 7.2 Hälsorisker

Halter klorerade alifater inom Tygeln 1 som kan uppkomma i inomhusluften i garage utifrån de representativa halterna i grundvattnet i det under magasinet jämförs mot toxikologiska referensvärden nedan:

mg/m <sup>3</sup>	Representativ halt i grundvatten	Beräknad halt dräneringslager	Beräknad halt inomhus	TRV
DCE - dikloreten	10 µg/l	3,5 mg/m <sup>3</sup>	0,00025 mg/m <sup>3</sup>	0,060 mg/m <sup>3</sup>
TCE - trikloreten	10 µg/l	2,9 mg/m <sup>3</sup>	0,00020 mg/m <sup>3</sup>	0,023 mg/m <sup>3</sup>
PCE - tetrakloreten	30 µg/l	28 mg/m <sup>3</sup>	0,00190 mg/m <sup>3</sup>	0,2 mg/m <sup>3</sup>

Samtliga representativa halter underskrider de toxikologiska referensvärdena varför de klorerade alifaterna i grundvattnet bedöms utgöra en låg och acceptabel hälsorisk för framtida byggnader.

Det finns en stor marginal för högre halter i grundvattnet eftersom beräknad halt underskrider de toxikologiska referensvärdena med flera tiopotenser.

## 7.3 Spridningsrisker till naturresurser

Klorerade alifater har påträffats i grundvattnet i det undre magasinet inom både Lilla Frösunda park och Tygeln 1 och södra Tygeln 3. Grundvattnet är ett spridningsmedium där halterna visar att föroreningarna finns i löst fas. Någon fri fas av klorerade alifater, dvs. föroreningskällor (källtermer), har provtagningarna inom undersökta områden eller i deras direkta närhet inte visat.

Risken för spridning av de klorerade alifaternas till grundvatten och ytvattenförekomster i ett långt tidsperspektiv går inte att bedöma utifrån några riktvärden i jord eftersom källtermen inte är känd till dess storlek och utbredning. Klorerade alifater inom Tygeln 1 och Lilla Frösunda park finns i plymer med låga halter (små mängder) på ett stort avstånd, cirka 1,5

km, från skyddsvärt grundvatten och ytvatten. Vi bedömer att plymerna inte kan påverka dessa naturresurser inom ett rimligt tidsperspektiv.

Sammantaget bedömer vi att klorerade alifater i det undre grundvattenmagasinet utgöra en låg och acceptabel spridningsrisk till naturresurser inom överskådlig tid.

## 8 Slutsatser

Provtagningarna från 2015 fram till 2021 visar att grundvattnet i det undre magasinet inom Tygeln 1 och 3 är påverkat av klorerade alifater som tetrakloreten och dess nedbrytningsprodukter som trikloreten och cis-1,2-dikloreten. Spridningen sker i en plym i grundvattnets strömningsriktning från söder och Tygeln 2 mot norr och in under Tygeln 1 och fram till södra Tygeln 3. Totala halten klorerade alifater (PCE-ekvivalenter) i plymen har under senare år varit 10–15 µg/l vilket är en måttlig halt i en föroreningsplym och i nivå med drickbara halter.

Föroreningskällan till plymen inom Tygeln 1 och 3 finns uppströms fastigheterna och kan finnas inom Tygeln 2 där den i så fall utgör en liten källa i berg som inte består av några större mängder tetrakloretenvätska. Källan kan också finnas ytterligare uppströms Tygeln 2 och i så fall spridas via berggrundvatten mot fastigheten.

Uppströms mot nordost och öster i det undre grundvattenmagasinet finns två små plymer med trikloreten som sträcker sig mot främst Tygeln 1 i grundvattnets strömningsriktning. Totala halterna klorerade alifater är låga <10 µg/l (TCE-ekvivalenter) och kan inte påverka grundvattnet inom Tygeln 1 om dessa små plymer skulle vara i en expanderade mot fastighet. Källorna till dessa plymer är sannolikt små mängder trikloreten adsorberad i jord.

Halterna tetrakloreten, trikloreten och cis-1,2-dikloreten i nuvarande och framtida grundvatten under Tygeln 1 och delvis Tygeln 3 utgör en låg och acceptabel hälsorisk utifrån att kontor med garage i källarplan kommer att byggas.

