

BILAGA M5, HYDROGEOLOGI OCH RISKEXPONERADE OBJEKT

MAXIMA
Projekt tillstånd
Tillståndshandling
Miljöbalken

2023-05-30

Slutversion



8178 Tillståndshandling Hydrogeologi och riskexponerade objekt utg 2.0.docx

Dokument-ID: 8178-TH-MB-UR-M5-001

Utgåva: 2.0

Titel: Bilaga M5, Hydrogeologi och riskexponerade objekt

Status: Slutversion

Kontaktperson: Lena Hellberg, VA SYD

Dokumenttyp: Underlagsrapport

Dokument-ID: 8178-TH-MB-UR-M5-001

Upprättad av: Tyréns Sverige AB

Författare: Henrik Thulin Olander

Datum: 2022-03-11

Reviderad av: Tyréns Sverige AB

Författare: Maria Wadsten, Elisabet Hammarlund

Utgåva: 2.0

Datum: 2023-05-30

Revisionshistorik i tabell

Datum	Utgåva	Orsak till revidering	Utfört av
2023-05-30	2.0	Slutlig handling ny omfattning	Maria Wadsten, Tyréns
2022-03-11	1.0	Slutlig handling inklusive tunnel från Lund	Maria Wadsten, Tyréns

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	5
2	Syfte och bakgrund	6
3	Avgränsningar	6
3.1	Geografisk avgränsning	6
3.2	Tid	8
4	Utredningsmetodik	8
4.1	Tillgängligt data- och kunskapsunderlag	8
4.2	Projektspecifika data	8
4.3	Konceptuell modell och nuvarande förhållanden	8
4.4	Beräkningar och osäkerhetsanalys	9
4.5	Påverkan och påverkansområde	9
4.6	Inventering av allmänna och enskilda intressen	9
4.7	Skyddsåtgärder och försiktighetsmått	9
4.8	Villkor och kontrollprogram	10
5	Underlag och utförda undersökningar	10
6	Områdesbeskrivning	11
6.1	Översikt modellområdet	11
6.2	Topografi	11
6.3	Bebyggelse och markanvändning	13
6.4	Hydrologi	13
6.4.1	Ytvattenförekomster	13
6.4.2	Grundvattenförekomster	15
6.5	Geologi	16
6.5.1	Berggrundsgeologi	16
6.5.2	Jordartsgeologi	16
6.6	Hydrogeologiska förhållanden	18
6.6.1	Grundvattenmagasin	18
6.6.2	Grundvattendelare och huvudsaklig strömningsriktning	19
6.6.3	Grundvattennivåer	21
6.6.4	Grundvattenbildning och grundvattenbalans	21
6.6.5	Grundvattenkemi	22
6.6.6	Hydrauliska parametrar	23
6.6.7	Hydrogeologisk kontakt med havet	26

6.7	Grundvattnets användning.....	26
6.8	Konceptuell modell.....	27
6.8.1	Hydrogeologisk konceptuell modell.....	29
6.8.2	Tunnlar och schakter	31
7	Bedömd grundvattenpåverkan.....	32
7.1	Definition av omgivningspåverkan och påverkansområde	32
7.2	Behov av grundvattenbortledning	33
7.2.1	Sjölunda avloppsreningsverk.....	33
7.2.2	Tunnlar.....	34
7.2.3	Schakt	34
7.3	Analytiska beräkningar	35
7.3.1	Thiem.....	35
7.3.2	Neuman-Witherspoon.....	36
7.4	Numerisk modellering	36
7.5	Påverkansområden.....	38
7.6	Påverkan på kvantitativ status i byggskede.....	40
7.7	Påverkan på grundvattenkvalitet och kemisk status i byggskede.....	41
7.8	Driftskede	42
7.8.1	Kvantitativ påverkan.....	42
7.8.2	Kvalitativ påverkan	42
8	Risikexponerade objekt	43
8.1	Grundläggning	43
8.2	Naturmiljö.....	43
8.3	Kulturmiljö	43
8.4	Grundvattentäkter, geoenergibrunnar och övriga brunnar.....	43
8.5	Tillståndsgivna uttag av grundvatten	44
9	Skyddsåtgärder och försiktighetsmått.....	46
9.1	Planerade skyddsåtgärder	46
9.2	Ytterligare eller alternativa möjliga skyddsåtgärder	47
10	Kontrollprogram	47
11	Bilagor	47
12	Begrepp och definitioner	48
13	Referenser	50

Förteckning över bilagor

- Bilaga M5.1** Karta för påverkansområde och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning
- Bilaga M5.2** Förteckning över byggnader inom påverkansområdet för Tunnel från Malmö. Underlag för bedömning av sättningsrisk.

1 Sammanfattning

Som en del av en framtida hållbar avloppsrening planeras för en anläggning bestående av en huvudtunnel, två mikrotunnlar och ett nytt avloppsreningsverk i sydvästra Skåne. Under anläggningsfasen kommer elva schakter utföras ner i berggrunden. Schakterna är 18–25 meter djupa utom schaktet vid Sjölunda pumpstation som blir 36 meter djupt. Vid byggnationen av dessa planeras vattenverksamhet, bortledning av grundvatten, för att erhålla en torr arbetsmiljö.

Schakterna är lokaliserade i en av Sveriges mest värdefulla grundvattenförekomster *Sydvästra Skånes kalkstenar*. Den ytliga berggrunden utgör en sluten akvifär med ställvis hög hydraulisk konduktivitet (genomsläplighet). Denna geologi har satt förutsättningarna för att anläggningen dimensionerats med en hög vattentäthet för att minimera påverkan på omgivande grundvattenberoende värden.

Byggnation av delar av anläggningen, primärt schakterna, kommer under byggskedet påverka omgivande grundvattentryck och -nivåer. Påverkan kommer vara lokal, tillfällig och leda till förändrade grundvattengradienter och förändrade huvudsakliga grundvattenflödesriktningar till följd av en grundvattensänkning. Tunnlarna kommer att dimensioneras med en sådan täthet att de inte ger upphov till någon mätbar omgivningspåverkan och har därför inte varit i fokus för arbetet. Omgivningspåverkan avseende grundvatten bedöms under driftskedet vara försumbar.

Omgivningspåverkan vid schakterna minimeras genom att den planerade vattenverksamheten sker innanför en hydraulisk barriär i form av en slitsmur eller sekantpålevägg som anläggs till större djup än schaktbotten. Konstruktionslösningen har positiva effekter även för att begränsa risk för saltvatteninträngning och mobilisering av förorening. Ytterligare möjliga skyddsåtgärder har utvärderats och föreslås användas vid behov.

Utifrån den dimensionerade tätheten i konstruktionen samt att all bortledning av grundvatten sker innanför den hydrauliska barriären och att inga andra behov av grundvattenbortledning, än en torr arbetsmiljö, föreligger så är behovet av grundvattenbortledning under delar av byggskedet beräknats till upp till 20 liter per sekund för det största och djupaste schaktet och upp till 6 liter per sekund för övriga schakter.

Påverkansavståndet är beräknat att variera för respektive schakt i berggrunden till följd av en variation i naturliga platsspecifika förutsättningar och djup. Påverkansavståndet för påverkan i berg varierar mellan ca 55 och 130 meter från schaktcentrum för respektive schakt. Påverkan i berg har beräknats vara styrande för utbredningen av påverkansområdet. Påverkan i jord kan dock inte uteslutas. Redovisade påverkansområden visar områden inom vilka grundvattensänkningen i berg bedöms kunna bli minst en meter och en grundvattensänkningen i jord på minst 0,3 meter inte kan uteslutas.

Omgivningspåverkan samt storleken på nödvändig grundvattenbortledning under byggskedet är starkt kopplad till tätheten mot omgivande grundvattentryck för vald konstruktionslösning.

Den planerade konstruktionslösningen reducerar omfattningen av omgivningspåverkan och behoven av grundvattenbortledning.

2 Syfte och bakgrund

Denna PM utgör bilaga till Miljökonsekvensbeskrivning tillhörande tillståndsansökan för MAXIMA. I dokumentet beskrivs utredningsmetodik, underlag, undersökningar, beräkningar, bedömning av påverkan på grundvattenförhållanden samt de inventerade objekt som riskerar att påverkas till följd av den planerade vattenverksamheten. Det redovisas dessutom behov av skyddsåtgärder och ytterligare möjliga skyddsåtgärder för att minska risken för negativ påverkan på omgivande värden.

3 Avgränsningar

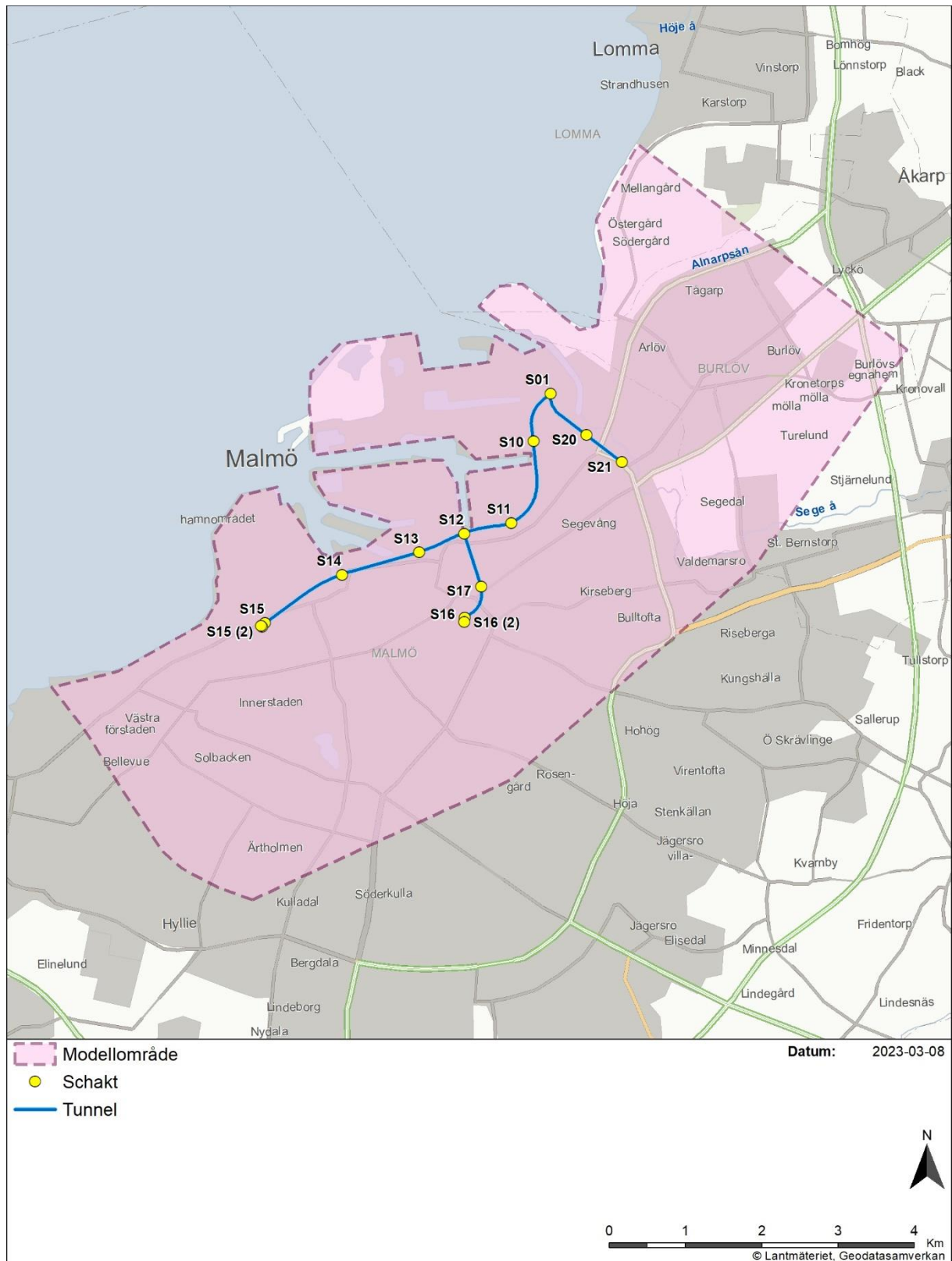
Allt utredningsarbete och alla undersökningar som har utförts avseende grundvattenförhållandena presenteras inte i detta dokument utan dokumentet fokuserar på delarna som ligger till grund för bedömning av omgivningspåverkan.

Föreliggande PM redovisar behov av grundvattenbortledning och den påverkan i form av grundvattensänkning i omgivningen som bortledningen medför. Effekter på brunnar, naturmiljö, kulturmiljö samt risk för sättningar, spridning av förorening och påverkan på miljö kvalitetsnormer behandlas i avsnitt 7 och 8.

3.1 Geografisk avgränsning

Det hydrogeologiska arbetet har fokuserats inom det så kallade modellområdet. Modellområdet avgränsas åt nordväst av Öresund, inklusive hamnområdet, som är en positiv hydraulisk gräns för grundvattenmagasinet i kalkstenen. Övriga avgränsningar har gjorts så att de yttre delarna av modellområdet inte bedöms kunna påverkas av grundvattenbortledningen från planerad anläggning. Modellområde redovisas i Figur 3-1.

Figur 3-1. Modellområde, inom vilket det hydrogeologiska arbetet fokuserats. Sjölunda avloppsreningsverk ligger i anslutning till schakt S01.



3.2 Tid

I denna PM redovisad vattenverksamhet planeras att utföras under tiden för genomförande av MAXIMA. Den ansökta grundvattenbortledningen kommer att utföras under avloppstunnelns anläggningstid som uppskattas till fyra-fem år. För S01 kommer grundvattenbortledning behöva ske i uppåt fyra-fem år. Tiden för grundvattenbortledning vid övriga schakter varierar och bedöms pågå mellan 0,5 och 1,5 år.

4 Utredningsmetodik

I det hydrogeologiska arbetet har följande arbetsgång använts som utgångspunkt:

1. Inventering av tillgängligt data- och kunskapsunderlag
2. Insamling och utvärdering av projektspecifika data vid fältundersökningar
3. Konceptuell modell
4. Beskrivning av nuvarande förhållanden
5. Preliminära bedömningar och resultat
6. Kompletterande undersökningar
7. Beräkning av influensområdet
8. Definition av påverkan och påverkansområden
9. Inventering av enskilda och allmänna intressen (riskexponerade objekt)
10. Skyddsåtgärder och försiktighetsmått
11. Underlag framarbetats för villkor och uppföljning

Metodiken har till stor del varit iterativ där flera av stegen utförts flera gånger för att producera nytt underlag till efterföljande steg. I avsnitten nedan redovisas en kort beskrivning av använd metod.

4.1 Tillgängligt data- och kunskapsunderlag

Arbetet har utgångspunkt i tillgänglig kunskap och data från tidigare utförda arbeten och utredningar. Under en initial bred inventering så utfördes insamling av underlag från myndigheter, kommuner, mark- och miljödomstolen i Växjö, från annan samhällsbyggnation och från intresseföreningar.

4.2 Projektspecifika data

Data och kunskap har efter den inledande inventeringen kompletterats löpande med projektspecifika data genom fältundersökningar och efterföljande utvärderingar.

4.3 Konceptuell modell och nuvarande förhållanden

Underlag från den initiala inventeringen tillsammans med insamlade data har sammanställts och på ett strukturerat sätt utvärderats och använts för att bygga upp en konceptuell hydrogeologisk modell över modellområdet.

De hydrogeologiska förhållandena har utifrån det inventerade underlaget, projektspecifika data och den etablerade konceptuella modellen beskrivits. Inom modellområdet har beskrivningar upprättats av grundvattenmagasin, grundvattennivåer, generella huvudströmningsriktningar för grundvattnet, hydrauliska parametrar och användning av grundvattnet. Även värde, känslighet och risk för grundvattnet har bedömts och beräknats.

4.4 Beräkningar och osäkerhetsanalys

Inledningsvis utfördes analytiska beräkningar vilka visade på behoven av mer avancerade beräkningar. Till följd av detta har även beräkningar utförts genom numerisk grundvattenmodellering. Kombinerat utifrån alla använda metoder har resultat tagits fram. Beräkningsresultat har tagits fram för följande parametrar:

- Flöden eller inläckage av grundvatten vid varje schakt där vattenverksamhet i form av bortledning av grundvatten planeras för att erhålla torr arbetsmiljö
- Påverkan på omgivande grundvattentryck och -nivåer i berörda geologiska lager

Osäkerhetsanalyser har utförts genom att variera värdena för hydraulisk konduktivitet för de geologiska zoner som är sammankopplade med både störst osäkerheter och störst påverkan på modellresultatet. Även utbredningen den lägre liggande genomsläppliga kalkstenszonen har varierats liksom grundvattenbildningen.

4.5 Påverkan och påverkansområde

För varje geologisk enhet i den konceptuella modellen och för varje beräkningslager i den numeriska modellen har först påverkan i form av grundvattensänkning definierats och utifrån denna ett påverkansområde för varje enhet eller lager beräknats. Gränsen för påverkan kan skilja vid avsänkning i olika geologiska miljöer utifrån vilka värden som blir påverkade. Exempelvis har djupa energibrunnar generellt en låg känslighet. Medan exempelvis grundvattenberoende ekosystem har en betydligt högre känslighet. Utifrån inventerade värden och beräknad omgivningspåverkan har påverkan utifrån detta här definierats dels som 1 meter avsänkning i slutna grundvattenmagasin i berggrunden, dels som 0,3 meter avsänkning i öppna grundvattenmagasin i ytliga jordarter.

Preliminära påverkansområden har under arbetets gång tagits fram vid behov, bland annat som underlag till inventering av allmänna och enskilda intressen med känslighet för påverkan från planerad vattenverksamhet.

4.6 Inventering av allmänna och enskilda intressen

Allmänna och enskilda intressen, som bedömts ha en känslighet för påverkan med avseende på grundvatten, har inventerats. Inventering har utförts inom radie på 200 meter vid respektive schakt och inom ett avstånd på 100 meter från aktuell tunnelsträckning.

Inventeringen har utförts genom arkivsökning, utskick till fastighetsägare och i form av samråd. Objekt som har inventerats innefattar grundvattenförekomster, brunnar för grundvattenuttag och geotermi, grundvattenberoende naturvärden, byggnader och anläggningar med sättningskänslig grundläggning, förorenade områden och grundvattenberoende kulturmiljö.

4.7 Skyddsåtgärder och försiktighetsmått

Efter inventeringen av allmänna och enskilda intressen som bedömts ha en känslighet för grundvattenpåverkan har arbetet med att föreslå och utforma skyddsåtgärder och försiktighetsmått utförts för den planerade verksamheten.

4.8 Villkor och kontrollprogram

Slutligen har underlag till utformning av villkor kopplade till sökt vattenverksamhet tagits fram och ett förslag på kontrollprogram utformats. Kontrollprogrammet ingår i ansökan som separat dokument.

5 Underlag och utförda undersökningar

Underlag från tidigare arbeten som insamlats omfattar:

- Geologiskt kartunderlag och beskrivningar från Sveriges Geologiska Undersökning, SGU (1980, 1987, 1999, 2005)
- Grundvattennivåer och information från Sydvästskaånes grundvattenkommittés kontrollprogram.
- Erfarenheter från grundvattensänkningar vid Citytunneln, en större underjordisk tunnel för tågtrafik i Malmö, se Laursen et al (2010).
- Kunskapsöversikt från Malmö stad kring grundvatten, se Malmö stad (2000).
- Underliggande undersökningar från tidigare skeden av Malmö avloppstunnel se Sweco (2008) och Ramböll (2021).
- Underlag från provpumpning i nedlagda projektet Tunnel från Lund (Tyréns 2021)

Utförda undersökningar, arbeten och analyser inom programmet består av:

- Provpumpningar vid två av schakterna, S01 och S15 (tre provpumpningar vid vardera schakt)
- *Flowimpeller*-loggning för relativ fördelning av transmissivitet i 27 punkter
- Grundvattennivå- och grundvattentryckmätningar i 101 punkter
- Kapacitetstester i 13 brunnar vid S01 och S15
- 17 geofysiska borrhålsloggningar
- Regional interpolering av berggrundens hydrauliska konduktivitet, K
- Beräkning av berggrundens och jordlagars lokala K -värde genom slugtest
- Utvärdering av lokala K -värde och magasinstal, S , utifrån provpumpningar
- Provtagning och analys av grundvattnets kvalitet i berg och jord
- Analytiska beräkningar av behov för bortledning av grundvatten i byggskede för schakt
- Beräkningar av behov för bortledning av grundvatten med hänsyn till utformning av tätande konstruktioner med lokal numerisk grundvattenmodell.
- Beräkningar av behov för bortledning av grundvatten och tillhörande påverkan på omgivande grundvattentrycknivå i byggskede med en regional numerisk grundvattenmodell

6 Områdesbeskrivning

Modellområdet avgränsades initialt utifrån översiktliga bedömningar och utgör det område inom vilket den planerade anläggningen bedöms i teorin kunna påverka grundvattnet utifrån tidiga antaganden. Fokus för huvuddelen av det hydrogeologiska arbetet har varit inom detta modellområde som dessutom använts för att avgränsa den numeriska grundvattenmodellen.

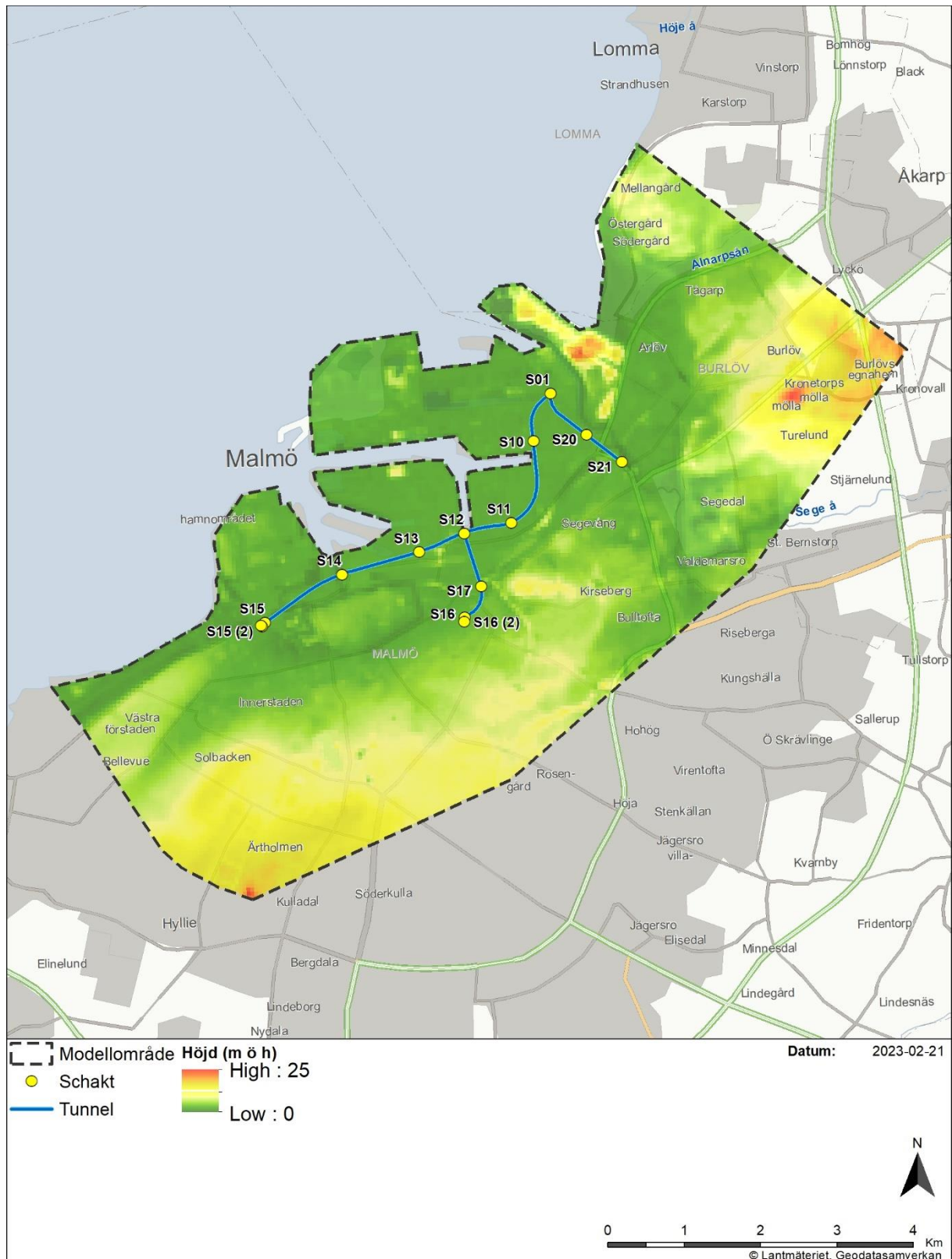
6.1 Översikt modellområdet

Modellområdet karakteriseras av flack topografi, överkonsoliderad morän, berggrund av kalksten vilken ställvis har bland landets högsta hydrauliska konduktiviteter och överlag ytliga grundvattennivåer.

6.2 Topografi

Topografin är inom modellområdet mycket flack och varierar mellan 0 och +25. En topografisk översikt över modellområdet ges i Figur 6-1.

Figur 6-1. Topografisk översikt av modellområdet. Naturliga höjdparter finns i nordöstra och södra hörnet medan höjdpartiet nordöst om S01 utgörs av Spillepengens deponi.



6.3 Bebyggelse och markanvändning

Bebyggelse inom modellområdet domineras av tätortsbebyggelse i form av småhus, flerfamiljshus, industri och övrig bebyggelse. I närområdet finns viktiga infrastrukturobjekt som Södra stambanan, Västkustvägen och E22:an.

6.4 Hydrologi

Modellområdet överlappar tre huvudavrinningsområden eller kustområden: Mellan Sege å och Höje å (26 km²), Sege å (334 km²) och Mellan Nybroån och Sege å (883 km²). I Figur 6-2 redovisas de huvudavrinningsområden och kustområden som överlappar anläggningen.

6.4.1 Ytvattenförekomster

Modellområdet överlappar två ytvattendrag som inom vattenförvaltningen är upptagna som ytvattenförekomster: Sege å samt Alnarpsån. Alnarpsån mynnar i kustvattenförekomsten Lommabukten medan Sege å mynnar i kustvattenförekomsten Malmö hamnområde.

6.4.1.1 Alnarpsån

Alnarpsån hör till kustområdet Mellan Sege å och Höje å. I den senaste vattenförvaltningscykeln (2017–2021) bedömdes Alnarpsån ha dålig ekologisk status till följd av bl.a. övergödning och mänsklig påverkan avseende morfologi och hydrologi. Ån konstaterades också ha problem med ett antal miljöfarliga ämnen, varför den kemiska statusen klassades som ”uppnår ej god”. Beslutade miljö kvalitetsnormer är ”God ekologisk status” respektive ”God kemisk ytvattenstatus”.

6.4.1.2 Sege å

Sege å löper parallellt med en av mikrotunnlarna som är del av Tunnel från Malmö från S21 till S01 och hör till huvudavrinningsområde med samma namn. Ån har sitt utlopp i Malmö hamnområde. I den senaste vattenförvaltningscykeln (2017–2021) bedömdes delsträckan Sege å: Havet-Torrebergabäcken ha otillfredsställande ekologisk status främst på grund av övergödning, dess kemiska status är bedömd till ”uppnår ej god”. Beslutade miljö kvalitetsnormer är ”God ekologisk status” respektive ”God kemisk ytvattenstatus”.

Figur 6-2. Översikt av kustområden och huvudavrinningsområden för ytvatten samt ytvattenförekomster inom modellområdet.



6.4.2 Grundvattenförekomster

Inom modellområdet finns en grundvattenförekomst i berggrunden - *SV Skånes kalkstenar*.

Grundvattenförekomsten *SV Skånes kalkstenar* omfattar grundvattnet i berggrunden i hela sydvästra Skåne från Ven och Landskrona i nordväst ned till Ystad i sydöst. Grundvattenförekomsten har en storlek i SGU:s databas på ca 2000 km² och är Sveriges till ytan näst största grundvattenförekomst men troligtvis Sveriges största sammanhängande akvifer.

Kalkstenen i vilken grundvattenförekomsten finns förknippas generellt med mycket goda uttagsmöjligheter av grundvatten på grund av dess betydande sprickighet, höga porositet och ställvis dåliga konsolidering. Ingen entydig avgränsning av förekomsten finns på djupet, men i föreliggande PM bedöms att grundvattenförekomsten återfinns i de Paleogena kalkstenarna, dvs. Köpenhamnsledet och Limhamnsledet. Under den för grundvattnet betydelsefulla kalkstenen finns s.k. skrivkrita som även den är en kalksten men med betydligt sämre vattenförande egenskaper. Utifrån detta bedöms grundvattenförekomsten avgränsas nedåt av skrivkritan.

Grundvattenförekomsten har i nuvarande förvaltningscykel klassats ha god kvantitativ status och god kemisk status enligt Vatteninformationssystem Sverige (VISS). Även miljö kvalitetsnormen är satt till god för både kvantitativ och kemisk status. Grundvattenförekomsten har klassificerats att ha betydande påverkan från förorenade områden, jordbruk, transport och infrastruktur och från historiska föroreningar. Förekomsten bedöms vara i risk att inte uppnå god kemisk status till år 2027 med avseende på nitrat, ammonium, bekämpningsmedel, klorid, konduktivitet, sulfat, arsenik, bensen, benzo(a)pyrene, kadmium, bly, kvicksilver, PAH:er, summa trikloreten/tetrakloreten samt PFAS (11). Grundvattenberoende ekosystem kopplade till förekomsten finns närmst den planerade anläggningen vid Limhamns kalkbrott.

Beslutade riktvärden och värden för utgångspunkt för att vända trend för grundvattenförekomsten ges i Tabell 6-1.

Tabell 6-1. Beslutade riktvärden och värden för utgångspunkt för att vända trend för grundvattenförekomsten inom modellområdet i förvaltningscykel 3.

Parameter	Utgångspunkt för att vända trend	Riktvärde
Nitrat	20 mg/l	50 mg/l
Klorid	50 mg/l	100 mg/l
Sulfat	50 mg/l	100 mg/l
Ammonium	0,5 mg/l	1,5 mg/l
Arsenik	5 µg/l	10 µg/l
Bekämpningsmedel – alla ämnen	Detekterat	0,5 µg/l
Bekämpningsmedel – enskilt ämne	Detekterat	0,1 µg/l
Bly och blyföreningar	2 µg/l	10 µg/l
Bensen	0,2 µg/l	1 µg/l
1,2 – dikloreten	0,5 µg/l	3 µg/l
Kadmium och kadmiumföreningar	1 µg/l	5 µg/l
Kvicksilver och kvicksilverföreningar	0,05 µg/l	1 µg/l
Polyaromatiska kolväten (PAH)	20 ng/l	100 ng/l
Triklormetan (kloroform)	50 µg/l	100 µg/l
Benso(a)pyrene	2 ng/l	10 ng/l
Trikloreten och Tetrakloreten	2 µg/l	10 µg/l
Konduktivitet	75 mS/m	150 mS/m
PFAS 11	18 ng/l	90 ng/l

6.5 Geologi

6.5.1 Berggrundsgeologi

Berggrunden inom modellområdet beskrivs bäst i sin helhet i SGU:s Beskrivning till berggrundskarta 2C Malmö NO. Ytbergarten inom modellområdet är till största del den yngsta berggrunden i Sverige från den geologiska perioden Paleogen. Den utgörs av kalksten och kan för anläggningen rent hydrogeologiskt avgränsas nedåt av den s.k. skrivkrikan. Kalkstenen kan i sin tur delas in i två led, Köpenhamnsledet och Limhamnsledet. De båda leden skiljs oftast åt genom att Limhamnsledet innehåller en större andel bryozofossil (ledet kallas även bryozokalksten) och är enligt SGU något mer asymmetriskt lagrad. Dessutom är lagren i Köpenhamnsledet generellt uthålligare. I övrigt har leden liknande hydrogeologiska egenskaper.

I tidigare projekt (t.ex. Citytunneln) har kalkstenen delats in i tre zoner med olika hydrauliska egenskaper. Detta har gjorts även i detta projekt.

Zon I är en akvifär med hög permabilitet i den övre uppspruckna kalkstenen. Mäktigheten varierar mellan 2-5,5 meter.

Zon II är en enhet med mer solid kalksten med lägre permeabilitet.

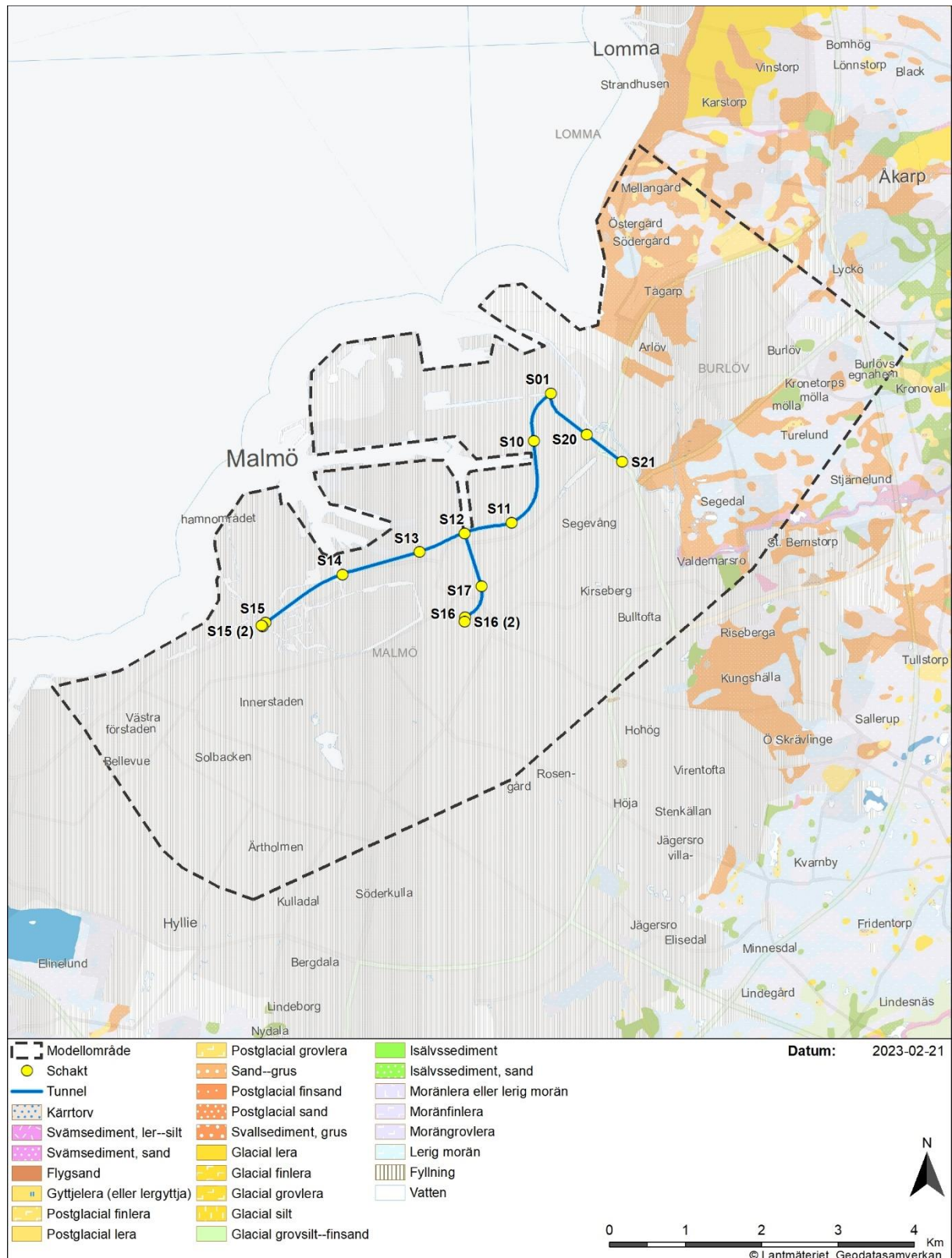
Zon III underlagrar zon II och karakteriseras av sprickor och högre porositet. Zonen är dock inte ett kontinuerligt lager som Zon I utan kan bestå av varierande zoner och linser. Zon III förekommer i hela projektområdet.

Berggrundens överyta är generellt flack men gränsar i nordost mot Alnarpsänkan. I övergången mellan slättområdet i Malmö och Alnarpsänkan stupar överytan av berggrunden mot nordost.

6.5.2 Jordartsgeologi

Jordarterna i ytan inom modellområdet domineras av fyllning som överlagrar postglaciala sediment och osorterade jordarter, främst lermorän, se Figur 6-3. Överlag präglas modellområdet av relativt små jorddjup men berggrunden går inte i dagen inom modellområdet. Jorddjupen varierar generellt inom Malmö mellan 5 och 10 meter.

Figur 6-3. Jordartskarta, från SGU. Hela modellområdet domineras av osorterade jordarter, främst lermorän. Dessa är sedan överlagrade av sorterade sediment och fyllning.



6.5.2.1 Fyllning och sediment

I Malmö domineras jordarterna i ytan av fyllning. Längs tunnel från Malmö har fyllningen varierande sammansättning men domineras av lermorän. Mäktigheten är där oftast 3–5 meter. Under fyllnadsmassorna förekommer ett relativt sammanhängande lager med sentida havssediment som oftast består av lera, silt och finsand med inslag av organiskt material i form av gyttja, torv eller dy. Dessa sediment fyller i princip ut svackor i havsbotten och kan vara uppemot 2 meter mäktiga. Under havssedimenten finns huvudsakligen osorterade jordarter i form av lermorän.

6.5.2.2 Morän

Jordarterna inom modellområdet domineras av två mäktiga och mycket täta moränenheter. Överst finns den s.k. lågbaltiska moränleran och under denna den s.k. nordostmoränen. I Malmö har de osorterade jordarterna vid Malmö Central en mäktighet av 3–4 meter, men som bedöms öka i tjocklek mot Sjölunda, där mäktigheten bedöms vara ca 8 meter.

6.5.2.3 Intermoräna sediment

Enligt SGU är den lågbaltiska moränleran avsatt i en issjö och till följd av detta underlagras den frekvent av sorterade sediment som i sin tur underlagras av nordostmoränen. De intermoräna sediment är vanligt förekommande men kan även saknas helt i övergången mellan de båda moränerna. Sedimenten varierar i mäktighet och har för det hydrogeologiska arbetet inom *MAXIMA* generaliserats till att ingå i moränenheten.

6.5.2.4 Submoräna sediment

Ställvisa observationer av submoräna sediment har gjorts inom Malmö slättlandskap men med mindre mäktighet. Troligtvis är de submoräna sedimenten av samma härkomst som de som påträffas inom Alnarpssänkan men med en mycket mindre mäktighet. Här kallat de övre Alnarpssedimenten. De övre Alnarpssedimenten har en mycket komplex sammansättning och dess övergång mellan överliggande osorterade jordarter har i angränsande projekt varit svår att definiera. Tydligast är, utifrån i programmets insamlade data, förändringen i vattenkvoten mellan ovanliggande osorterade jordarter som nästan är konstant 10 % för att sedan i de submoräna sedimenten överlag variera mellan 20–30 %. En analys av vattenkvoten ser utifrån detta ut att vara en effektiv metod att avgränsa osorterade från submoräna sorterade jordarter i dess övergång inom modellområdet.

6.6 Hydrogeologiska förhållanden

6.6.1 Grundvattenmagasin

Inom modellområdet finns totalt fyra grundvattenmagasin i berg, samtliga i sedimentärt berg. Dessa har individuella avgränsningar i SGU:s underlag, men tillhör en och samma grundvattenförekomst. I föreliggande PM har den paleogena berggrunden behandlats som en enhet med enskilda lager, men ingen avgränsning mellan enskilda grundvattenmagasin har gjorts.

Inom modellområdet finns ett icke namngivet grundvattenmagasin i jord i SGU:s databaser. Magasinet ligger vid Stora Bernstorp i östra Malmö, har ringa storlek och en bedömd uttagsmöjlighet på <1 l/s. Grundvattenmagasinet saknar betydelse för projektet och har därför inte implementerats i den numeriska modellen.

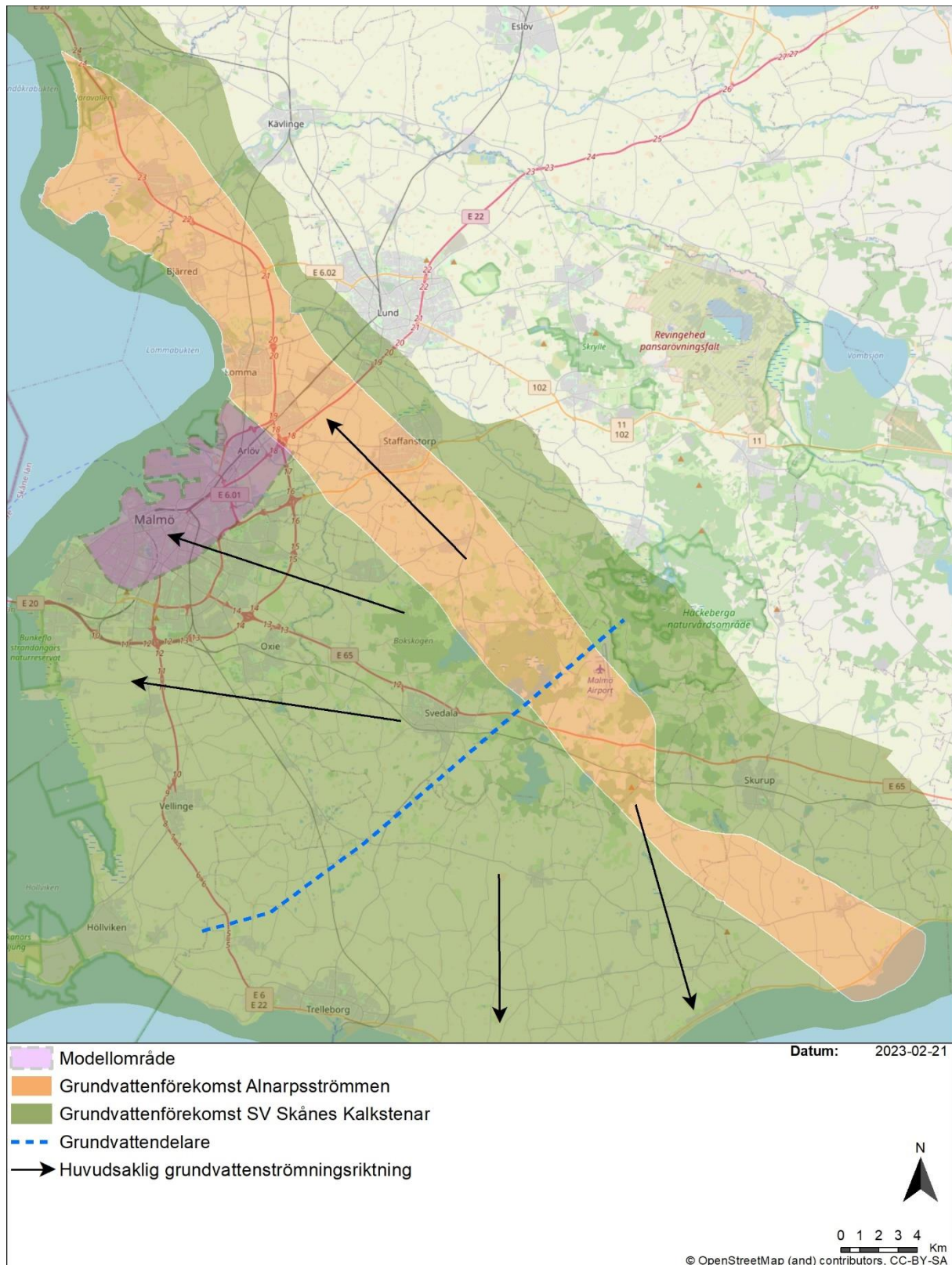
6.6.2 Grundvattendelare och huvudsaklig strömningsriktning

De årliga redovisningar av grundvattennivåer som sammanställs av Sydvästskånes grundvattenkommitté, SSGK, indikerar att de högsta grundvattennivåerna i grundvattenförekomsten *SV Skånes kalkstenar* finns i området kring Sturups flygplats. Det kan här påpekas att redovisningen av grundvattennivåerna sker gemensamt för Alnarpsströmmen, som är en grundvattenförekomst i jord, och för Sydvästra Skånes kalkstenar. Ingen grundvattendelare är redovisad i berggrunden i SGU:s kartunderlag inom grundvattenförekomsten men utifrån de nivåer som redovisas av SSGK och de strömningsriktningar som redovisas av SGU så tolkas grundvattnets huvudsakliga strömningsriktning vara radiellt från området Genarp-Börringesjön-Rydsgård och utåt mot kusten, se Figur 6-4. Vissa lokala undantag finns, vid exempelvis Limhamns kalkbrott och möjligtvis runt övergången till och från Alnarpsänkan, men i stora drag är grundvattnets strömningsriktning i berg mot kusten inom hela grundvattenförekomsten.