Tetrakloreten och nedbrytningsprodukter finns också i ett par små plymer i det begränsade övre grundvattenmagasinet. Halterna klorerade alifater är låga <10 µg/l (PCE-ekvivalenter). Källorna till plymerna utgör mycket små på jord adsorberade mängder PCE.

## 9 Rekommendationer

Hedenvind Projekt rekommenderar att grundvattnet inom Tygeln 1 och 3 och dess omedelbara närhet kontrolleras i ett par provtagningsomgångar för att säkerställa påträffade haltnivåer. Provtagningen har också till syfte att förbereda för eventuell rening av länshållningsvatten vid framtida grundläggning.

Provtagning och analys av klorerade alifater i luft i källarplan i färdig byggnad inom Tygeln 1 bör utföras vid ett par tillfällen för att verifiera låga och acceptabla halter.

Stockholm den 10 mars 2022



Arnulf Hedenvind  
Hedenvind Projekt AB

## 10 Referenser

- Hedenvind Projekt. (2021a). *Tygeln 1 och Tygeln 3, Solna stad. Miljöteknisk markundersökning, reviderad version*. Stockholm.
- Hedenvind Projekt. (2021b). *Rapport. Miljötekniskmarkundersökning, Stigbygeln 2, 3 och 5 samt Tömmen 1 och 2, Solna stad*. Stockholm: Hedenvind Projekt.
- Livsmedelsverket. (2001). *Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten. Ändringar till och med LIVSFS 2021:10*. Stockholm: Livsmedelsverket.
- National Institutes of Health. (den 15 02 2022). *Explore Chemistry*. Hämtat från PubChem: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- RIVM. (2009). *Environmental risk limits for twelve volatile aliphatic hydrocarbons. An update considering human-toxicological data. Report 601782013/2009*.
- SGU. (2016). *SGU-FS 2016:1. Sveriges geologiska undersöknings författningssamling. Föreskrifter om ändring i Sveriges geologiska undersöknings föreskrifter (SGU-FS 2013:2) om miljö kvalitetsnormer och statusklassificering för grundvatten*. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning.
- SGU. (den 08 03 2022). *Våra data i visningstjänster (WMS)*. Hämtat från Jordarter 1:25 000–1:100 000: <http://resource.sgu.se/service/wms/130/jordarter-25-100-tusen>
- WHO. (2010). *WHO guidelines for indoor quality. Selected pollutants*. Copenhagen: WHO.

## Bilaga 1

Generell beskrivning av användning av klorerade alifater

# Generell användning av klorerade alifater som tetra- och trikloreten

## Tetra- och trikloreten är vanliga ämnen

Klorerade alifater är en grupp ämnen som använts inom många olika verksamhetsområden. Tetrakloreten (PCE) och trikloreten (TCE) är vätskor som haft stor och bred användning inom industrier och verkstäder.

### PCE – tetrakloreten

PCE är en färglös vätska som används som tvättvätska i kemtvättar. Den har även använts inom verkstadsindustrin som rengöringsmedel och avfettningsmedel. Inom den kemiska industrin har PCE använts som mellanprodukt i syntes av andra kemikalier. Inom tryckerier har PCE använts för rengöring av tryckplåtar och andra delar av verksamheten. PCE har även använts som lösningsmedel inom läderbehandling, vid tillverkning av färg, lim, tättningsmedel och pappersbeläggning. Inom läkemedelsindustrin har PCE använts om extraktionsmedel. PCE har använts om avmaskningsmedel inom veterinärmedicin.

PCE har också ingått i produkter som isolervätska och kylgas i värmeväxlare, elektriska transformatorer. PCE har använts i färgborttagningsmedel, rengöringsmedel för textilier, bilvårdsprodukter, i aerosolgas i sprayburkar, korrigeringsvätskor för skrivmaskiner med mera. I färg och lim kan PCE ingå som spädningsmedel. I bekämpningsmedel har PCE använts som bärarlösning.