En rörlig grundvattendelare finns i nordöst-sydvästlig riktning tvärs över grundvattenmagasinet Alnarpsströmmen vid området kring Fjällfotasjön och Sturups flygplats. Den huvudsakliga grundvattenströmningsriktningen i Alnarpsströmmen är längs dalgången mot havet åt nordväst respektive sydöst från denna grundvattendelare.

Troligtvis har grundvattenmagasinen i Alnarpsströmmen och i berggrunden en så pass stark hydraulisk koppling att de kan betraktas som ett med svenska mått mycket omfattande slutet grundvattenmagasin.

Figur 6-4. Grundvattenförekomster inom och i anslutning till modellområdet. Pilarna indikerar bedömd grundvattenströmningsriktning som generellt är radiell från de centrala partierna. En rörlig grundvattendelare finns i Alnarpsströmmen och är markerad med streckad linje i figuren.



6.6.3 Grundvattennivåer

Grundvattentryck och -nivåer har mätts löpande i ett varierande antal punkter sedan 2016 inom ramen för programmet. Manuella mätningar har utförts i 53 punkter och automatiska mätningar i 39 punkter mellan april och juli 2021. Automatiska mätningar pågår i dagsläget i 19 punkter.

Uppmätt grundvattentryck i berggrunden inom Malmö slättlandskap har så länge mätningarna pågått visat på ytnära grundvattentryck i berggrunden cirka en meter under markytan, vanligen mellan cirka -1 och +2.

Lägsta grundvattentryck (lägre än havsnivån) är uppmätt kring S15 vilket bedöms bero på pågående grundvattenbortledning som påverka grundvattennivåerna i området. Enligt undersökningar från Ramböll inom ramen för Citytunnelprojektet sker ett inläckage av grundvatten till djupt liggande avloppsledningar, vilket kan vara en av anledningarna till de låga grundvattennivåerna. Det kan också finnas andra pågående vattenverksamheter i området.

Generellt är grundvattennivåerna i jord samma som de i berg, men lokala variationer förekommer. Vid S15 är grundvattennivån i berg lägre än den i jord medan motsatta förhållanden råder vid S21.

6.6.4 Grundvattenbildning och grundvattenbalans

6.6.4.1 Berggrunden

Grundvattenbildning till berg är generellt svår att skatta. Inom grundvattenförekomsten *SV Skånes kalkstenar* varierar grundvattenbildningen till berg dessutom i relation till hur stora uttag av grundvatten som sker. Stora delar av den potentiella grundvattenbildningen bedöms därför vara inducerad till följd av uttag. Sedan tidigare har grundvattenbildning till kalkstenen i Skåne bedömts variera i intervallet 40–80 mm vid större och optimerade uttag enligt den regionala kartläggningen av SGU. I kartverket ”grundvattentillgång i små grundvattenmagasin” redovisas siffror som indikerar en grundvattenbildning till berg inom ett liknande storleksspann. Under ostörda förhållanden, dvs. utan några uttag av grundvatten, bedöms huvuddelen av grundvattenbildningen ske i de centrala områdena av grundvattenförekomsten *SV Skånes kalkstenar* och i randen mot Romeleåsen i nordöst. Likt grundvattenbildningen till berg så har grundvattenbalansen i berggrundsakvifären en stark koppling till storleken på de uttag som sker. Under ostörda förhållanden så bedöms grundvattenbildningen vara betydligt lägre än vid ett fullt utnyttjande av grundvattenförekomstens uttagskapacitet. Troligtvis står den inducerade grundvattenbildningen för huvuddelen av tidigare bedömda siffror och uppnås enbart vid ett optimerat uttag av grundvatten. Vid opåverkade förhållanden har inom modellområdet den genomsnittliga grundvattenbildningen till berggrunden inom grundvattenförekomsten att ligga i spannet 3–8 mm/år. Siffrorna varierar från att ligga i den övre delen av eller över detta spann i Lundaområdet för att i stora delar av Malmö slättlandskap vara negativ, dvs. en utströmning av grundvatten sker från berggrunden till ovanliggande jord. Den möjliga inducerade grundvattenbildningen vid uttag har inte utvärderats inom *MAXIMA*, då detta ej bör göras för delområden av grundvattenförekomsten eftersom ansatta randvillkor mot omgivningen blir styrande för resultaten vid beräkningar av endast delar av ett slutet grundvattenmagasin. Grundvattenbildningen till de båda grundvattenförekomsterna har troligtvis en mycket stark koppling till varandra.

En grov indikation av utfört arbete är att den gemensamma grundvattenbildningen till de båda grundvattenförekomsterna *Alnarpsänkan* och *SV Skånes kalkstenar* vid opåverkade förhållanden är 4–12 Mm³/år.

6.6.4.2 Öppna grundvattenmagasin

Marken inom modellområdet består till stor del av hårdgjorda ytor där vatten rinner av till avloppssystem i stället för att infiltrera till grundvattnet. Grundvattenbildningen i området är därför begränsad. Grundvattenbildningen till ytliga jordarter och öppna grundvattenmagasin i Malmö slättlandskap har skattats att ligga kring 25-50 mm/år. Större delen av denna siffra omsätts troligen i de övre metrarna av jordlagren och i utbyte med ytvatten.

6.6.5 Grundvattenkemi

6.6.5.1 Berggrunden

Grundvattnets kvalitet i berggrunden har analyserats via provtagning i grundvattenrör vid schakterna S01 och S15. Provtagning är utförd löpande i ett tiotal rör under en provpumpning och redovisade siffror är ett medelvärde, se Tabell 6-2.

Tabell 6-2. Resultat från provtagning av grundvatten inom modellområdet i anslutning till schakter. Redovisade värden är medelvärde av ett flertal provtagningar i flera grundvattenrör.

	S15	S01
Filternivå (m under markytan)	-	-
pH	7,3	7,5
Hårdhet (°dH)	79	32
Alkalinitet (mg HCO ₃ /l)	490	460
Konduktivitet (mS/m)	990	400
Turbiditet (FNU)	25	11
Cl (mg/l)	2900	700
Fe (mg/l)	1,9	0,3
Mn (mg/l)	0,1	<0,02
NH ₄ (mg/l)	5,2	3,6
SO ₄ (mg/l)	430	2,4

Grundvattenkemin i Malmö skiljer sig mot de centrala delarna av grundvattenförekomsten. Exempelvis är såväl alkalinitet som hårdhet, konduktivitet, klorid-, järn- och ammoniumhalter tydligt högre i Malmö jämfört med värden som inom programmet observerats i Lund. För sulfat gäller det omvända, med klart högre halter i Lund än i Malmö. Möjligen kan dessa förhållanden indikera ett större bidrag av djupare och äldre grundvatten för grundvatten i nivå med planerade schakter i Malmö. Detta skulle i sådant fall indikera att grundvattenbildning till berg sker i större utsträckning i övriga delar av grundvattenförekomsten, utifrån att grundvattnet i Malmö slättlandskap fått en högre hårdhet och alkalinitet till följd av en längre uppehållstid i berggrunden. Utöver detta bedöms grundvattnet vid S01 och framförallt S15 vara påverkad av närheten till havet utifrån höga uppmätta halter av klorid och konduktivitet. Pågående eller tidigare vattenverksamhet i närområdet har troligtvis bidragit till påverkan.

Utöver de fysikaliska och kemiska egenskaperna så har provtagning utförts med avseende på föroreningar. Vid samtliga schakter har provtagits för metaller (13 stycken), alifater, aromater, BTEX, PAH, PCB och vid schakt S01 och S13 provtogs för cyanid. Vid S20, S21 och S11 provtogs för klorerade

kolväten. Nedan är en kort summering av analysresultaten. Klassningarna av metallhalter utgår från SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (SGU 2013).

- Klorerade kolväten har påvisats vid schakt S11. Vid S11 påvisades 1,2-dikloreten (cis+trans) med halt på 5,3 µg/l och vinylklorid med halt på 0,33 µg/l.
- Cyanid påvisades med halt på 3,8 µg/l vid slutet av en provpumpning vid S01. Vid inledning av provpumpning var halterna under detektionsgränsen. Cyanid provtogs även vid ett annat tillfälle och påvisades då i två punkter vid S01 med halt på 4,8 respektive 2,2 µg/l.
- Hög halt av nickel påvisades vid S12 och måttliga halter vid S11, S17, S16 och S15.
- Måttliga halter av zink påvisades vid S21 och S17

6.6.6 Hydrauliska parametrar

6.6.6.1 Kalkberggrunden

Som underlag till att ansätta hydrauliska parametrar har provpumpningar vid S01 och S15 använts.

Provpumpningarna som utförts har utvärderats med analytiska lösningar för att erhålla hydrauliska parametrar i berggrunden. Utvärdering gjordes utifrån olika platsspecifika förutsättningar och antaganden och redovisas inte fullständigt här. Resultaten från utvärdering av provpumpningarna i enskilda lager i berggrunden redovisas i Tabell 6-3.

Tabell 6-3. Resultat från utvärdering av provpumpningar för zoner i berggrunden vid schakter i Malmö. Angivna mäktigheter är angivna utifrån de utförda geotekniska och hydrogeologiska undersökningarna vid respektive schakt.

Zon	Hydraulisk konduktivitet K (m/s)
S01 Kalksten Zon I, mäktighet cirka 2,5 meter	1.0E-03
S01 Kalksten Zon II, mäktighet cirka 30-32 meter (vertikalt K-värde)	5.0E-07
S01 Kalksten Zon III, mäktighet cirka 4 meter	2.5E-04
S15 Kalksten Zon I, mäktighet cirka 2,5 meter	3.0E-03
S15 Kalksten Zon II, mäktighet cirka 23-25 meter (vertikalt K-värde)	5.0E-07
S15 Kalksten Zon III, mäktighet cirka 4 meter	1.8E-04

Utöver beräkning av K-värden har även flödesloggning utförts i berggrunden vid flertalet av schaktlägena för att identifiera fördelningen av transmissiviteten, T , vid varje undersökningsspunkt. Den tolkade fördelningen redovisas i Tabell 6-4.

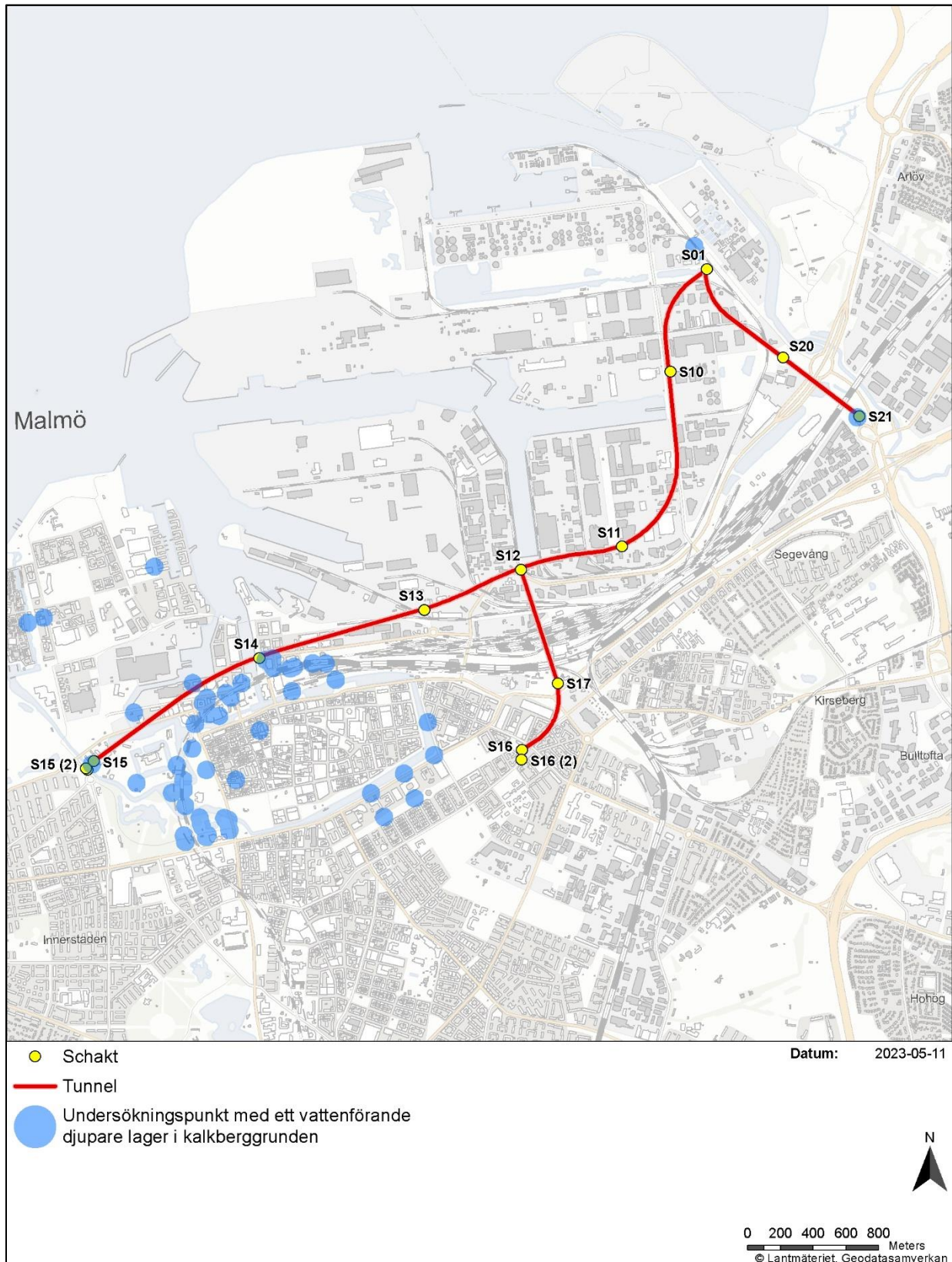
Den totala porositeten i berggrunden har mätts vid varje meter berg som genomborrats vid de geotekniska undersökningarna i berggrunden utanför Malmö, inom ett angränsande projekt. Med undantag av flinthorisonter, som i princip saknar porositet, så varierar porositeten i berggrunden till största delen mellan 15–45 % med lägsta värden på 10% och högsta värden på >50%. Det genomsnittliga värdet är 31 % inräknat samtliga provtagna punkter.

För att utvärdera förekomsten av en djupare vattenförande zon i berggrunden har även äldre flödesloggningar utvärderats inom centrala Malmö. Ett stort antal flödesloggningar från brunnsborrningar (hämtade från Malmö geoatlas) har studerats med syftet att se förändringar i flöden som visar på det vattenförande lagret på djupet. Punkter där denna zon identifierats visas i Figur 6-5. En motsvarande zon har påvisats vid provpumpningarna vid S01 och S15.

Tabell 6-4. Bedömda fördelningar av Transmissivitet utifrån s.k. flow impeller loggning i berggrunden vid respektive schakt. Berggrunden är mycket heterogen och stora skillnader finns lokalt, nedan redovisade värden är de observerade och dominerande fördelningarna vid respektive schakt. *Sammanvägda resultat från sex undersökningspunkter per schakt. M u my är förkortning för meter under markytan.

Schakt - borrhål	Procentuelfördelning av Transmissivitet i berggrunden
S01 - 16RKBH01	20% på 16–17 m u my 80% på 47–49 m u my
S01 - 16RHBH04	62% på 15–17 m u my 38% på 50–54 m u my
S01 - 21SHBH03	90% på 15–15,5 m u my 10% på 18,5–19 m u my
S01 - 21SHBH04	100% på 45–48 m u my
S01 - 21SHB06	50% på 17–17,5 m u my 20% på 42–47,5 m u my 30% på 47,5–48 m u my
S01 - 21SHB08	92% på 17–20 m u my 8% på 52–54 m u my
S01 - 21SHB09	25% på 16,5–16,9 m u my 15% på 18,5–19 m u my 10% på 19–20 m u my 25% på 35–36,5 m u my 25% på 50,5–51 m u my
S10	100 på 17–19 m u my
S11	100% på 13–14 m u my
S12	87% på 11–13 m u my 13% på 13–48 m u my
S15 – 16RHBH02	79% på 8–9 m u my 21% på 27–35 m u my
S15 – 21SG42	25% på 10,2–10,6 m u my 20% på 26–27 m u my 55% på 35–36 m u my
S15 - 21SHBH01	45% på 31–33 m u my 55% på 35–35,1 m u my
S15 - 21SHB03	95% på 8–8,8 m u my 5% på 14–14,5 m u my
S15 - 21SHB04	20% på 9–10 m u my 24% på 21–21,5 m u my 11% på 25,5–26,5 m u my 12% på 29,1–30 m u my 8% på 30–32,8 m u my 25% på 32,8–33,3 m u my
S15 - 21SHB05	100% på 10–11 m u my
S17	93% på 11–12 m u my 7% på 27–47 m u my
S21	51% på 25–30 m u my 4% på 30–47 m u my 45% på 47–50 m u my

Figur 6-5. Resultat från inventering av äldre flödeslogningar inom Malmö tätort. Ljusblå punkter visar platser där ett djupare vattenförande lager i kalkberggrunden har dokumenterats. Motsvarande inventering av tidigare undersökningar har ej varit möjlig att utföra utanför Malmö tätort då dataunderlag saknats.



Horisontella flintbankar kan lokalt ha en kraftig inverkan i form av sänkt vertikal hydraulisk konduktivitet. Flintbankarna har betydligt lägre porositet än omgivande kalksten och kan ha en betydande effekt vad gäller den vertikala hydrauliska konduktiviteten även vid en relativt liten mäktighet förutsatt att banken är heltäckande inom området som utvärderas.

Sammanvägt har samtliga ovan angivna metoder legat till grund för en numerisk hydrogeologisk modell. Under kalibrering mot insamlade data har sedan modellens parametrar justerats utifrån indataparametrar.

Sammanfattningsvis kan sägas att berggrunden inom modellområdet har hög hydraulisk konduktivitet och att de uppmätta värdena vid S15 beräknats tillhöra den högsta percentilen sett till K -värden i hela grundvattenförekomsten. Kombinerat med låga magasinlaster leder detta till att berggrunden generellt har stor potential för uttag av grundvatten och att avsänkningstratten kopplad till uttag blir flack med stor utbredning. Resultaten visar också att den höga genomsläppligheten är kopplad till vissa lager ofta i anslutning till bergets överyta. Provpumpningarna visar att den vertikala hydrauliska konduktiviteten är lägre än den horisontella konduktiviteten.

6.6.6.2 Morän

Hydrauliska parametrar för de osorterade jordarterna, den lågbaltiska moränleran och nordostmoränen, har insamlats från hydrauliska undersökningar i Trafikverkets arbete med fyra spår, ett järnvägsprojekt nordost om Malmö. Det har vid de numeriska modelleringarna utifrån detta använts ett K -värde på $1E-8$ m/s för osorterade jordarter.

6.6.6.3 Sorterade sediment i Malmö slättlandskap

Lokalt kan sorterade sediment ovanpå de osorterade jordarterna utgöra lokala grundvattenmagasin i framförallt Malmö slättlandskap. Konduktiviteten i marina sediment och fyllnadsmassor bedöms ligga i intervallet $1E-4$ - $1E-6$ m/s, med det högre värdet gällande för marin sand enligt Sweco (2008). Vid numerisk modellering har $5E-6$ m/s ansatts då fyllnadsmassorna i huvudsak bedöms bestå av lermorän.

6.6.7 Hydrogeologisk kontakt med havet

Den hydrogeologiska kontakten mellan havet och grundvattenförekomsten har i Malmö hamnområdet antagits vara direkt utan motstånd mellan berggrund och strandkant utifrån att muddring har skett ned till berggrund i flertalet delar av hamnen.

6.7 Grundvattnets användning

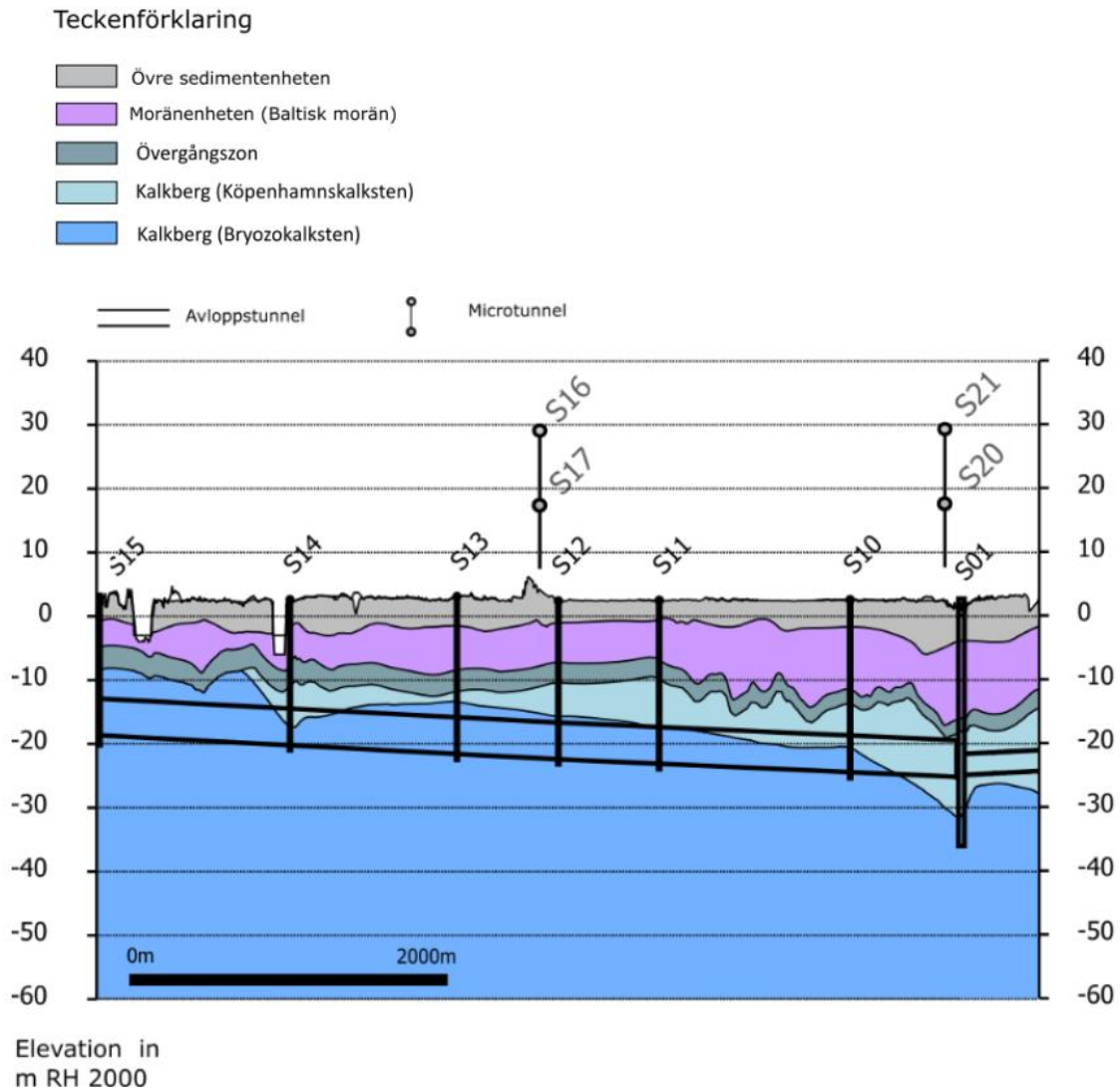
Grundvattenresurserna i berggrunden har nyttjats som en regionalt viktig grundvattenresurs sedan sekelskiftet år 1900. Inom utredningsområdet finns kommunala vattenuttag ur berggrunden i området mellan Trelleborg och Malmö. Inom modellområdet nyttjas grundvattnet i berggrunden både för industriella och enskilda ändamål. Från Mark- och miljödomstolen i Växjö har koordinater för 28 tillståndsgivna vattentäkter identifierats vid insamling av underlag. Dessa omfattar även vattentäkter i djupare berggrund för geotermi, vattentäkter i jord samt ytvattenverksamhet. Av dessa har tre tillstånd varit så nära någon av de planerade anläggningarna att de utvärderats för eventuell påverkan, vilket redovisas under stycke 8. Utanför tätorterna finns ett stort antal enskilda brunnar.

6.8 Konceptuell modell

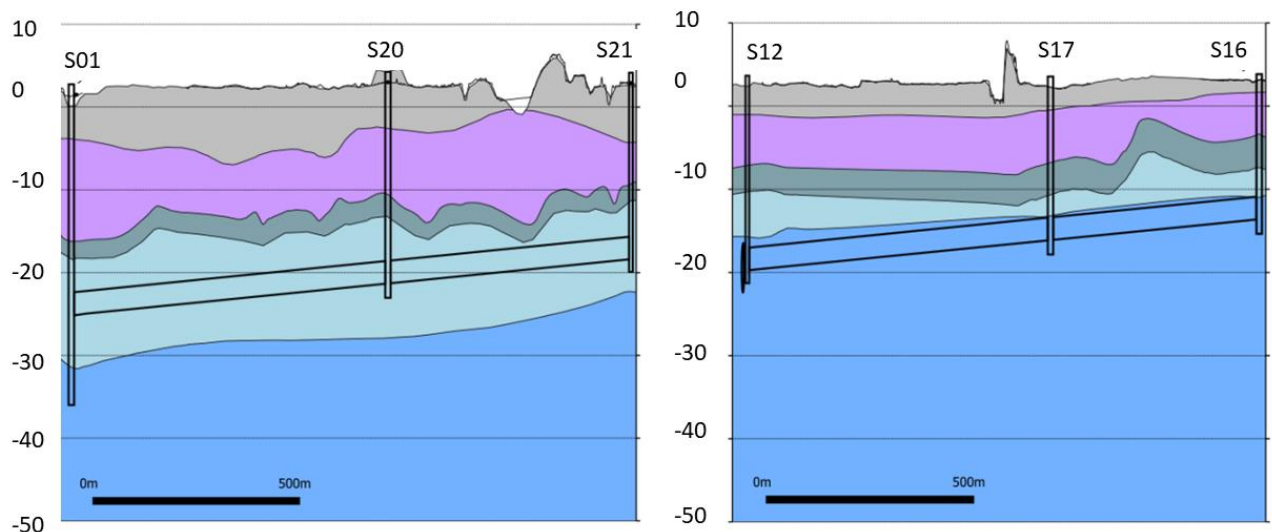
En konceptuell modell har etablerats för anläggningen.

Syftet med den konceptuella modellen är främst att använda som ett verktyg för att förstå och visualisera den omgivningspåverkan som förväntas uppstå till följd av anläggningen under byggskedet. Modellen har löpande under arbetet använts som ett verktyg i förståelsen av de lokala hydrogeologiska förutsättningarna, för att återkoppla uppmätt data till samt för att förankra resultat och slutsatser i. Den konceptuella modellen ses i profil i Figur 6-6 och Figur 6-7.

Figur 6-6. Konceptuell modell avseende rådande geologiska förhållanden utmed planerad anläggning.



Figur 6-7. Konceptuell modell avseende rådande geologiska förhållanden utmed mikrotunnlarna.



6.8.1 Hydrogeologisk konceptuell modell

Den konceptuella hydrogeologiska modellen för modellområdet består av fem lager:

1. Övre sediment (fyllning, marina sediment och postglaciala sediment)
2. Lermorän
3. Övergångszon
4. Köpenhamnskalksten
5. Bryozokalksten

Jordlagren i den konceptuella modellen i Malmö består av jordarter såsom fyllning, glaciala och postglaciala sediment ovanpå morän, lermorän, intermoräna sediment och submoräna sediment. Dessa har i den konceptuella modellen förenklats till två enheter: Övre sedimentenheten och moränenheten. Lermoränen har en omfattning som inom Malmö slättlandskap förväntas utgöra huvuddelen av jordvolymen. Dess hydrauliska konduktivitet, K -värde, är mycket lågt sett till ovanliggande sediment och underliggande berggrund. Sett ur ett mer storskaligt perspektiv – exempelvis modellområdet bedöms detta vara ett tillräckligt gott antagande, även om lokala förutsättningar till följd av exempelvis intermoräna sediment bedöms variera kraftigt. Utifrån att det primärt är jordlagrens vertikala K -värde som sätter förutsättningarna för jordlagrens inverkan på hydrogeologin, ger detta att eventuell förekomst av intermoräna sediment kan generaliseras bort. Detta då de bidrar i mycket liten utsträckning till jordlagrens vertikala konduktivitet även om de på lokal skala kan bidra betydande till dess horisontella K -värde. Detta leder till att jordlagren i Malmö kan betraktas som en omfattande akviklud som har ett K -värde som ligger 3–5 storleksordningar under den underliggande berggrunden. Jordlagren bedöms inom det preliminära utredningsområdet vara heltäckande och inget utrymme ges i den geologiska modellen för en större hydraulisk kontakt mellan ytan och den underliggande berggrunden undantaget platser där utskiftning eller muddring skett ned till berggrunden, exempelvis inom hamnen.

Övergångszonen mellan jord är berg är sedan tidigare utförda arbeten med schakt ned i berggrunden i Malmö känd att ställvis vara mycket vattenförande. Zonen har beskrivits som dels en mekaniskt uppkrossad zon med mycket högt K -värde men begränsad mäktighet i vissa projekt, dels som en något mäktigare zon på cirka 5 meter som har ett högt men än något lägre K -värde. Båda dessa förklaringar ger upphov till likvärda effektiva hydrogeologiska egenskaper. Vid de platsspecifika undersökningarna i aktuellt program så uppvisar övergångszonen mycket varierande egenskaper. Utvärderingen av denna har baserats utifrån ackumulerande flödesloggning, s.k. *flow impeller log*. Inom Malmö slättlandskap utgör zonen vid vissa av schakterna den största bidragande delen av berggrundens transmissivitet, exempelvis vid S11, S12 och S17, men vid andra schakter är bidraget försumbart. Vid undersökningar i nedlagda projekt *Tunnel från Lund* (Tyréns 2021), som ligger inom modellområdet, återfanns huvuddelen av berggrundens T -värde i vissa undersökningspunkter kring nivå -36. Motsvarande eller liknande djupare liggande vattenförande zoner ger vid vissa av schakterna det huvudsakliga bidraget till berggrundens totala T -värde. Till följd av sin belägenhet är dessa generellt mycket svåra att avgränsa, vilket leder till större osäkerheter jämfört med de fall där övergångszonen dominerar då denna är enklare att undersöka. En initial tolkning är att den djupare liggande zonen är en eller flera generationer av palaeokarst.

Tolkningen att Malmö slättlandskap primärt är ett utströmningsområde leder till att endast en mycket begränsad grundvattenbildning till berggrunden kan ske inom Malmö slättlandskap under nuvarande förhållanden. Denna grundvattenbildning kan anses försumbar i relation till den grundvattenbildning

som i litteraturen anges för berggrunden, exempelvis de värden som anges i den regionala grundvattenkartan, då dessa siffror är framräknade utifrån en optimerad användning av grundvattenresurserna spritt över ett större geografiskt område. Sammanfattningsvis bedöms därför akvifären i berggrunden inom hela Malmö slättlandskap vara en sluten akvifär där samtliga befintliga eller kommande uttag vägs upp till största del av tillrinning från berggrunden utanför modellområdet och till viss del från ett inducerat inläckage från jordlagren vid betydande uttag av grundvatten. Även ett inläckage av havsvatten inom typområdet kan förutspås till berggrunden vid uttag där influensområdet överlappar havet.

Utifrån samma konceptuella modell kan argument byggas att influensområdet för ett uttag av grundvatten, till stor del oberoende av storlek, över tid kommer gå mot att vara mycket stort i utbredning, men med en mycket liten absolut avsänkning i varje punkt inom influensområdet. Detta till följd av att storleken på grundvattenbildningen till berg bedöms vara starkt kopplat till storleken på uttaget. Dvs. ett uttag av grundvatten ur berggrundsakvifären kommer lokalt leda till en inducerad grundvattenbildning i form av ett läckage från jord till berg. Detta läckage kommer i en sluten akvifär ske över ett mycket stort område. Storleken av läckaget står i relation till storleken på uttaget, ett litet uttag leder till ett litet läckage och ett stort uttag leder ett stort läckage. Detta innebär att även små men långvariga uttag har stor potential att över tid utveckla mycket stora influensområden, om än med mycket liten faktisk avsänkning i varje punkt inom grundvattenmagasinet. Detta stärks ytterligare av uppmätta hydrauliska parametrar i berggrunden inom typområdet där låga magasininstal och mycket höga hydrauliska konduktiviteter påvisats.

Den konceptuella modellen lämnar utrymme för öppna grundvattenmagasin med mindre utbredning i exempelvis fyllning eller sorterade sediment ovan de osorterade jordarterna. Sådana grundvattenmagasin har identifierats vid exempelvis schaktet S01 och Sjölanda avloppsreningsverk. Grundvattennivåer i dessa bestäms lokalt också av jordlagrens kontakt med kanalerna och hambassängen. Mätningar av grundvattennivåerna i Malmö C-området visar på en normalnivå, som ligger någon eller ett par decimeter över Öresunds medelvattennivå och att variationen normalt ligger inom +/- 0,3 m.

6.8.2 Tunnlar och schakter

En översiktlig konceptuell modell har även etablerats för tunneln och schakterna. Schakternas geometrier framgår av Tabell 6-5. Alla schakterna i anslutning till avloppstunneln planeras att anläggas med stödkonstruktioner som når under schaktbotten. Stödkonstruktionerna kommer att förhindra inläckage från schaktens väggar.

Tabell 6-5. Schakternas geometrier

Schakt	Marknivå (RH2000)	Schaktbotten (RH2000)	Schaktdjup (m)	Innerdiameter (m)
S01	+1,5	-32,0	36,1	Ø44,5
S20	+3	-20,9	25,2	Ø13,0
S21	+2,9	-18,0	22,0	Ø9,0
S10	+2,6	-21,5	25,0	Ø4,5
S11	+2,5	-20,2	23,6	Ø4,5
S12	+2,4	-20,3	23,8	Ø9,0
S17	+2,3	-16,6	20,2	Ø13,0
S16	+3,1	-14,1	18,3	Ø9,0
S13	+3,1	-18,7	22,7	Ø4,5
S14	+2,6	-17,3	20,8	Ø4,5
S15	+2,1	-19,0	22,4	Ø13,0

Utifrån den tätheten som tunnlarna dimensioneras för beräknas respektive tunnel under driftskedet ha ett inläckage på under 1 l/s i sin helhet. För att uppnå ett sådant lågt inflöde så måste tunneln oberoende av omgivningens förutsättningar säkerställa att den önskade tätheten uppnås. Det är alltså uteslutande den tekniska lösningen som ansvarar för detta och i den meningen inte en hydrogeologisk frågeställning. Förutsatt att den önskade tätheten uppnås bedöms tunnlarna inte ge upphov till någon mätbar omgivningspåverkan och har därför inte varit i fokus för arbetet.

7 Bedömd grundvattenpåverkan

Påverkan och effekten av den planerade anläggningen har beräknats med hjälp av både analytiska metoder och genom numerisk grundvattenmodellering. Följande kapitel behandlar resultaten från dessa beräkningar som också ställs i relation till den konceptuella modellen.

Den numeriska modelleringen har enbart behandlat schakterna i byggskedet då tunneln är dimensionerad för ett i praktiken omätbart inläckage och därmed även tillhörande omgivningspåverkan. För Sjölunda avloppsreningsverk har inte omfattningen på den planerade vattenverksamheten föranlett behov av numerisk modellering.

Den förväntade påverkan kan för grundvatten delas in i två huvudkategorier:

- Kvantitativ påverkan – påverkan på omgivande grundvattennivåer
- Kvalitativ påverkan – påverkan på grundvattenkvaliteten

De två olika sorternas påverkan kan medföra olika effekter och verkar ofta inom olika tidsintervall. En kvantitativ påverkan är i huvudsak kopplad till det skede av projektet där behov av grundvattensänkning finns, alternativt under den tiden anläggningen läcker in grundvatten. Grundvattensänkningen eller inläckaget av grundvatten som leds bort från anläggningen medför en lokal trycksänkning i grundvattnet i omgivande geologiska lager. Trycksänkningen fortplantar sig utåt och är som störst i den direkta anslutningen för att sedan minska succesivt med avståndet. Trycksänkningen fortsätter att fortplanta sig så länge avsänkningen eller inläckaget pågår och till dess att sänkningen balanserats av grundvattenbildning/grundvattenläckage alternativt nått en hydraulisk gräns. Storleken på omgivningspåverkan står därför i relation dels till den utförda grundvattensänkningen eller inläckaget men är också, kanske till ännu större del, styrd av de naturliga förutsättningarna. Tiden för en kvantitativ omgivningspåverkan avgränsas ofta av byggskede, driftskede eller avvecklingen av anläggningen och storleken på påverkan kan till viss del styras och förutses genom val av teknik och skyddsåtgärder. Återhämtningstiden för en sådan påverkan är för en akvifär generellt i storlek med hur länge påverkan pågick och varierar med de naturliga förutsättningarna mellan dagar och tiotals år. En kvalitativ påverkan å andra sidan är inte nödvändigtvis kopplad i samma utsträckning till perioder under anläggningens livscykel utan är i större utsträckning beroende på grundvattnets naturliga förutsättningar så som dess sårbarhet och resiliens, dvs. förmåga till återhämtning.

7.1 Definition av omgivningspåverkan och påverkansområde

Under arbetet har omgivningspåverkan i form av avsänkning av grundvattennivåer beräknats i olika geologiska enheter genom numerisk grundvattenmodellering. Förslag på definition av påverkan har tagits fram för dels öppna grundvattenmagasin dels för slutna grundvattenmagasin:

- Grundvattenmagasin i jord – 0,3 meter avsänkning
- Grundvattenmagasin i kalkberg – 1 meter avsänkning

Definition för påverkan bör sättas utifrån eventuella skyddsobjekts känslighet. Ett känsligare skyddsobjekt, exempelvis ett grundvattenberoende ekosystem, erfordrar en strängare definition av påverkan. För den planerade anläggningen finns närmsta identifierade grundvattenberoende ekosystem i Limhamns kalkbrott ca 5 km från anläggningen. Utifrån detta bedöms det att påverkan på grundvattenberoende ekosystem kan anses försumbar och att övriga skyddsobjekts känslighet kan

styra definitionen av påverkan. Lermoränen har vid de geotekniska undersökningarna konstaterats vara överkonsoliderade och har därmed liten potential för sättningar.

Påverkan definieras här som en avsänkning större än 1 meter i slutna magasin. Motsvarande för öppna grundvattenmagasin i ytliga jordlager har påverkan definierats som en avsänkning större än 0,3 meter. Detta då det inte finns något dokumenterat grundvattenberoende ekosystem inom 5 km avstånd till anläggningen och övriga inventerade riskexponerade objekt ej bedöms ha en hög känslighet. Det kan vid bortledning av grundvatten finnas sättningspotential i fyllning och postglaciala sediment som underlagrar fyllningen inom Malmö slättlandskap, vilka därför bedöms vara det riskexponerade objektet inom modellområdet med högst känslighet för påverkan.

I föreliggande dokument redovisas endast ett påverkansområde och utbredningen av detta i plan har bedömts utifrån den yttre gränsen av påverkan i varje enskilt beräkningslager. Inom hela modellområdet har den styrande avsänkningen uppkommit i slutna grundvattenmagasin i nivå med foten av stödkonstruktionerna. Dvs. påverkan är som störst i nivå med schakternas lägsta punkt och påverkan i öppna grundvattenmagasin är inom hela modellområdet mindre än i slutna.

7.2 Behov av grundvattenbortledning

De planerade anläggningarna kommer under byggskedet ha arbetsmoment som utförs i jord eller berg under grundvattennivån eller trycknivån. Under vissa arbetsmoment kommer grundvattensänkning utföras och under vissa arbetsmoment kommer det ske ett inläckage av grundvatten till anläggningarna. För respektive del av anläggningen redovisas här de identifierade behoven av bortledning av grundvatten under byggskedet. I driftskede kommer anläggningen som helhet ha ett försumbart inläckage.

7.2.1 Sjölunda avloppsreningsverk

Grundläggning vid Sjölunda avloppsreningsverk kommer utföras på varierande djup ned till nivå -4,6. Systemhandling och bygghandling kommer tas fram efter upphandling av entreprenör men det antas dagsläget att stora delar av anläggningen kommer grundläggas genom pålning och att schakt under grundvattennivå i huvudsak kommer utföras innanför spont, detta undantaget mindre VA-schakt som planeras utföras som intermittenta arbeten. All pålning till berg planeras utföras från nivå ovan grundvattentrycknivå i berg för att minimera behoven av bortledning av grundvatten. För typlösning av schakt och grundläggningen vid Sjölunda avloppsreningsverk spantas runt hela schaktet ned i underliggande lermorän till erforderligt djup vilket minimerar behoven av grundvattenbortledning. Möjliga flödesvägar för grundvattnet utgörs då av:

- Horisontellt genom spont
- Vertikalt genom lermorän
- Längs eventuell spalt mellan påle och lermorän

Vid denna typlösning är det vertikala flödet generellt det dominerande bidraget. Storleken på det vertikala flödet genom lermoränen begränsas dock kraftigt att dess låga K -värde förutsatt att spontfot avslutas på tillräckligt stort djup ned i lermoränen. Detta för att undvika ett inflöde kring spontfoten. Det horisontella flödet begränsas av sponten i sig. Att det uppkommer ett grundvattenflöde/inläckage i spalt längs påle är generellt en risk, men denna risk bedöms i den geologiska miljön med täta moränenheter som liten.

Sammanfattningsvis bedöms eventuell grundvattenbortledning vid Sjölunda avloppsreningsverk vara begränsad och inte ge upphov till någon omgivningspåverkan. Inga påverkansområden har därför tagits fram.

7.2.2 Tunnlrar

Huvudtunneln med tillhörande mikrotunnlar har dimensionerats för en täthet mot omgivande grundvattentryck så att inläckaget understiger en liter per sekund per tunnel under driftskede. Inläckaget är försumbart både avseende ovidkommande vatten till avloppsreningsverket och med hänsyn till omgivningspåverkan.

7.2.3 Schakt

Behov av bortledning av grundvatten vid schakt har beräknats utifrån behovet av länshållning för torr arbetsmiljö.

Behoven av länshållning har beräknats med numeriska och analytiska beräkningar. Behoven har beräknats för byggskede för tidpunkt då schakt utförts till största djup men innan bottenplatta gjutits innanför slitsmur eller sekantpålevägg.

Vid de numeriska beräkningarna har dessa utförts för s.k. stationära förhållanden och att grundvattenbortledning utförts i samtliga schakter parallellt. Översiktliga ingående parametrar till beräkningarna redovisas i Tabell 7-1. Redovisade behov uppvisar en variation vilket beror på en stor bredd i schakternas geometri, naturliga förutsättningar och tillgodoräknade skyddsåtgärder.

Den numeriska modellen gjordes dels med indata som ansågs vara mest troligt, och dels utfördes en känslighetsanalys där vissa av dessa parametrar varierades.

Inflödena till schakterna beräknades i ett tidigare skede även med en lokal modell som användes för den geotekniska dimensioneringen. Denna modell omfattade ett betydligt mindre område och kan inte användas för att bedöma omgivningspåverkan. Den bedöms dock vara relativt tillförlitlig vad gäller inläckage. De beräknade inläckagen i denna modell stämmer väl överens med inläckagen i det mest troliga scenariet i den regionala hydrogeologiska modellen.

Beräknade flöden från modellen från det mest troliga scenariet är mycket låga, och även de flesta övriga scenarier resulterade i generellt låga flöden. För att ta höjd för lokala variationer lades en säkerhetsmarginal till på de beräknade flödena, framförallt för de schakter där det fanns få eller inga fältundersökningar. Valda flöden överskrider därför värsta scenariet för alla schakter utom S01, där mycket underlag finns och osäkerheten med modellen därmed bedöms vara mindre. Valda flöden redovisas i Tabell 7-1.

Tabell 7-1. Geometriska parametrar till beräkningar för respektive schakt samt beräknade behov av flöde vid bortledning av grundvatten för att erhålla torr schaktbotten.

Schakt	Nivå - schaktbotten (RH2000)	Area, schaktbotten (m ²)	Djup till schaktbotten (m under markyta)	Flöde, Q (l/s)
S01	-32	1555	36,1	20
S10	-21,5	16	25,0	2
S11	-20,2	16	23,6	2
S12	-20,3	64	23,8	4
S13	-18,7	16	22,7	2
S14	-17,3	16	20,8	2
S15	-19	133	22,4	6
S16	-14,1	64	18,3	4
S17	-16,6	133	20,2	5
S20	-20,5	133	25,2	5
S21	-18	64	22,0	3

För samtliga schakter beräknas storleken på de horisontella grundvattenflödena genom stödkonstruktionen vara försumbar. Lejonparten av behoven av grundvattenbortledning vid schakt i berggrunden kommer ha sitt ursprung i vertikala grundvattenflöden genom schaktbotten antingen via blödarrör eller genom pumpning i brunnar under en gjuten bottenplatta av betong.