### TCE – trikloreten

TCE har samma användningsområden som PCE. Den huvudsakliga användningen av TCE är inom verkstadsindustrin som avfettning, rengöring och i elektrolytiska bad vid förnickling, förtening och liknanden. TCE användes också en kort period i kemtvättar innan PCE började användas. TCE har använts som lösningsmedel inom gummiindustrin, även vid vulkning. Inom livsmedelsindustrin har TCE använts som extraktionsmedel av fett från fisk och kött men även för vegetabiliska oljor, kryddor samt vid koffeinfri görning av kaffe.

### DCE – dikloreten och VC – vinylklorid

Olika isomerer av DCE och VC är ofta en produkt av nedbrytning av PCE och TCE i marken men både DCE och VC har använts inom olika verksamheter. DCE har använts motsvarande PCE och TCE men är mycket mindre använd eftersom det är en mycket flyktigare vätska. DCE har använts som lösningsmedel i parfym.

VC är en gas under normala temperaturer och tryck och har därför använts inom få verksamheter. Nästan all VC som produceras används inom plastindustrin

och tillverkning av PVC och dess sampolymerer. VC har dock funnits som drivgas i sprayburkar.

## PCE används medan TCE inte längre får användas

PCE används fortsatt inom kemtvättar medan TCE är förbjudet att använda yrkesmässigt sedan 1996. Det förekommer dock yrkesmässiga dispenser för TCE. TCE får inte användas i konsumentprodukter inom EU. VC används för tillverkning av PVC.

## Mängder varierar mycket mellan olika

### verksamheter

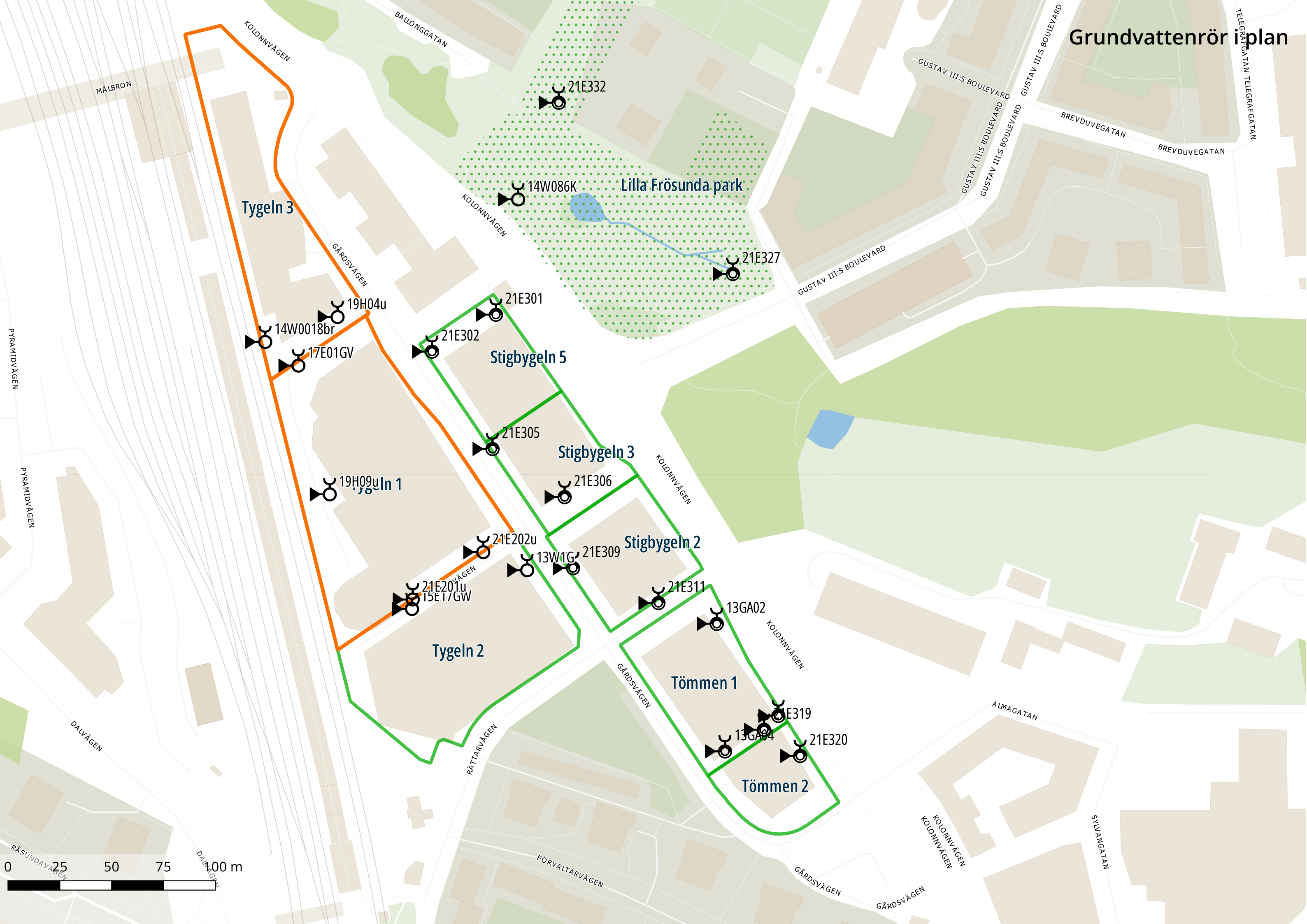
Mängden PCE och TCE som har använts inom olika verksamheter varierar mycket. Inom avfettningsanläggningar och elektrolytiska anläggningar i större verkstadsindustrier och större kemtvättar kan flera kubikmeter av vätskorna användas per år. I andra verksamheterna kan vätskorna ha använts i begränsad omfattning på någon eller några liter per år till exempel vid handhållen avfettning och rengöring. I produkter där PCE och TCE använts som lösnings- och spädningvätska som lim, färg, sprayburkar och liknanden är mängderna ännu mindre. Dessutom förångas de efter användning men kan ge utslag i till exempel inomhusluft efter limning och målning.