7.3 Analytiska beräkningar

Analytiska beräkningar har utförts både inledningsvis för att ge en grov uppskattning och preliminära resultat men även för att användas som jämförvärde mot resultat från den numeriska modelleringen.

Schakterna har i de analytiska beräkningarna konceptualiserats att ha två komponenter av grundvattenflöde, en horisontell komponent och en vertikal komponent. Den vertikala komponenten har sin gränsyta i nivå med foten på betongkonstruktionen som avskärmar de horisontella grundvattenflödena. Detta innebär att en liten del av det grundvatten som i verkligheten tränger in till schaktbotten via ett horisontellt inflöde genom slitsmur eller sekantpålevägg under schaktbotten ej tas hänsyn till. Storleken på detta flöde bedöms vara försumbart i storlek jämfört med de två huvudkomponenterna.

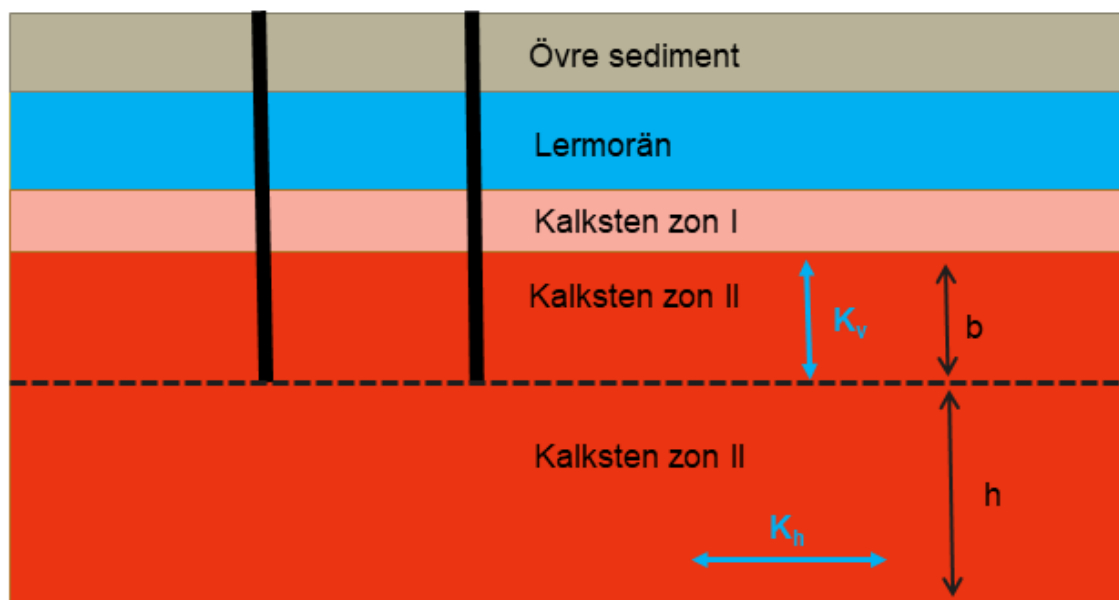
7.3.1 Thiem

För att beräkna preliminära påverkansområden i berggrunden har Thiems brunnsekvation använts (Thiem 1907). Resultaten av denna metod är starkt beroende på vilken grundvattenbildning som ansätts och bör utifrån detta användas med försiktighet. Beräkningarna visar på fördelarna eller behoven av att använda numerisk modellering vid arbete med de slutna akvifererna inom utredningsområdet.

7.3.2 Neuman-Witherspoon

För beräkning av påverkansområden i berggrunden har även metod enligt (Neuman-Witherspoon, 1960) för slutna akvifär med läckage använts. Metoden tar hänsyn till att vatten kan strömma genom ett semipermeabelt lager som skiljer akvifärena åt. I detta fall utgör kalkstenen zon II både det semipermeabla lagret (akvitarden) och akvifären där uttaget sker, då stödkonstruktionen skär av det horisontella flödet i kalkstenen som är ovan schaktbotten och den vertikala konduktiviteten är lägre än den horisontella, se Figur 7-1. Läckaget sker således från Kalksten zon I genom övre delen av Kalksten zon II. Ett antagande är att avsänkning kan försummas i den övre akvifär som bidrar med läckaget. I detta fall förutsätts den övre uppspruckna kalken vara betydligt mera genomsläpplig och därför påverkas av avsänkning i mindre grad. I vissa fall skulle läckage även kunna ske underifrån från Kalksten zon III men det har inte beaktats i beräkningen.

Figur 7-1. Konceptuell för beräkning av påverkansområden enligt Neuman-Witherspoon.

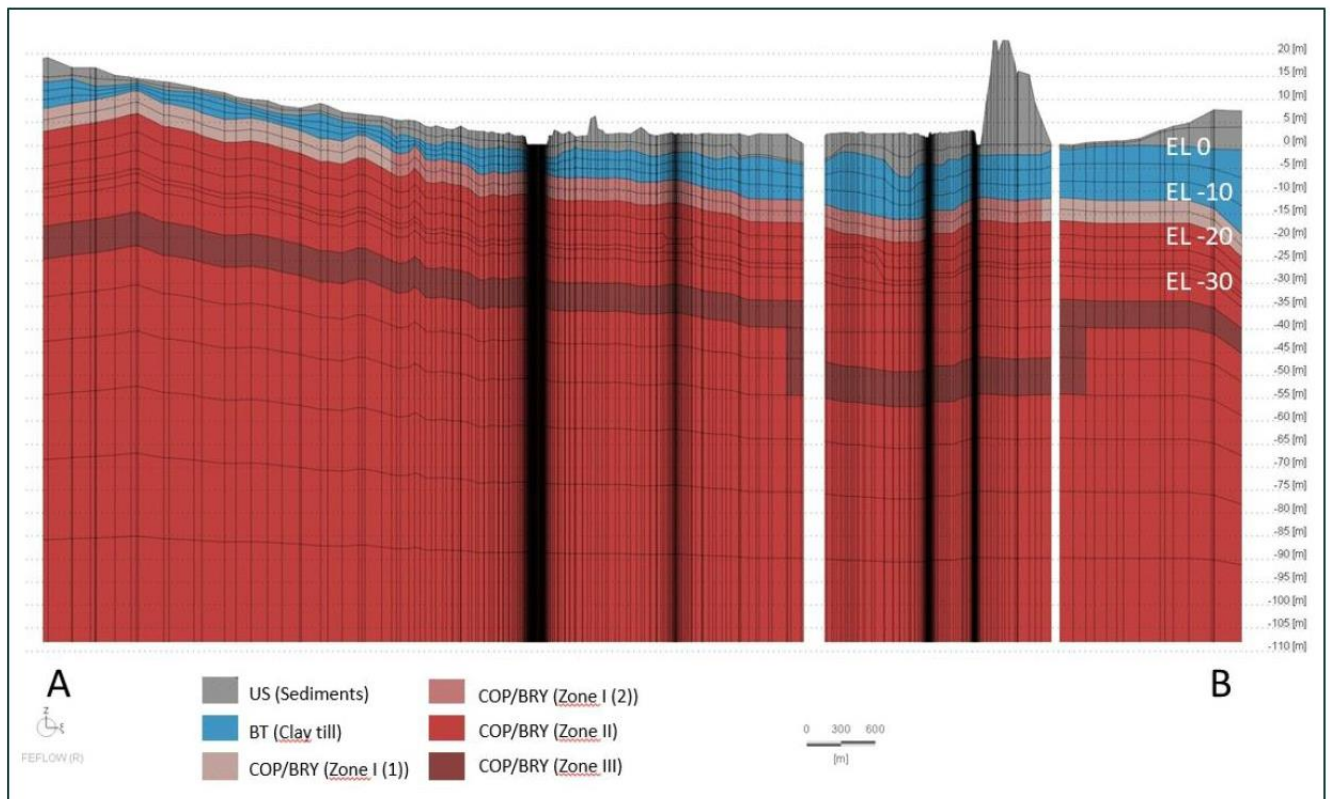


7.4 Numerisk modellering

Numerisk modellering har använts för att beräkna omgivningspåverkan. Omgivningspåverkan har beräknats i form av avsänkning på omgivande grundvattentryck och -nivåer.

För den numeriska grundvattenmodellen har programvaran *FEFLOW* v. 7.5 för mättat grundvattenflöde använts. Modellberäkningarna gjordes utifrån stationära förhållanden. Simulering skedde med konstanta randvillkor där ingen grundvattenpåverkan tros ske, exempelvis kustlinjen eller isolinjer för grundvattentryck. Modellen har tillåtit torra celler ovanför grundvattnets trycknivå. Ett tvärsnitt av modellen visas i Figur 7-2.

Figur 7-2. Tvärsnitt av den numeriska modellen. Grått motsvarar övre sedimenten (US), blå lermorän (BT), ljus röd uppsprucket kalkberg, röd kalkberg zon II, mörkröd kalksten zon III. (VA SYD, 2023)



Alla modeller är förenklingar av verkligheten. Att göra antaganden är nödvändiga för att modellera så exakt men enkelt som möjligt för att uppnå önskat resultat. En utgångspunkt i arbetena har varit att konstruera en modell som producerar erforderliga resultat men har så okomplicerad uppbyggnad som möjligt. Uppbyggnaden har utifrån detta inletts utifrån enkla antaganden och modellen har succesivt utvecklats tills de inom tillräcklig felmarginal uppfyller krav vid kalibreringsprocessen.

Arbetet med den numeriska modellen redovisas inte i detalj i detta PM men har i övergripande drag utförts enligt följande:

1. En geologisk modell byggs upp över modellområdet
2. En numerisk modell avgränsas och tilldelas hydrogeologiska parametrar
3. Modellen kalibreras mot uppmätt grundvattentryck och -nivåer.
4. Efter kalibreringen läggs anläggningen in i modellen
5. Beräkningar för flöde och omgivningspåverkan utförs utifrån planerad grundvattenavsänkning
6. Utvärdering och bedömning

Omarbetning och revidering har skett löpande under processen och beräkningar har med de numeriska modellerna utförts för stationära förhållanden under byggskede. En känslighetsanalys har utförts genom att variera hydrauliska parametrar. På så sätt har resultat från flera olika scenarier erhållits.

7.5 Påverkansområden

Byggnation av delar av anläggningen, schakterna, kommer under byggskedet att påverka omgivande grundvattennivåer. Påverkan kommer vara lokal och tillfällig och leda till förändrade grundvattengradienter och förändrade huvudsakliga grundvattenflödesriktningar till följd av en temporär grundvattensänkning. Förutsättningarna ger att grundvattenbortledning ur SV Skånes kalkstenar riskerar att få mycket stora influensområden och påverkansområden över tid. Men utvecklingen av påverkansområden i berggrunden över tid fördröjs och utbredningen begränsas om arbete sker innanför en hydraulisk barriär i form av täta stödkonstruktioner. Nedan redovisas för respektive typområde de beräknade påverkansområdena. Styrande för påverkansområdets utbredning är avsänkningen i slutna grundvattenmagasin i nivå med foten av stödkonstruktionen.

Avsänkningen i jord har i modellen framförallt observerats i nederkant av moränen. Det kan dock inte uteslutas att avsänkning även uppkommer i resterande delar av moränprofilen samt de övre sedimenten. Vid S15, som ligger i anslutning till kanalen, kan detta eventuellt kompenseras till viss del genom ökad grundvattenbildning till jord (genom minskat utflöde från jordlagren till kanalen). Grundvattensänkning i jord bedöms kunna bli 0,3 meter eller mer inom samma område som grundvattensänkningen i berg blir en meter eller mer.

Vid beräkningar av påverkansområden har följande antaganden gjorts:

- Stationära förhållanden nås under byggskedet
- Grundvattenbortledning pågår samtidigt vid samtliga schakter

Påverkansområden visas för hela projektet i Figur 7-3 och för respektive schakt i Bilaga M5.1.

Geologin i Malmö slättlandskap med en berggrund med mycket höga hydrauliska konduktiviteter och låga magasininstal innebär naturliga förutsättningar där det vid schakt i berggrunden uppkommer stora behov av bortledning av grundvatten och stora tillhörande påverkansområden. Utifrån dessa förutsättningar har *MAXIMA* högt satta mål vad gäller täthet mot omgivande grundvattentryck. Genom att schaktbotten vid varje schakt anläggs på nivå med tätare berggrund, att stödkonstruktionen förlängs ned till nivå under schaktbotten samt genom möjligheterna att använda ytterligare skyddsåtgärder så kan negativa konsekvenser på omgivningen minimeras.

Storleken på beräknade påverkansområden sätts i stora drag av förutsättningar inom hela eller stora delar av modellområdet men storleken på det beräknade inläckaget kommer i princip uteslutande sättas av den vertikala hydrauliska konduktiviteten innanför stödkonstruktionen under schaktbotten inom en mycket liten volym av berggrunden. Till följd av olika nivåer för schaktbotten, skillnader i geologi, närheten till havet och även storleken på schakterna ges en variation i beräknade resultat för påverkansområden. De bedömda påverkansområdena visas i Bilaga M5.1.

Beräknade påverkansområden från den numeriska modellen var små. För att ta höjd för lokala variationer har påverkansområden beräknats med analytiska metoder (Neuman-Witherspoon) som motsvarar de flöden som valdes enligt kapitel 7.2.3.

Den begränsade grundvattenbortledningen inom Sjölanda avloppsreningsverk bedöms medföra en obetydlig påverkan på omgivande grundvattennivåer. Den risk för grundvatteninläckage som identifierats leder utifrån empirisk erfarenhet till påverkan inom <20 meter på omgivande grundvattennivåer.

Figur 7-3. Översikt av påverkansområden Malmö avloppstunnel



7.6 Påverkan på kvantitativ status i byggskede

De hydrogeologiska beräkningarna utgår från att bortledningen av grundvatten pågår simultant vid samtliga schakter, vilket överskattar de verkliga uttagen. Grundvattenbortledning kommer ske under fyra-fem år för S01 men för övriga schakter kommer det ske maximalt 0,5-1,5 år. Vid beräkning av ett genomsnittligt årsflöde har antagits att grundvattenbortledning från övriga schakter sker i genomsnitt ett år och är jämnt fördelat över fyra år. Detta ger ett genomsnittligt flöde på 0,9 Mm³/år. I princip hela uttaget kommer vara ur berggrunden, *SV Skånes kalkstenar*, och uttag ur övriga geologiska enheter är försumbara. Påverkan på den kvantitativa statusen för grundvattenförekomsten är direkt kopplat till storleken på grundvattenbortledningen som planeras. De nuvarande totala uttagen ur grundvattenförekomsterna *SV Skånes kalkstenar* och *Alnarpsströmmen* är ca 10 Mm³/år och gemensamt har de både grundvattenförekomsterna tidigare bedömts ha en vattenbalans på 50 Mm³/år. Den planerade bortledningen motsvarar en ökning av de pågående totala uttagen med maximalt 10 % under fyra-fem år. Den absoluta ökningen motsvarar mindre än 5 % av den totala vattenbalansen under samma period. Endast en del av den totala vattenbalansen är tillgänglig inom detta delområde av utredningsområdet. Utifrån att grundvattenförekomsterna har ett huvudsakligt radiellt grundvattenflöde från de centrala områdena kring Sturups flygplats och ut mot kusten så kan förekomsterna delas in i cirkelsektorer där cirkelsektorn som mynnar ut i Malmö motsvarar har en vinkel på ca 22 grader. Om grundvattenförekomsterna ses som en halvcirkel motsvarar detta ca 1/8 av förekomsterna. Grovt räknat innebär detta att vattenbalansen inom Malmö tätort totalt uppgår till 0,5–1,5 Mm³/år under opåverkade förhållanden och 6,25 Mm³/år under hållbara optimerade uttag. Den planerade grundvattenbortledningen kan utifrån detta skattas till ca 15 % av det totala möjliga hållbara uttaget av grundvatten inom cirkelsektorn. Nuvarande uttag har bedömts uppgå till 20% av grundvattenförekomsternas möjliga hållbara optimerade uttag. Med grund i dessa siffror bedöms den planerade grundvattenbortledningen inte äventyra grundvattenförekomstens kvantitativa status med avseende på vattenbalans.

Den planerade arbetsgången innebär en mer noggrann bedömning av behoven av grundvattenbortledning efter att stödkonstruktionen utförts men innan bortledningen inleds. En sådan mer precis bedömning med mindre osäkerheter kan först göras efter att stödkonstruktionerna vid varje schakt utförts. En rad möjliga skyddsåtgärder har utvärderats och en beredskap att vid behov använda dessa ger möjlighet att undvika ett negativt utfall utifrån om behoven av grundvattenbortledning blir större än förväntat. Utifrån detta bedöms att den planerade arbetsgången och valda konstruktionslösningen på ett erforderligt sätt minimerar risken för negativ påverkan på grundvattenförekomsternas kvantitativa status.

Påverkan på anslutna akvatiska och terrestra ekosystem kan ske genom att bortledningen av grundvatten ur de slutna grundvattenmagasinen leder till en förändring i exempelvis utflödet av grundvatten eller kvaliteten på vattnet. I den aktuella geologiska miljön blir påverkan en avsänkningstratt som är mycket flack och utbreder sig över hela den slutna akvifären. Då ovanliggande jordlager har en mycket liten hydraulisk konduktivitet ger detta i kombination med en flack avsänkningstratt att ett inducerat läckaget kommer ske över hela grundvattenförekomsternas utbredning men vara liten i varje enskild punkt. Närmsta grundvattenberoende ekosystem finns i Limhamns kalkbrott minst fem kilometer från anläggningen. På samma grund bedöms också att den ekologiska statusen för ytvattenförekomster inom utredningsområdet inte kommer påverkas negativt till följd av påverkan på den hydrologiska regimen genom ett inducerat läckage.

7.7 Påverkan på grundvattenkvalitet och kemisk status i byggskede

Påverkan på grundvattenkvalitet i grundvattenförekomsterna till följd av den planerade grundvattenbortledningen är starkt kopplad till storleken på denna. De identifierade och utvärderade riskerna för påverkan på grundvattenkvaliteten är inducerad intrusion av salint vatten (så kallad saltvatteninträngning), mobilisering av befintliga förorening och förorening av grundvatten.

Vid konstruktionen av anläggningen kommer det krävas att inga kemikalier som innehåller prioriterade ämnen kommer till användning. Det kommer också säkerställas att de ämnen som används är nerbrytningsbara och att de inte har nedbrytningsprodukter som äventyrar grundvattenförekomsternas kemiska status. Detta gäller då även eventuella suspensioner eller lösningar som kan användas vid schaktbotteninjektering eller som lubrikator vid tunneldrivning. Till följd av denna kravställning minskar den risk för påverkan på grundvattenkvalitet som annars föreligger då delar av använda substanser kommer vara i direkt kontakt med grundvattnet och berggrunden inom SV Skånes kalkstenar.

De försiktighetsåtgärder kopplade till kemikaliehantering som kommer vidtas är:

1. Produkter som har för avsikt att användas inom MAXIMA ska i första hand kontrolleras i ECOonline, en söktjänst för att bedöma kemikalier.
2. Finns en önskad kemikalie inte registrerad kommer VA SYDs miljöskunnige granska och göra bedömning om aktuell kemikalie kan godkännas för användning eller ej

Eftersom ytaktiva ämnen består av polymerer bedöms det framförallt vara aktuellt att i kemikaliekontrollen vara vaksam på tillsatsmedel som kan finnas i plast, såsom bisfenol-A, bisfenol-S samt styren.

Risk för grundvattenkvaliteten som också kan uppstå är mobilisering av enskilda föroreningar eller andra ämnen som utgör kvalitetsfaktorer i miljökvalitetsnormerna, exempelvis klorid. Grundvattenmagasinet i kalkstenen har redan en hög kloridhalt i Malmöområdet. Avsänkning i kalkstenen blir relativt liten men kommer att orsaka ett ökat inflöde av saltvatten från Öresund och öka kloridhalten i kalkstenen i schakternas direkta närhet. Även grundvatten på ett större djup, med en högre kloridhalt, kommer att strömma uppåt, mot schakterna. Inflödena till schakterna blir små och kloridhalten bedöms därmed endast höjas lite i ett begränsat område kring schakterna. Kloridhalten bedöms framförallt kunna höjas i kalkstenen zon II då schaktbotten kommer vara i detta lager.

Kloridhalten i kalkstenen är redan hög och den temporära förhöjningen bedöms inte påverka den generella vattenkvaliteten i grundvattenmagasinet i någon större utsträckning.

Risk för att inducera förorening från ovanliggande geologiska lager ned i berggrunden är låg till följd av konstruktionens dimensionerade täthet. I den aktuella geologiska miljön så kommer, vid uttag av grundvatten ur de slutna grundvattenmagasinen, det inducerade läckaget i varje punkt från ovanliggande geologiska lager vara litet ned till berggrunden. Detta då den uttagna volymen av grundvatten balanseras upp av en liten förändring i grundvattenbildning över ett mycket stort område. Om behoven av grundvattenbortledning blir stora så ökar risk för mobilisering av föroreningar, framförallt genom transport av ämnen som redan är i lösning med grundvattnet. Därför kommer utifrån denna och övriga ovan nämnda risker en beredskap finnas för att införa ytterligare skyddsåtgärder för att vid behov möta dessa risker, se avsnitt 9.

Sammanfattningsvis visar utförd modellering att vald konstruktionslösning och arbetsgång med mindre behov av grundvattenbortledning inte medför negativ påverkan på grundvattenkvalitet och kemisk status. Kombinerat med en restriktiv kemikaliehantering minskar risken för påverkan på grundvattenförekomsternas kemiska status ytterligare.

7.8 Driftskede

7.8.1 Kvantitativ påverkan

Den kvantitativa påverkan bedöms vara försumbar under driftskedet förutsatt att anläggningen uppnår den högt satta vattentätheten. Ingen grundvattenbortledning behövs i driftskedet, varken vid Sjölunda avloppsreningsverk eller till tunnel och anslutningsschakterna.

7.8.2 Kvalitativ påverkan

Kvalitativ påverkan bedöms endast ha risk, ur ett grundvattenperspektiv, att uppstå genom kontakt mellan grundvatten, berg eller jord och anläggningens utsida eller insida under driftskede. Utifrån att inga kemikalier som innehåller prioriterade ämnen ska tillåtas inom *MAXIMA* minskas denna risk betydande. Den temporära höjningen av kloridhalt som uppstår kring schakterna i byggskedet bedöms successivt återgå till ursprungshalten.

8 Riskexponerade objekt

8.1 Grundläggning

Inom Malmö tätort har det inventerats grundläggningar som underlag för bedömning av risk för skada till följd av den planerade vattenverksamheten. Totalt har 55 byggnader inom påverkansområdet bedömts med avseende på grundläggningar inom fastigheterna och jordlagerförhållanden. För 6 byggnader som är grundlagda på pålar eller med källare bedöms risken för sättningar vara obetydlig. Risk för sättning har utifrån underlaget inte kunnat uteslutas för 49 byggnader till följd av brist på underlag avseende grundläggning (25 st), en kombination av platta på mark och trolig förekomst av organisk jord (22 st), delvis pågrundläggning (1 st) och grundläggning med träpålar (1 st). I senare skede förväntas majoriteten av dessa risker kunna avfärdas genom insamling av information genom exempelvis vidare inventering av grundläggningar. Riskbedömningen redovisas i Bilaga M5.2 tillsammans med information om grundläggning och jordlagerförhållanden. Samtliga fastigheter på listan ligger i Malmö kommun. Information om grundläggningsmetod framgår även på karta i Bilaga M5.1.

8.2 Naturmiljö

Närmsta grundvattenberoende ekosystem finns i Limhamns kalkbrott, utanför påverkansområdet. Ett möjligt grundvattenberoende naturvärde identifierades i naturvärdesinventeringen innanför påverkansområdet, grönfläckig padda i Oljedammen i Malmö slättlandskap.

Malmö stad har erhållit tillstånd av Mark- och miljödomstolen för utfyllnad av Oljedammen och tillhörande ytvatten – Oljekanal och Oljesjön. Efter utfyllnad kommer utfyllnadssområdet användas som spårrområde och kombiterminal. Utfyllnaden av ytvattnet förutsätts vid tidpunkt för den planerade grundvattenbortledningen vara färdigställd, varpå ingen påverkan på detta ytvatten kan uppstå till följd av den planerade grundvattenbortledningen.

8.3 Kulturmiljö

Två möjliga fornlämningar finns inom påverkansområdet: Ett stadslager (L1988:5437) vid S15 och en boplatz (L1988:6170) vid S21. I utkanten av påverkansområdet för S16 finns en fornlämning i form av ett stadslager (L1988:4871). Alla tre lämningarna kan innehålla organiskt material och/eller metaller. Om fornlämningar som tidigare legat under grundvattennivån hamnar ovanför grundvattennivån riskerar de att utsättas för en högre syrehalt vilket påskyndar nedbrytningen.

Utöver ovan nämnda objekt finns inga fornlämningar eller övriga kulturhistoriska lämningar inom påverkansområdet.

8.4 Grundvattentäcker, geoenergibrunnar och övriga brunnar

Brunnar för dricksvatten, energiändamål, bevattning och övriga användningsområden som kan påverkas av den planerade vattenverksamheten har identifierats vid inventeringen. Av de identifierade brunnarna ligger två av dessa inom påverkansområdet och riskerar att påverkas av den planerade vattenverksamheten, se Tabell 8-1. Ytterligare sex brunnar, se Tabell 8-2, ligger inom 25 meter från den planerade tunnelinjen och behöver tillfälligt eller permanent tätas för att undvika en tryckförändring vid tunnelborrningarna.

Tabell 8-1. Identifierade brunnar inom påverkansområdet.

Kommun	Fastighet	Brunns- typ	Användning	Datakälla
MALMÖ	Granen 12	Borrad	Geoenergi	Brunnsarkivet
MALMÖ	Innerstaden 31:8	Borrad	Övrig	Brunnsarkivet
MALMÖ	Aegir 1	Borrad	Geoenergi	Fastighetsägare

Tabell 8-2. Brunnar inom 25 meter från tunnellen som behöver tillfälligt eller permanent att tätas för att undvika tryckförändringar i anslutning till tunnelborringarna.

Kommun	Fastighet	Brunnsty p	Användning	Datakälla
MALMÖ	Ran 6	Borrad	Övrig	Brunnsarkivet
MALMÖ	Ran 6	Borrad	Övrig	Brunnsarkivet
MALMÖ	Ran 6	Borrad	Övrig	Brunnsarkivet
MALMÖ	Nereus 1	Borrad	Övrig	Brunnsarkivet
MALMÖ	Nereus 1	Borrad	Övrig	Brunnsarkivet
MALMÖ	Hamnen 21:147	Borrad	Övrig	Brunnsarkivet

8.5 Tillståndsgivna uttag av grundvatten

Totalt fyra anläggningar som är tillståndsgivna för uttag av grundvatten har identifierats inom ett avstånd som påkallat behov av bedömning av eventuell interferens mellan de medgivna tillstånden och den planerade vattenverksamheten. Dessa redovisas i Figur 8-1 och Tabell 8-3. De tre punkterna utgörs av geoenergianläggningar med uttag och/eller infiltration. Det fjärde objektet är Citytunneln. Citytunnelns tillstånd för grundvattenbortledning i det aktuella området gällde enbart för byggtiden. Inget av uttagen bedöms påverkas av planerad vattenverksamhet.

Figur 8-1. Översikt av anläggningar med tillståndsgivna uttag av grundvatten som ligger i närheten av planerad vattenverksamhet



Tabell 8-3. Lista över anläggningar med tillståndsgivna uttag av grundvatten för vilka det bedömts om den planerade vattenverksamheten kan leda till påverkan av dessa.

Anläggnings ID	Mål nr	Sökanden	Saken	Fastighet	Kommentar
37457	M 48-99	Utvecklings AB Kranen och E.ON Sverige Värme AB	Tillstånd (21 juni 2001) för uttag av ytvatten och grundvatten för utvinning av värme och kyla inom Kranenområdet i Malmö stad; nu fråga om prøvotidsredovisning	Kranen 1 och 2 i Malmö Kommun	Ingen bedömd påverkan. Utanför påverkansområdet.
31538	M 394-09	Rosen i Malmö Ekonomisk Förening	Tillstånd till vattenverksamhet enligt miljöbalken för uttag och infiltration av grundvatten för utvinning av värme och kyla m.m	Rosen 9 i Malmö Stad	Ingen bedömd påverkan. Utanför påverkansområdet.
ID saknas	M 81-2002	Trafikverket	Citytunneln – länshållning, bortledning och återföring	Grundvattenbortledning i driftskede.	Ingen pågående verksamhet inom påverkansområde för tunnlarna

9 Skyddsåtgärder och försiktighetsmått

Avloppstunnel, pumpstation och permanenta anslutningsschakter utförs som täta konstruktioner vilket innebär att inga skyddsåtgärder behövs för att begränsa grundvattenpåverkan i driftskedet. Under byggskedet kan skyddsåtgärder utföras för att begränsa storleken på pumpat alternativt inläckande grundvattenflöde, behovet av trycksänkning utanför konstruktionerna och påverkansområdenas storlek.

Utredningsarbetet visar att den förväntade omgivningspåverkan är starkt kopplat till storleken på den planerade grundvattenbortledning som i sin tur är kopplat till byggmetoden och konstruktionens dimensionerade täthet. Då de naturliga förutsättningarna visar lokal förekomst av berg med hög genomsläpplighet är det av stor vikt att de planerade anläggningarna når de högt satta målen för täthet mot omgivande grundvattentryck. Detta säkerhetsställs framför allt genom vald konstruktionslösning. Under byggtiden sker kontroll och uppföljning av att önskad täthet uppnås. Skyddsåtgärder och försiktighetsmått har framarbetats för att kunna användas om behov uppstår att ytterligare begränsa grundvattenbortledningen.

9.1 Planerade skyddsåtgärder

Storleken på behoven av grundvattenbortledning under byggskede vid varje schakt kommer vara starkt kopplade till den vertikala hydrauliska konduktiviteten, K_v , i den volym av berg som kommer omslutas av stödkonstruktionen under schaktbotten.

Svårigheterna att på förhand bestämma det vertikala K -värdet i en så pass liten volym är betydande. Hydrogeologiska metoder ger resultat i skala som överstiger behoven och ytterligare svårigheter tillkommer då det rör sig om ett vertikalt och inte horisontellt K -värde. En bra möjlighet att med större

noggrannhet mäta detta värde finns i byggskedet. För varje schakt planeras därför detta Kv-värde verifieras med ett så kallat WTAT (*Water Tightness Assurance Test*) efter att stödkonstruktionen är konstruerade men innan grundvattenbortledningen inleds. Utformningen av detta test kan exempelvis vara utformat som en provpumpning med konstant avsänkning ned till schaktbotten kompletterat med mätning av grundvattenytan utanför väggarna.

Konstruktionens täthet mot omgivande grundvattentryck verifieras genom ett WTAT vid varje schakt innan grundvattenbortledning inleds. Vidare att det i verksamheten finns en beredskap och möjlighet att koppla in ytterligare skyddsåtgärder vid behov om resultatet från testet föranleder detta. Exempelvis i form av injektering i vattenförande bergstrukturer eller annan skyddsåtgärd beskriven i dessa avsnitt.

9.2 Ytterligare eller alternativa möjliga skyddsåtgärder

En möjlig skyddsåtgärd för att framförallt hantera risker kopplade till sättningar är skyddsinfiltration för att upprätthålla grundvattentryck eller -nivåer i omgivningen. Åtgärden tillämpas vid behov utifrån vad som inkommer från planerade kontroller inom kontrollprogrammet.

10 Kontrollprogram

Inför tillståndsprövningen har ett förslag till övergripande kontrollprogram för anläggandet av tunnarna tagits fram. Förslaget till kontrollprogram redovisas i ett separat dokument. Kontrollprogrammet omfattar bland annat kontroller av grundvattenflöde, grundvattensänkning, sättningar och överskottsvatten. Samtliga dessa områden har koppling till den planerade vattenverksamheten. Resultat från kontrollprogrammet kommer regelbundet att redovisas för och stämmas av med tillsynsmyndigheten och kontrollprogrammet kan vid behov justeras avseende omfattning och mätfrekvens.

11 Bilagor

Bilaga M5.1 Karta för påverkansområde och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Bilaga M5.2 Förteckning över byggnader inom påverkansområdet. Underlag för bedömning av sättningsrisk.

12 Begrepp och definitioner

Alnarpsströmmen avser den vattenresurs som är belägen inom Alnarpsänkan. Ibland skiljer man på Alnarpsströmmen norr om vattendelaren vid Sturups flygplats, och Skivarsströmmen söder om samma vattendelare.

Alnarpsänkan avser den sänka i kalkstensberggrunden som löper från Östersjön söder om Ystad över sydvästra Skåne, nordöstra Själland och ut i Kattegatt.

Avrinningsområde avgränsas ytterst av en vattendelare och omfattar både markytan och ytan av det begränsande områdets sjöar. All avrinning från området har ett gemensamt utlopp vid en given punkt i ett vattendrag.

Byggskede är det skede under vilket byggnation av tunneln pågår.

Driftskede är det skede som startar i och med tunnelns färdigställande och byggskedets avslut.

Förvaltningscykel. Vattendirektivet bygger på en förvaltningscykel om 6 år med moment som kartläggning, klassificering, fastställande av miljökvalitetsnormer och åtgärder, upprättande av förvaltningsplaner och rapportering till EU.

Grundvatten är det vatten (över atmosfärstryck) som helt fyller hålrum och sprickor både i jord och i berg.

Grundvattenbalans utgör förenklat skillnaden mellan tillförsel (grundvattenbildning) och utflöde (avrinning, uttag).

Grundvattenbildning motsvarar tillflöde av vatten till grundvattenzonen. Grundvatten bildas i inströmningsområden, där vatten tillkommer från markvattenzonen till grundvattenzonen. I utströmningsområden sker ett omvänt flöde.

Grundvattendelare är en gränslinje kring vilken grundvattenflödet divergerar åt olika håll. Grundvattendelare kan men måste inte sammanfalla med ytvattendelare.

Grundvattenförekomst definieras enligt vattenförvaltningsförordningen som "en avgränsad volym grundvatten i en eller flera akviferer". Förenklat avses med grundvattenförekomst, vattnet som förekommer i ett grundvattenmagasin.

Grundvattenmagasin utgörs av avgränsade grundvattenförande lager i marken med relativt stor mäktighet.

Grundvattennivå avser grundvattenytans läge i ett öppet grundvattenmagasin där jämvikt med atmosfärstryck råder och tryckpotentialen är = 0. Grundvattennivå anges i förhållande till en referensyta (t ex havsnivån).

Grundvattentryck är den trycknivå som grundvattnet har i ett slutet grundvattenmagasin. Grundvattentryck anges i förhållande till en referensnivå.

Hydraulisk gräns är en begränsningsyta mellan grundvattenförande geologiska bildningar med hydrauliskt olika egenskaper, eller mellan geologiska bildningar och ytvatten.

Hydraulisk konduktivitet utgör ett mått på jordlagrets eller berggrundens förmåga att leda (släppa igenom) vatten. Ett grundvattenflöde genom ett visst tvärsnitt beror på konduktiviteten och strömningsgradienten (nivå/tryckskillnad) mellan två punkter.

Influensområde är det område inom vilket grundvattennivån påverkas av artificiell störning, t.ex. grundvattenuttag. Det avgränsas av en avsänkning om noll meter. Vid numerisk modellering är det i praktiken omöjligt att fastställa ett sådant område. Märk skillnad jämfört med påverkansområde.

Intermoräna sediment är sorterade jordlager som under- och ovanlagras av morän.

Konceptuell modell. En konceptuell modell beskriver en förväntad bild av geologiska eller hydrogeologiska förhållanden över ett givet område. En konceptuell modell kan vara olika detaljerad beroende på syfte, skede och underlagsmaterial, och uppdateras typiskt efterhand i takt med att information och kunskap ökar.

Konsolidering syftar inom geologin på en volymminskning (komprimering) av jord på grund av belastning eller minskning av portrycket. En överkonsoliderad jord har tidigare varit utsatt för en större belastning eller grundvattenstrycknivåsänkning än dagens förhållanden. En underkonsoliderad lerjord är utsatt för en belastning eller trycknivåsänkning men har ännu inte anpassats (konsoliderats) för rådande förhållanden.

Lermorän Morän med en lerhalt överstigande 15 % benämns lermorän. Vid geoteknisk undersökning klassificeras dessa som lermorän enligt Sveriges Geoteknisk Förening (SGF). Osorterade jordarter och sediment syftar på jordarter och sediment med stor spridning i kornstorlek, framför allt morän.

Paleogen är den geologiska period som omfattar tiden från ca 66 till 23 miljoner år sedan.

Porositet anger i detta sammanhang hur stor andel av en jord- eller bergvolym som utgörs av porer (luft- eller vattenfyllda hålrum). Med total porositet avses den totala porvolymen. Med effektiv porositet avses den del av porvolymen genom vilken grundvattenströmning kan ske. Man kan även tala om primär och sekundär porositet, framför allt avseende porositet i berggrund. Primär porositet avser då porositet beroende på mineralornens packning, form, arrangemang och kornstorleksfördelning. Sekundär porositet avser hålrum i form av sprickor.

Påverkansområde är en vanligt förekommande term vid tillståndsprövningar och kan definieras som det största område inom vilket ändringen i grundvattennivå får vara större än medgiven ändring i grundvattennivå till följd av artificiell störning, ex. grundvattenuttag. Jämför influensområde.

Sorterade jordarter och sediment syftar på jordarter och sediment med liten spridning i (ensartad) kornstorlek, exempelvis avgränsade enheter av lera, silt, sand eller grus.

Submoräna sediment är sorterade jordarter som ovanlagras av morän.

Transmissivitet är ett mått på vattenledningsförmågan för en viss sektion av ett geologiskt material, och beräknas för en sektion som sektionens hydrauliska konduktivitet multiplicerat med dess mäktighet.

Vattendelare är gränser som delar vattenflödet åt olika håll. Ytvattendelare definieras av topografiska höjdryggar. Ofta sammanfaller denna med grundvattendelaren på platsen, men geologi och grundvattenuttag kan ha inverkan och förskjuta grundvattendelarens läge.

Vattentäkt är en vattenförekomst som utnyttjas till vattenförsörjning.

13 Referenser

Laursen, P., Petersen, D., Vrang, K. (2010). *Malmö Citytunnel. Tunnels and caverns. Groundwater management.* Dansk Geoteknisk Forening DGF-Bulletin 24.

Malmö stad (2000-05-12). *Malmö grundvatten.* Malmö stad, miljöförvaltningen.

Neuman and Witherspoon, (1960). Applicability of current theories of flow in leaky aquifers, *Water Resources Research* Vol 5, no 4, pp 817-829.

Pujades, E., Carrera, J., Vázquez-Suñé, E., Jurado, A., Vilarrasa, V., & Mascuñan-Salvador, E. (2012). *Hydraulic characterization of diaphragm walls for cut and cover tunnelling.* *Engineering geology*, 125, 1-10.

Ramböll (2021-01-24). *Mätningar av utvecklingen av grundvattennivån. Malmö avloppstunnel Utredningsfas 2.*

Ryd, E. (2017). *Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg.* Tekn. rapport September. Uppsala: Uppsala universitet. url: http://www.w-program.nu/filer/exjobb/ellinor_ryd.pdf.

Sveriges geologiska undersökning, SGU. (1980-01-01). *Ae 38 Beskrivning till jordartskartan 2C Malmö SO.* Uppsala: SGU.

Sveriges geologiska undersökning, SGU. (1987-01-01). *Ae 85 Beskrivning till jordartskartan 2C Malmö NO.* Uppsala: SGU.

Sveriges geologiska undersökning, SGU (1999). *Berggrundskartan 1C Trelleborg NV och NO samt 2C Malmö SV, SO, NV och NO. Beskrivning till berggrundskartorna 1C Trelleborg NV och NO samt 2C Malmö SV, SO, NV och NO.* Uppsala: SGU.

Sveriges geologiska undersökning, SGU (2005). *Ah 15 Beskrivning till kartan över grundvattnet i Skåne län.* Uppsala: SGU.

Sveriges geologiska undersökning, SGU (2013). *Bedömningsgrunder för grundvatten.* SGU-rapport 2013:01.

Sveriges Geologiska Undersökning, SGU (2021-01-28) Produkt: brunnar (öppna data).

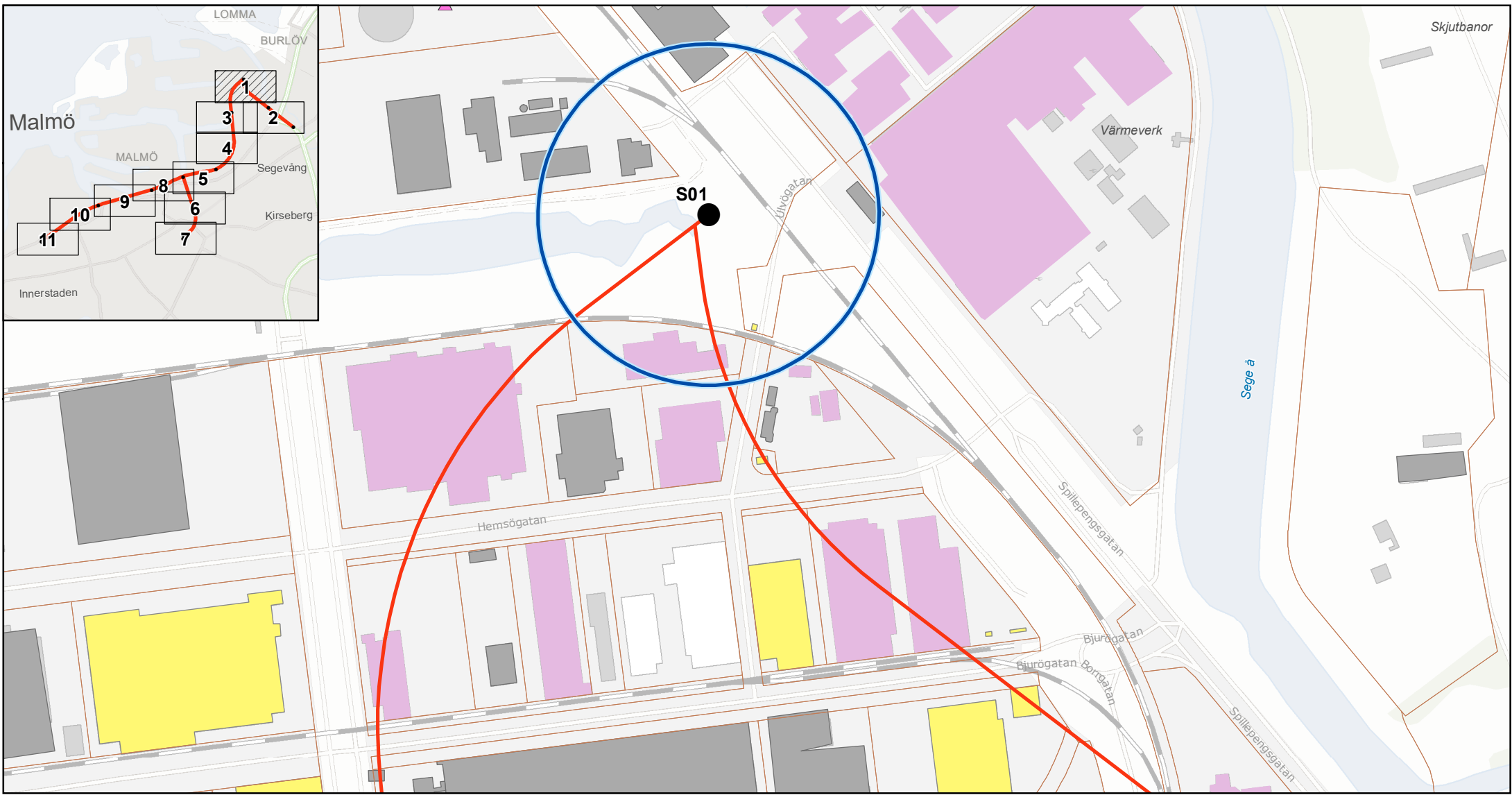
Sweco (2008). *TUNNEL 2000, MALMÖ.* Malmö: Sweco-VA SYD.

Thiem, G. (1906). *Hydrologische Methoden: Dissertation zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs durch die Königliche Technische Hochschule zu Stuttgart* (Doctoral dissertation, JM Gebhardt's verlag).

Tyréns (2021) *Tunnel från Lund: PM Hydrogeologi.* Arbetsmaterial.

VA SYD (2023), Geotechnical Interpretative Report, Appendix 5.6 Hydrogeology, 2023-02-17.

Yuelei, L., Toshihiko, M., Akira, S., Shuji, M., Toru, I., & Takeshi, K. (2015). *Engineering properties of soil-cement mixture improved with recycled fine additives for cutoff wall construction.* *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 1(5), 23-26.