## Bilaga 2

Grundvattenrör i plan

# Grundvattenrör i plan



## Bilaga 3

Analyssammanställning

		Grundvattenrör																		
		Inom området						Uppströms												
Fastighet		Tygelin 3	Tygelin 3	Tygelin 3	Tygelin 3	Tygelin 1	Tygelin 1	Tygelin 2	Tygelin 2	Tygelin 2	Tygelin 2	Stigbyg.5	Stigbyg.5	Stigbyg.5	Stigbyg.3	Stigbyg.3	Stigbyg.3	Stigbyg.3	Stigbyg.2	
Magasin		Övre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Övre	Övre	Undre	Övre	Undre	Undre	Undre	
Ämne	Enhet	19H040:1	19H04U:2	14W019u	14W018br:3	19H09U:4	17E01GV:5	13W1G	15E17GW	21E201u	21E202u	21E301:L1	21E302ö:L1	21E302u:L1	21E305ö:L1	21E305u:L1	21E306ö:L1	21E306u:L1	21E309u:L1	
Provtagningssdag	SGUrv	11 april -19	11 april -19	22 maj -15	11 april -19	11 april -19	11 april -19	21 april -16	21 april -16	10 juni -21	10 juni -21	30 april -21	30 april -21	30 april -21	30 april -21	30 april -21	30 april -21	30 april -21	30 april -21	
diklormetan	µg/l	<2,0	<2,0	<2	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
1,1-dikloretan	µg/l	<0,10	<0,10		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	
1,2-dikloretan	µg/l	<1,00	<0,50	<0,5	<0,50	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	
1,2-diklorpropan	µg/l	<1,0	<1,0		<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	
triklormetan (kloroform)	µg/l	100	<0,30	<0,30	<0,3	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	
tetraklormetan (koltetraklorid)	µg/l		<0,10	<0,10	<0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	
1,1,1-trikloretan	µg/l		<0,10	<0,10		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	
1,1,2-trikloretan	µg/l		<0,20	<0,20		<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,20	<0,50	<0,20	<0,50	<0,20	<0,50	
hexakloretan	µg/l		<0,010				<0,010													
cis-1,2-dikloretan	µg/l		0,22	<0,10		<0,10	0,9	0,17	<0,10	14,1	2,2	6,6	1,8	<0,20	<1,0	0,42	<1,0	<0,20	<1,0	
trans-1,2-dikloretan	µg/l		<0,10	<0,10		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,13	<1,0	<1,0	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	<0,20	<1,0	
s:a 1,2-dikloretan	µg/l		0,22	<0,10		<0,10	0,9	0,17	<0,10	14,2	2,2	6,6	1,8	<0,20	<1,0	0,42	<1,0	<0,20	<1,0	
trikloretan	µg/l		<0,10	<0,10	4,77	<0,10	2,18	<0,10	<0,10	8,73	2,4	1,4	2,3	<0,20	0,11	0,7	<0,10	<0,20	1	
tetrakloretan	µg/l		<0,20	<0,20	8,96	<0,20	10,3	<0,20	<0,20	3,78	4,8	1,3	<0,20	<0,20	<0,20	0,39	<0,20	<0,20	<0,20	
s:a Tri+tetrakloretan	µg/l	10	<0,20	<0,20	13,73	<0,20	12,5	<0,20	<0,20	12,5	7,2	2,7	2,3	<0,20	0,11	1,09	<0,20	<0,20	1	
vinylklorid	µg/l		<1,00	<1,0		<1,0	<1,0	<1,00	<1,0	2	<1,0	<1,0	<1,0	<0,50	<1,0	<0,50	<1,0	<0,50	<1,0	
1,1-dikloretan	µg/l		<0,10	<0,10		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
1,1,2-tetrakloretan	µg/l													<0,20		<0,20	<0,20			