Brunnar

▲ SGU:s brunnarsarkiv, grävd brunn med okänd användning

Grundläggning

- Okänd grundläggning
- Platta på mark
- Pålad grundläggning

□ Påverkansområde

● Schakt

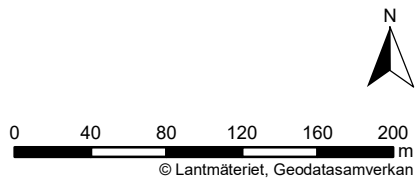
— Tunnelsträckning

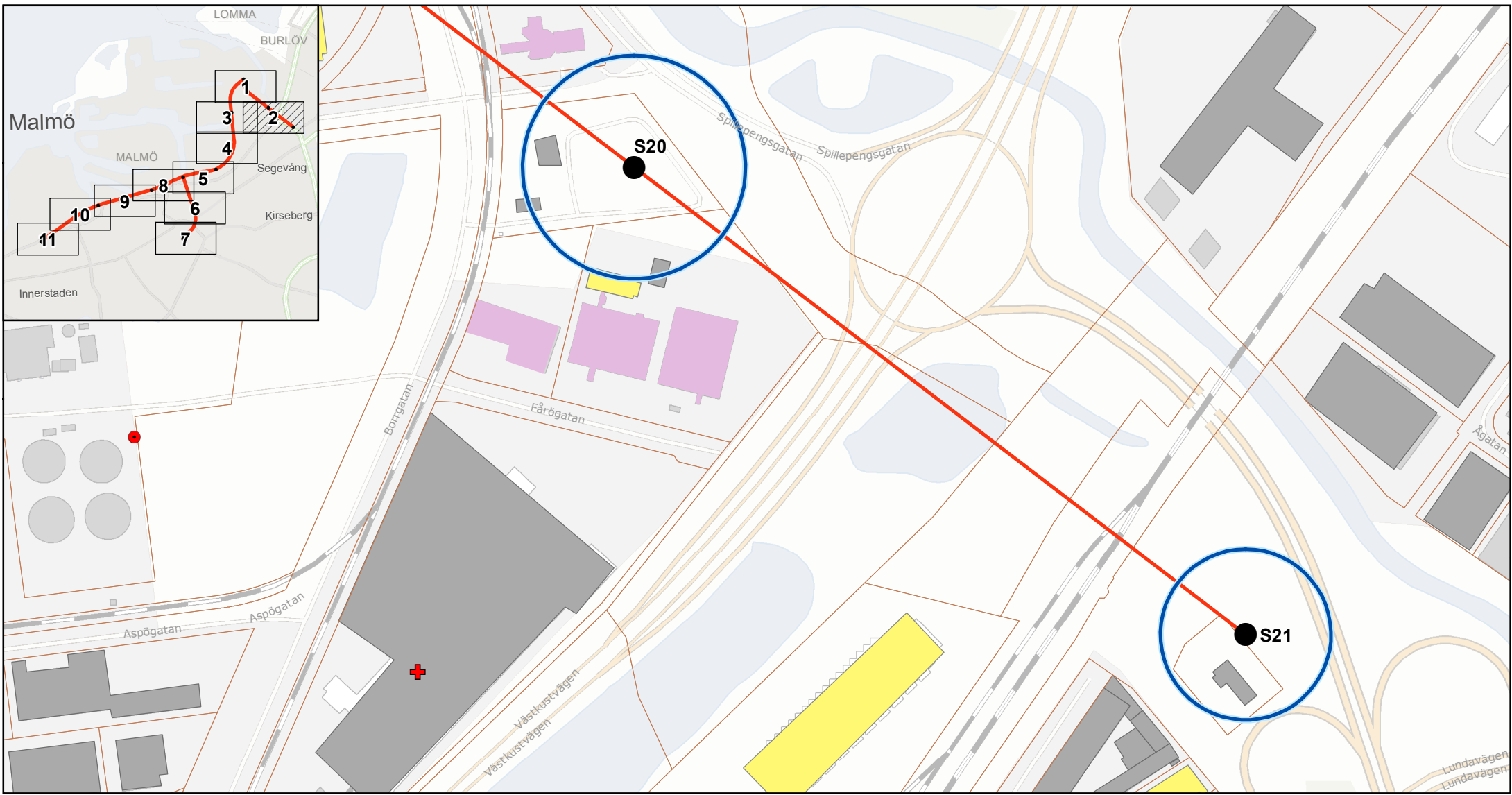
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 1 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

- Inventerad borrarbrunn, geoenergi
- ✚ SGU:s brunnarsarkiv, borrarbrunn

Grundläggning

- Okänd grundläggning
- Platta på mark
- Pålad grundläggning

□ Påverkansområde

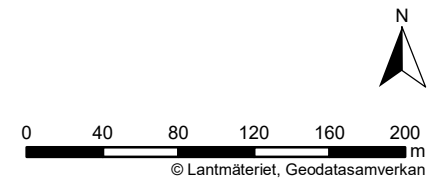
- Schakt
- Tunnelsträckning

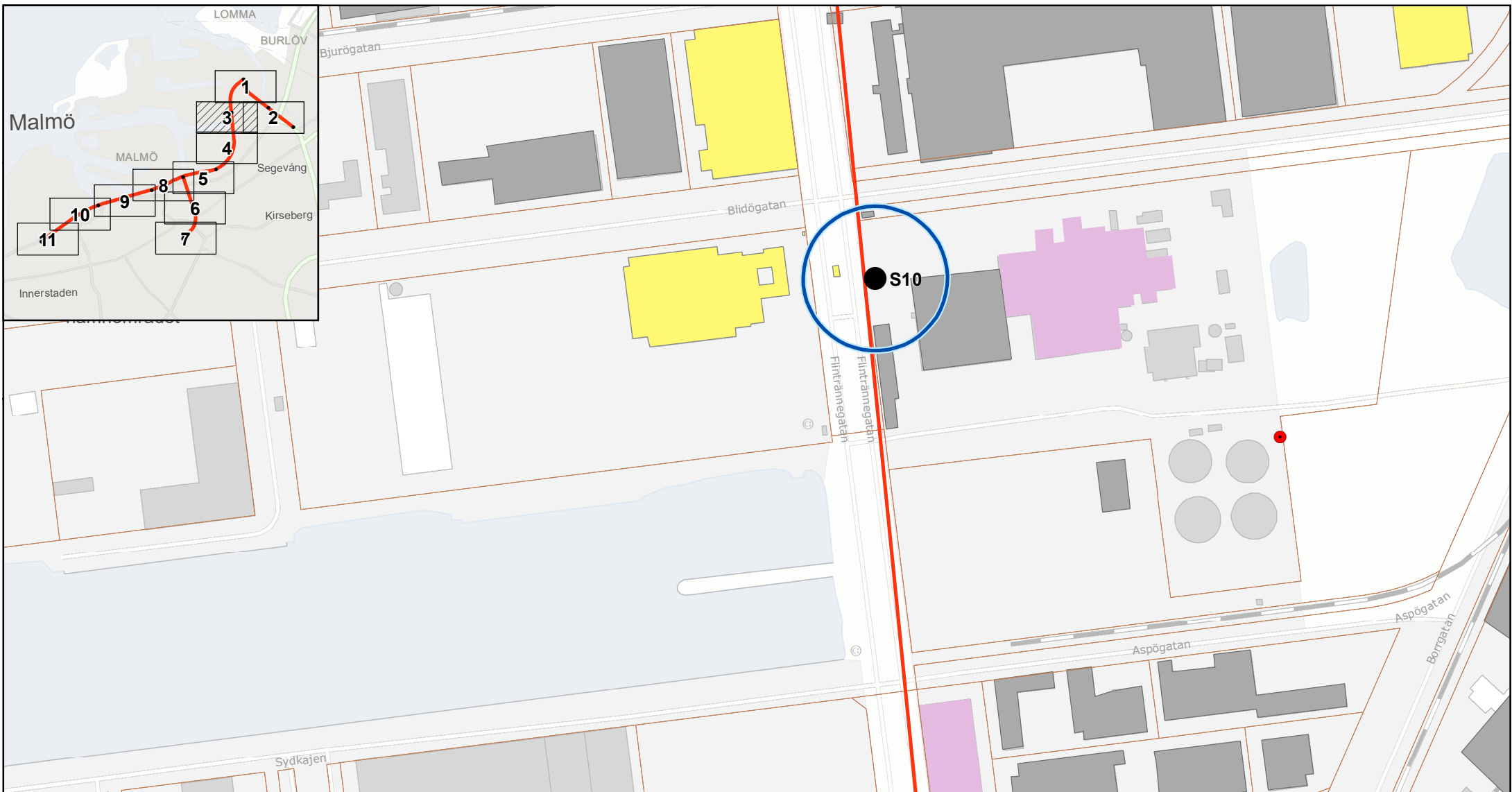
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 2 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

- Inventerad borrhälsbrunn, geoenergi

Grundläggning

- Okänd grundläggning
- Platta på mark
- Pålad grundläggning



Påverkansområde



Schakt



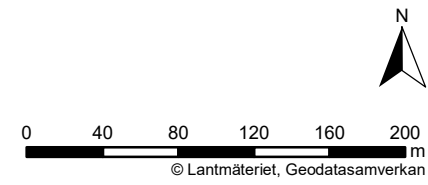
Tunnelsträckning

Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 3 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

✚ SGU:s brunnarsarkiv, borrad geoenergi

Grundläggning

■ Okänd grundläggning

■ Platta på mark

■ Pålad grundläggning

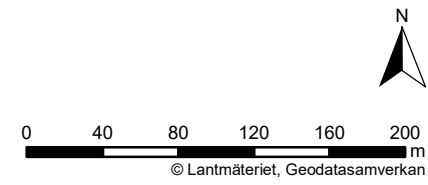
— Tunnelsträckning

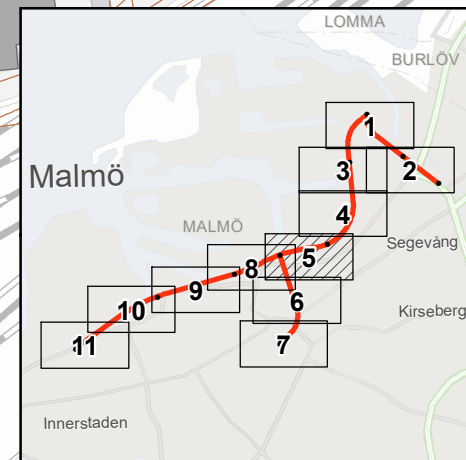
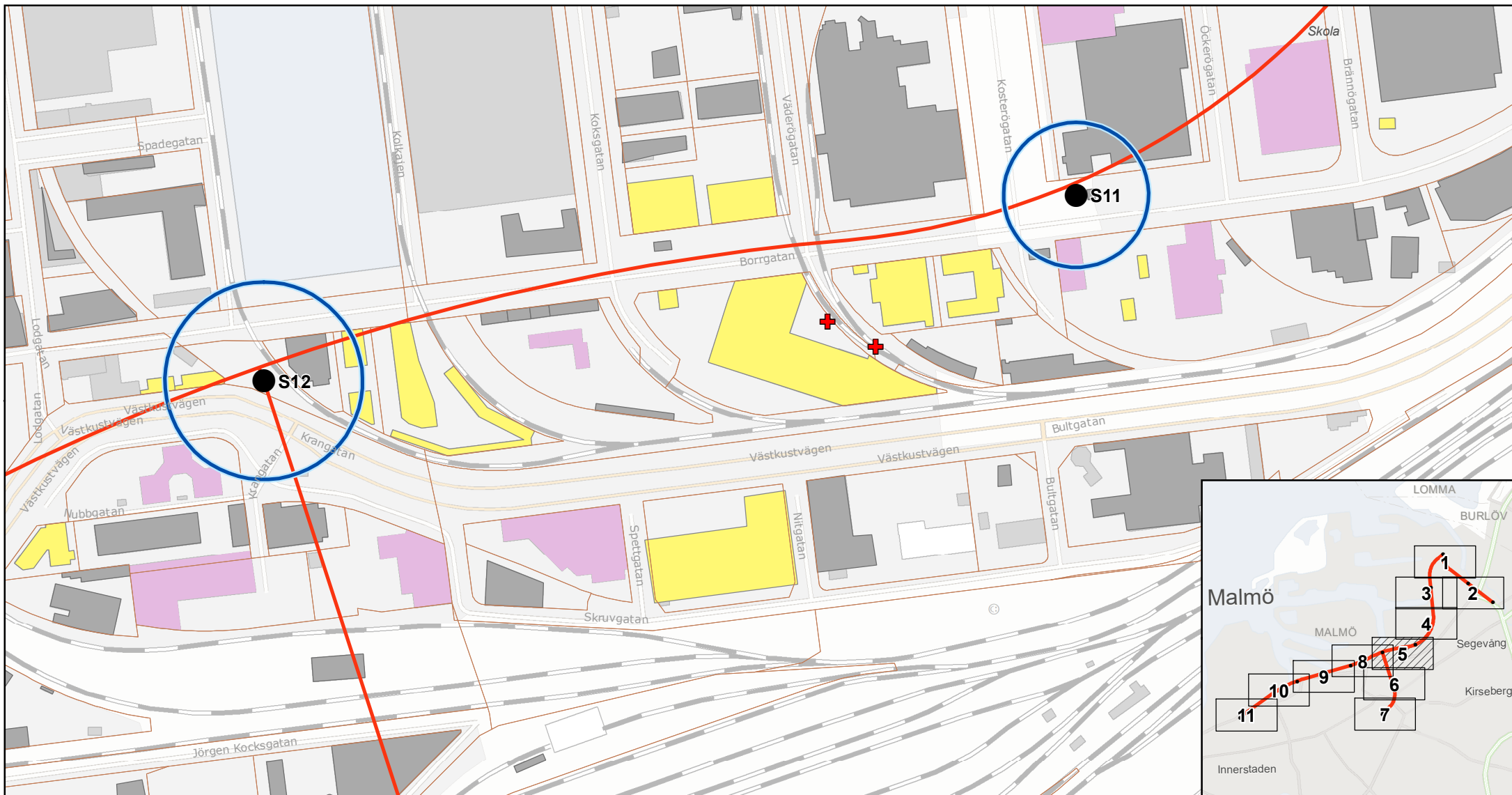
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 4 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

✚ SGU:s brunnsarkiv, borrad geoenergi-brunn

Grundläggning

■ Okänd grundläggning

■ Platta på mark

■ Pålad grundläggning

□ Påverkansområde

● Schakt

— Tunnelsträckning

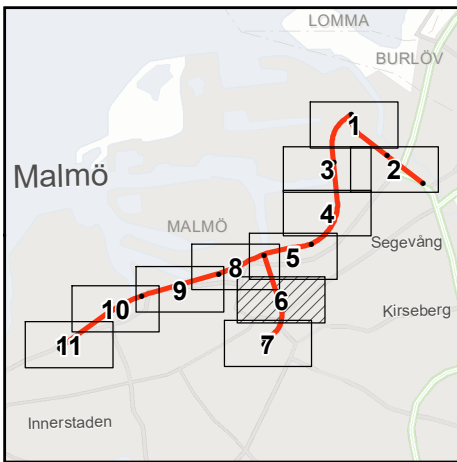
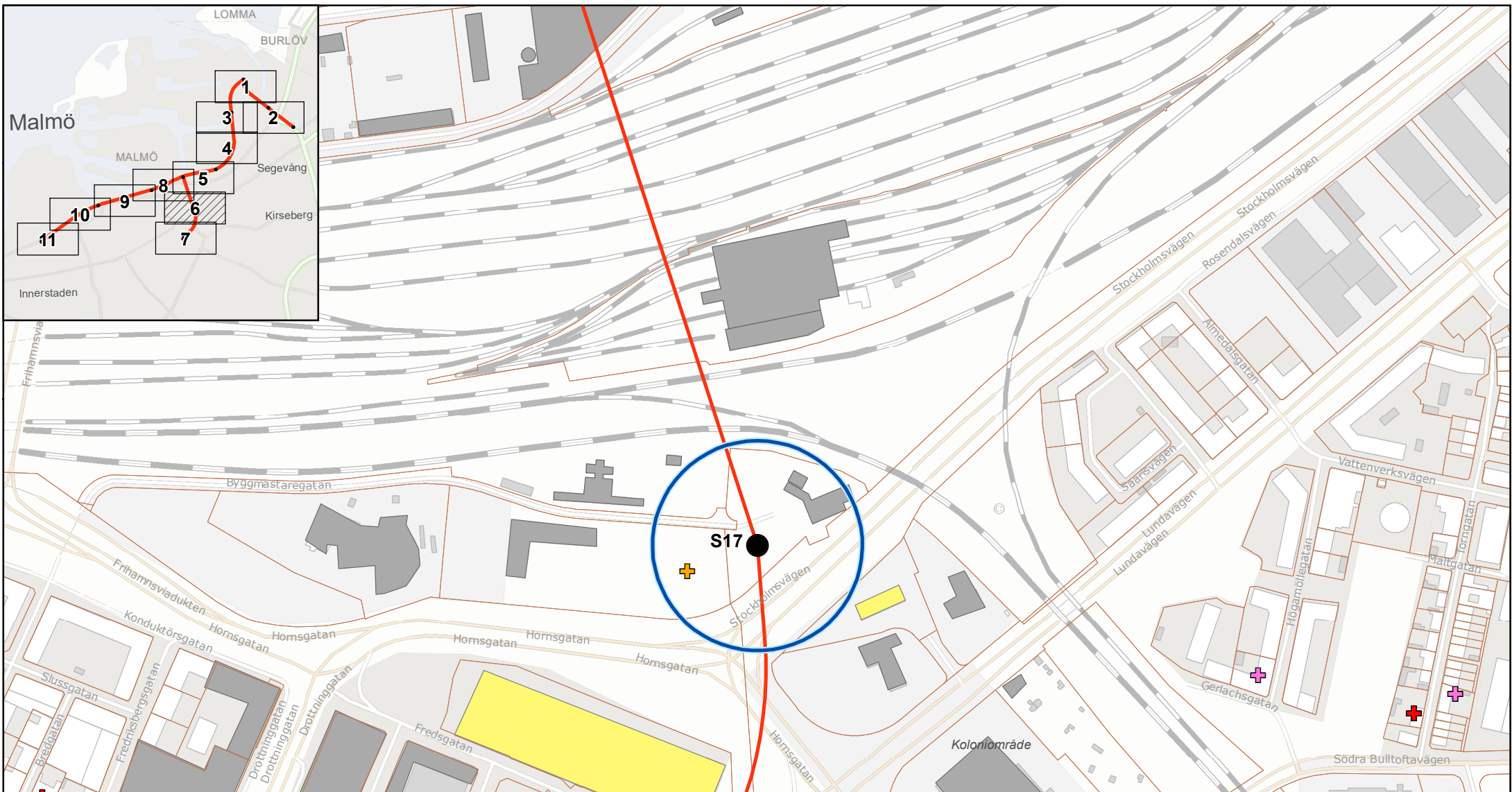
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 5 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

- + SGU:s brunnarsarkiv, borrard brunn med okänd användning
- + SGU:s brunnarsarkiv, borrard geoenergibrunn
- + SGU:s brunnarsarkiv, borrard brunn med övrig användning

Grundläggning

- Okänd grundläggning
- Platta på mark

 Påverkansområde

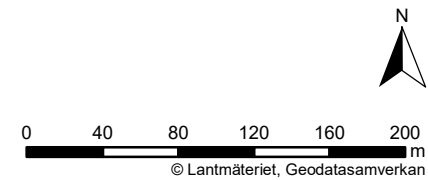
- Schakt
- Tunnelsträckning

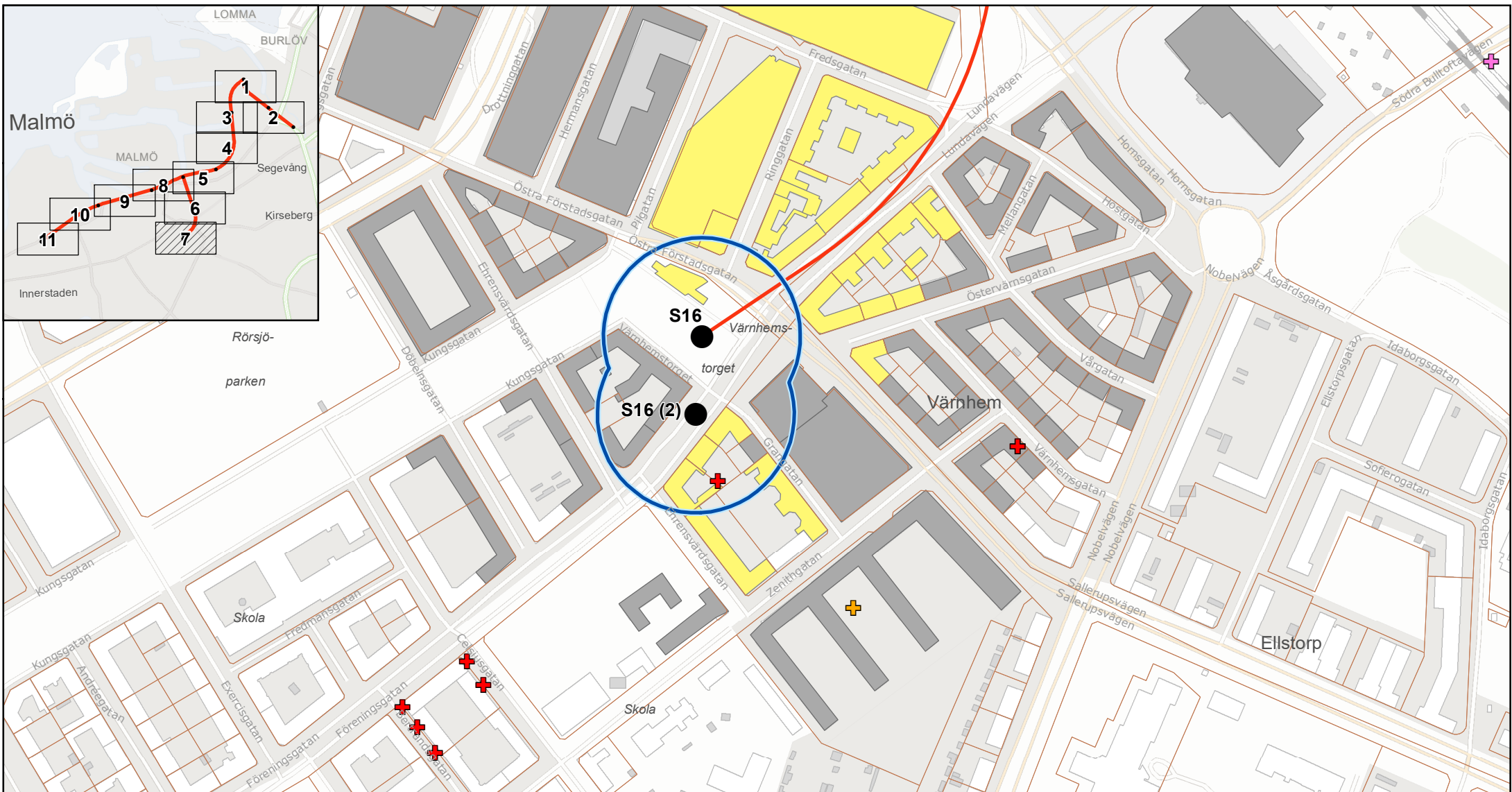
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 6 av 11