		Grundvattenrör										Provpumpning/länshållningsvatten			
		Uppströms										Inom området		Uppströms	
Fastighet		Tömmen 1	Tömmen 1	Tömmen 1	Tömmen 1	Tömmen 1	Tömmen 1	Lilla Frösunda park			Tygelin 3	Tygelin 3	Tygelin 2	Tygelin 2	
Magasin		Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Undre	Pumptest	Pumptest	Läns.v.	Läns.v.	
Ämne	Enhet	13GA02	13GA02:L2	13GA03	13GA03:L2	13GA04	13GA04:L2	14W086K	21E327:L1	21E332:L1	14W018br	14W018br	Läns 1	Läns, flera	
Provtagningssdag	SGUrv	13-09-30	21-05-03	13-09-30	21-05-03	13-09-30	21-04-30	15-02-10	21-04-29	21-04-29	15-06-29	15-07-03	dec-17	jan-18	
diklormetan	µg/l	<0,2	<2,0	<0,2	<2,0	<0,2	<2,0		<2,0	<2,0	<2	<2			
1,1-dikloretan	µg/l	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0		<1,00	<1,00	<0,5	<0,5			
1,2-dikloretan	µg/l	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0		<1,00	<1,00	<0,5	<0,5			
1,2-diklorpropan	µg/l	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0		<1,00	<1,00	<0,5	<0,5			
triklormetan (kloroform)	µg/l	100	<0,2	<0,30	<0,2	<0,30	<0,2	<0,30	<0,30	<0,30	<0,3	<0,3			
tetraklormetan (koltetraklorid)	µg/l		<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	<0,20	<0,20	<0,1	<0,1			
1,1,1-trikloretan	µg/l		<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20			
1,1,2-trikloretan	µg/l		<0,2	<0,50	<0,2	<0,50	<0,2	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50			
hexakloretan	µg/l														
cis-1,2-dikloretan	µg/l		<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	8,3	14	<1,00	<1,00			20,3		
trans-1,2-dikloretan	µg/l		<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	<1,00	<1,00					
s:a 1,2-dikloretan	µg/l		<0,2	<1,0	<0,2	<1,0	8,3	14	0,9				20,3		
trikloretan	µg/l		<0,2	<0,10	<0,2	<0,10	37	0,47	2,8	0,17	<0,10	9,22	11,7	36,4 22-33	
tetrakloretan	µg/l		<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	48	0,27	<0,1	<0,20	<0,20	23	29	53,5 45-82	
s:a Tri+tetrakloretan	µg/l	10	<0,2	<0,20	<0,2	<0,20	85	0,74	2,8	0,17	<0,20	32,2	40,7	89,9 67-115	
vinylklorid	µg/l		<1,0		<1,0	<1,0	<1,0	0,4	<1,00	<1,00			<1,0	<1,0	
1,1-dikloretan	µg/l		<0,10		<0,10	<0,10	<0,10		<0,10	<0,10					
1,1,2-tetrakloretan	µg/l		<0,2		<0,2		<0,2								