Datum: 2023-03-10

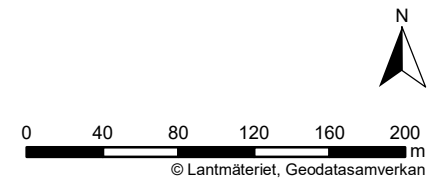


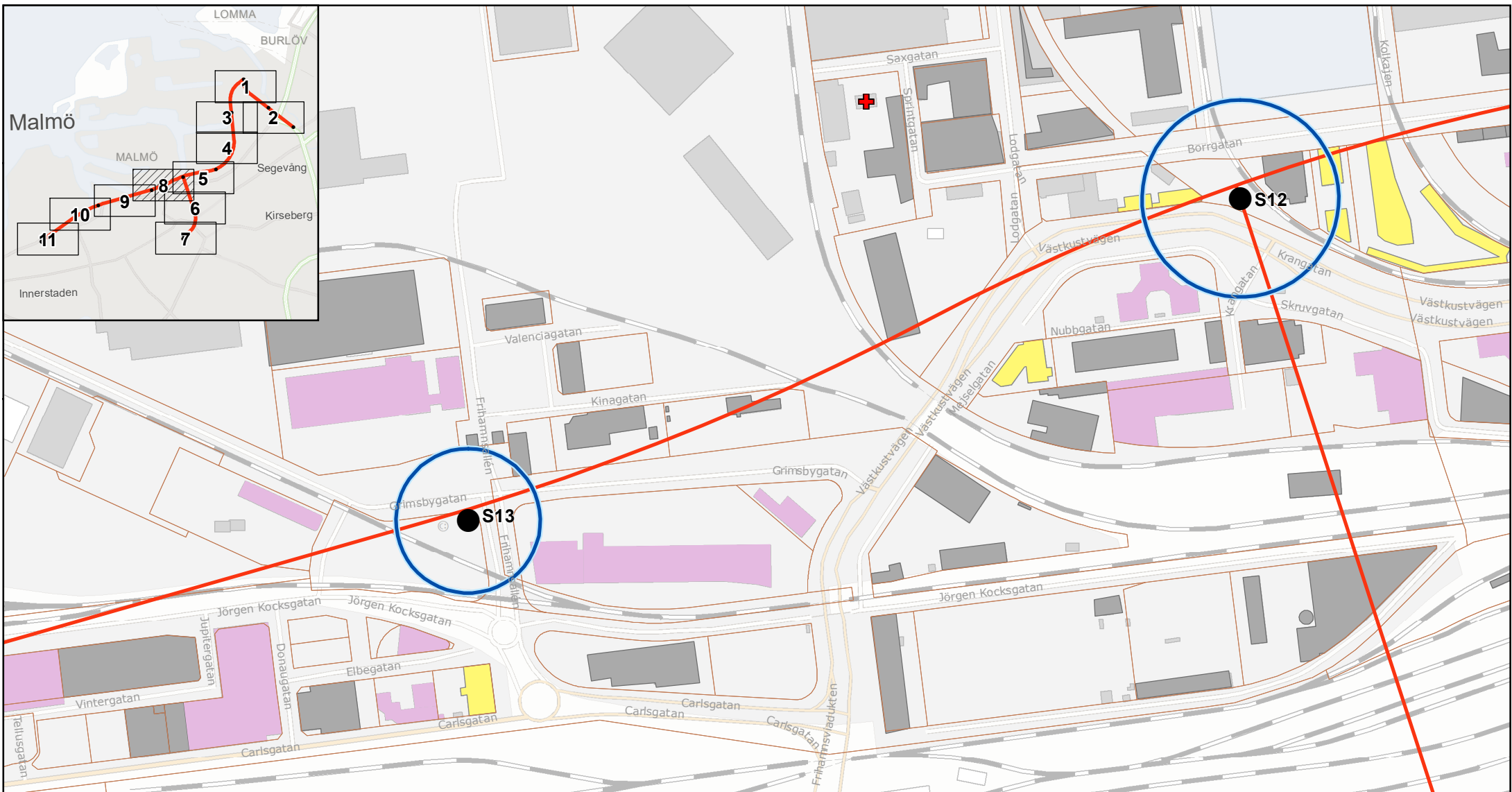


- Brunnar**
- SGU:s brunnarsarkiv, borrhad brunn med okänd användning
 - SGU:s brunnarsarkiv, borrhad geoenergibrunn
 - SGU:s brunnarsarkiv, borrhad brunn med övrig användning
- Grundläggning**
- Okänd grundläggning
 - Platta på mark
- Påverkansområde**
- Schakt
 - Tunnelsträckning

Bilaga M5.1
 Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt;
 Brunnar och grundläggning

Blad 7 av 11
 Datum: 2023-03-10





Brunnar

✚ SGU:s brunnarsarkiv, borrad geoenergi-brunn

Grundläggning

- Okänd grundläggning
- Platta på mark
- Pålad grundläggning

□ Påverkansområde

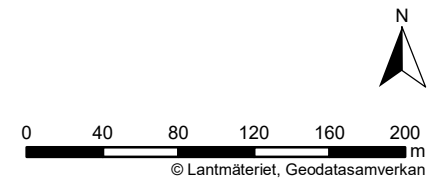
- Schakt
- Tunnelsträckning

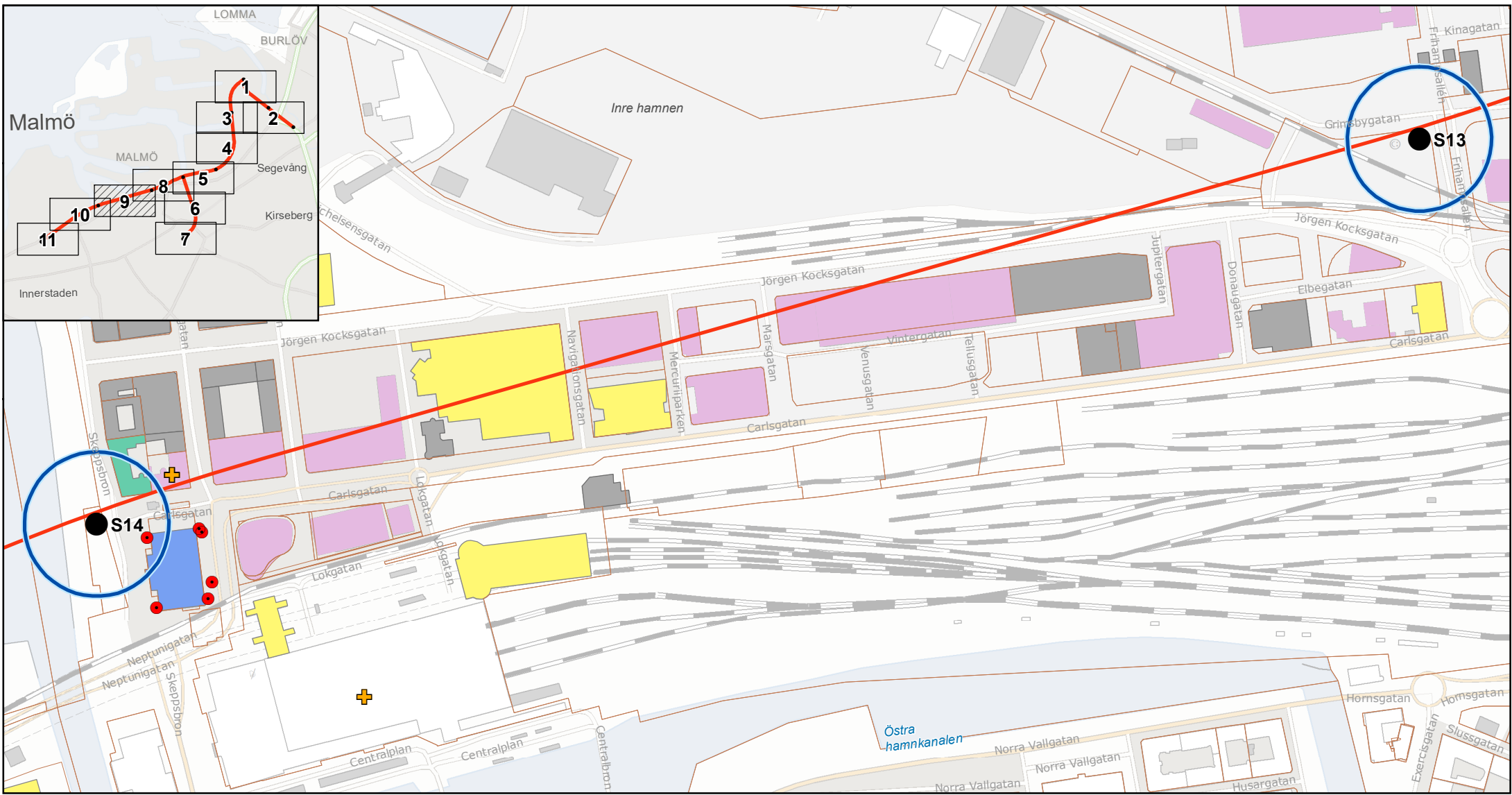
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 8 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

- Inventerad borrarad brunn, geoenergi
- ⊕ SGU:s brunnsarkiv, borrarad brunn med övrig användning

Grundläggning

- Delvis pålad grundläggning
- Okänd grundläggning
- Platta på mark
- Pålad grundläggning
- Träpålad grundläggning

□ Påverkansområde

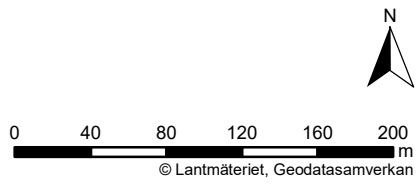
- Schakt
- Tunnelsträckning

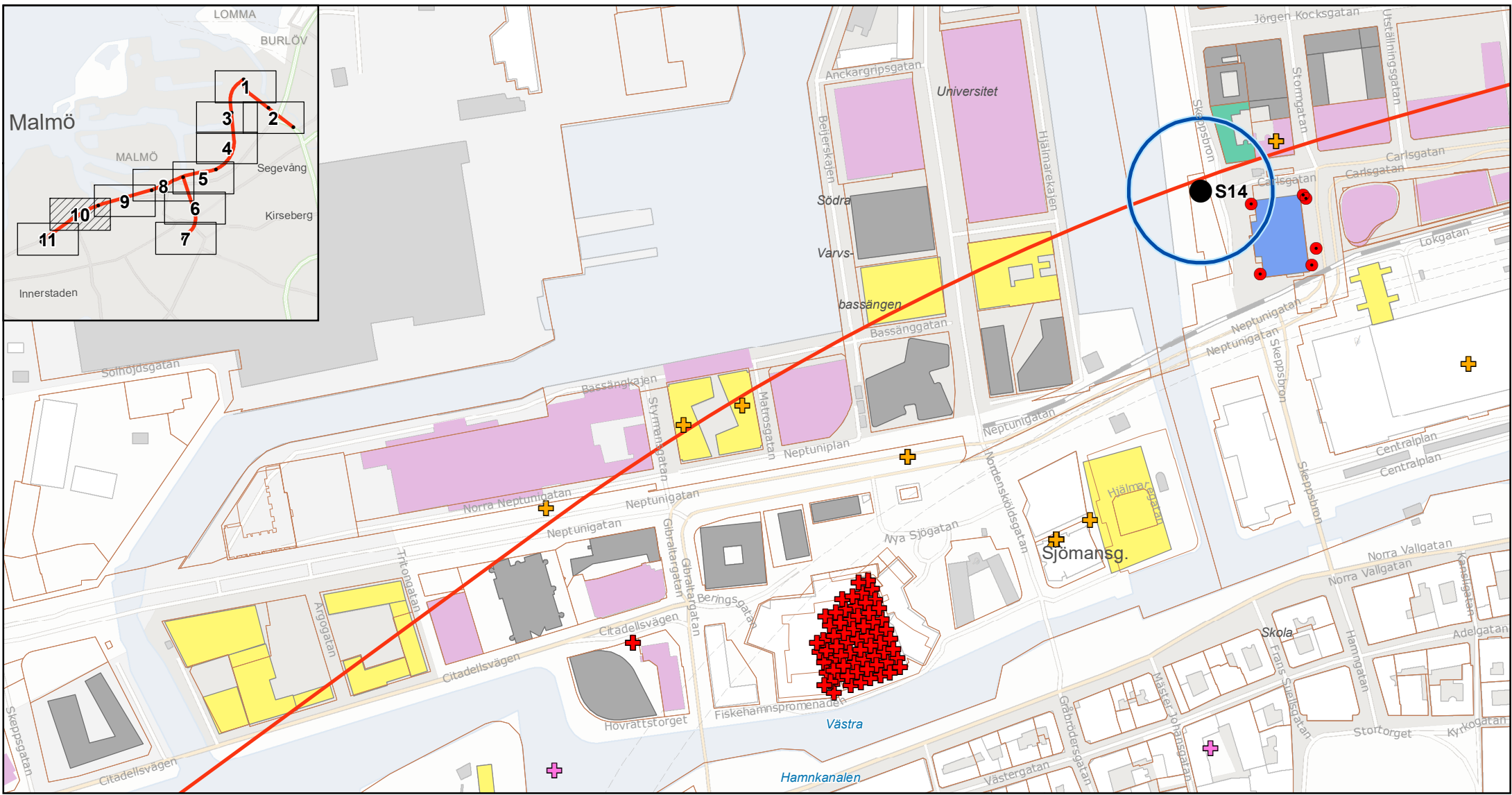
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 9 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

- Inventerad borrard brunn, geoenergi
- ⊕ SGU:s brunnarsarkiv, borrard brunn med okänd användning
- ⊕ SGU:s brunnarsarkiv, borrard geoenergi-brunn
- ⊕ SGU:s brunnarsarkiv, borrard brunn med övrig användning
- ⚠ SGU:s brunnarsarkiv, grävd brunn med övrig användning

Grundläggning

- Delvis pålad grundläggning
- Okänd grundläggning
- Platta på mark
- Pålad grundläggning
- Träpålad grundläggning

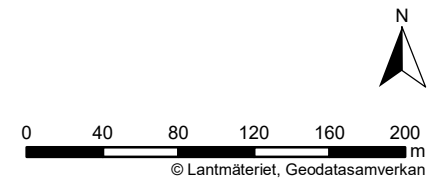
- Påverkansområde
- Schakt
- Tunnelsträckning

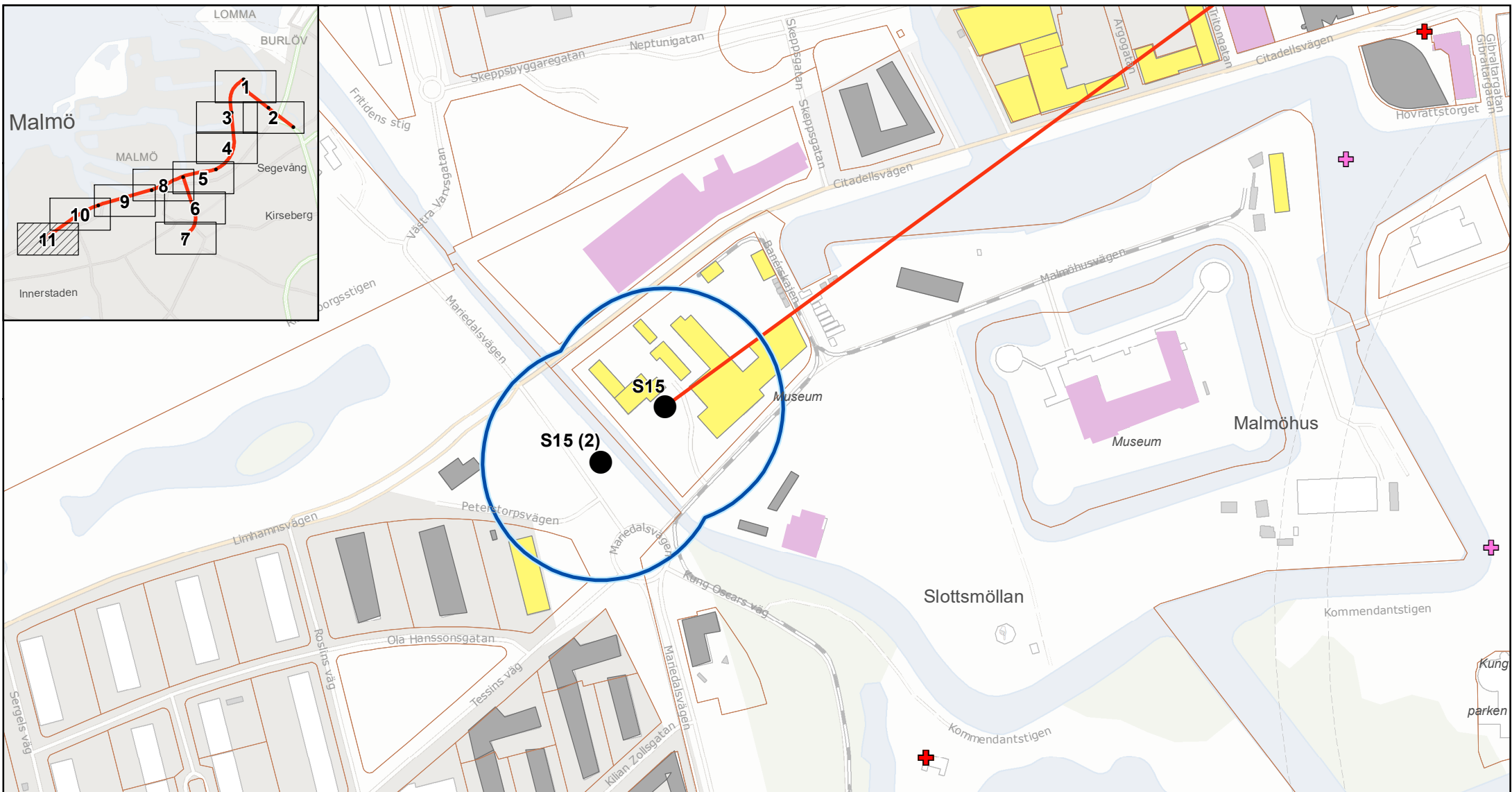
Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 10 av 11

Datum: 2023-03-10





Brunnar

- + SGU:s brunnarsarkiv, borrad brunn med okänd användning
- + SGU:s brunnarsarkiv, borrad geoenergibrunn
- + SGU:s brunnarsarkiv, borrad brunn med övrig användning

Grundläggning

- Okänd grundläggning
- Platta på mark
- Pålad grundläggning

 Påverkansområde

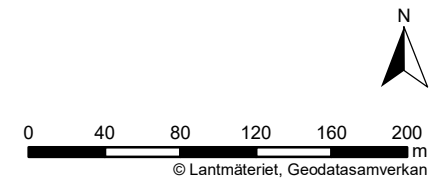
- Schakt
- Tunnelsträckning

Bilaga M5.1

Karta för påverkansområden och riskexponerade objekt; Brunnar och grundläggning

Blad 11 av 11

Datum: 2023-03-10



Fastighet	Grundläggning	Jordlagerföljd	Riskbedömning för sättningar
AEGIR 1:1	Delvis pålad	Okänd	Risk
BARKMAN 1:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
BETONGEN 11:1	Pålad	Postglaciala sediment	Obetydlig risk
BREDSKÄR 2:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
BREDSKÄR 2:1	Platta på mark	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Risk
BRÄNNOLJAN 9:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
BRÄNNOLJAN 9:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
BRÄNNOLJAN 9:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
BÖTTÖ 5:1	Okänd	Postglaciala sediment	Okänd risk
GRANEN 10:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
GRANEN 11:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
GRANEN 12:1	Okänd	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
GRANEN 13:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
GRANEN 14:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
GRANEN 9:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
HAMNEN 22:163:21	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
HAMNEN 22:185:1	Okänd	Postglaciala sediment	Okänd risk
HAMNEN 22:194:1	Okänd	Postglaciala sediment	Okänd risk
HAMNEN 22:194:1	Okänd	Postglaciala sediment	Okänd risk
HAMNEN 22:195:1	Platta på mark	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Risk
HAMNEN 31:2:1	Platta på mark	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Risk
HAMNEN 31:2:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
Hamnen 32:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
Hamnen 32:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
HAVET 5:1	Pålad	Postglaciala sediment	Obetydlig risk
HORNET 2:1	Platta på mark	Postglaciala sediment	Liten risk
HORNET 2:1	Platta på mark	Postglaciala sediment	Liten risk
HORNET 4:1	Okänd	Postglaciala sediment	Okänd risk
HUGO 17:1	Okänd	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk

HUGO 17:1	Okänd	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
HUGO 17:1	Okänd	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
HÄGGEN 13:1	Okänd	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
HÄGGEN 13:1	Okänd	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
HÄVRINGE 7	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
HÄVRINGE 7:1	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
INNERSTADEN 132:1:1	Okänd	Postglaciala sediment	Okänd risk
INNERSTADEN 132:1:1	Okänd	Postglaciala sediment	Okänd risk
INNERSTADEN 5:10:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
LILLGRUND 4:1	Pålad	Postglaciala sediment	Obetydlig risk
PETERSTORP 3:1	Platta på mark	Organisk jord förekommer	Okänd risk
RAN 4:1	Pålad med träpålar	Okänd	Risk
RAN 6:1	Pålad	Okänd	Obetydlig risk
ROLF 12:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
ROLF 6:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
Sjölunda 9	Pålad	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Obetydlig risk
SJÖLUNDA 9	Okänd	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Okänd risk
STORBÅDAN 3:1	Pålad	Postglaciala sediment med organiskt innehåll	Obetydlig risk
SVANTE 19:1	Platta på mark	Lermorän/fyllning, organiska inslag kan förekomma	Liten risk
TEGLET 1:1	Platta på mark	Postglaciala sediment	Liten risk
TEGLET 1:1	Platta på mark	Postglaciala sediment	Liten risk
TURBINEN 4:1	Platta på mark	Organisk jord förekommer	Risk
TURBINEN 4:1	Platta på mark	Organisk jord förekommer	Risk
TURBINEN 4:1	Platta på mark	Organisk jord förekommer	Risk
TURBINEN 4:1	Platta på mark	Organisk jord förekommer	Risk
TURBINEN 4:1	Platta på mark	Organisk jord förekommer	Risk

VASYD

