

Namn	Dokumenttitel PM Hydrogeologi		Version 1.0
Författare Linnea Maldonado	Ansvarig Tomas Hård	Handlingsstatus/Läge GÄLLANDE	Datum 2019-01-10
Projektnamn MÄSSTUNNELN		Projektnummer 361903	Diarienummer 16SV816



MÄSSTUNNELN

Bilaga G PM Hydrogeologi Tillståndsansökan Mässtunneln

Stockholm Vatten AB

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
0.1	2018-02-16	Granskningshandling
0.2	2018-09-12	Granskningshandling
0.3	2018-11-09	Granskningshandling
1.0	2019-01-10	Slutversion

Innehållsförteckning

1.	Inledning	6
2.	Syfte	8
3.	Ordförklaring och begrepp.....	9
4.	Planerad anläggning.....	12
4.1	Höjd- och koordinatsystem.....	14
5.	Avgränsningar	15
5.1	Utredningsområde	15
5.2	Influensområde.....	17
6.	Planerad vattenverksamhet.....	21
7.	Underlagsmaterial	22
7.1	Inventeringar	22
7.2	Utförda geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten	22
7.3	Pågående geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten.....	24
8.	Tunnelns grundvattenpåverkan	25
8.1	Inläckage.....	25
8.2	Generell grundvattenpåverkan i berg	25
8.3	Generell grundvattenpåverkan i jord.....	27
8.4	Mässtunnelns påverkan på grundvattennivåer	28
8.4.1	Initiell påverkan.....	28
8.4.2	Långsiktig påverkan.....	30
8.5	Påverkan från öppna schakt	31
8.6	Påverkan på energibrunnar.....	32
9.	Förebyggande skyddsåtgärder	33
9.1	Val av tunnelsträckning.....	33
9.2	Tätning genom injektering.....	33
9.3	Skyddsinfiltration	35
9.4	Tätning genom betonglining.....	36
9.5	Strategi avseende skyddsåtgärder och kontroll	36
10.	Översiktlig områdesbeskrivning	38
10.1	Markanvändning	38
10.2	Topografi	38
10.3	Naturvärden.....	40
10.4	Föroreningar	40
10.5	Berggrund	42
10.5.1	Svaghetszoner.....	44
10.6	Jordlager och jorddjup	45
10.6.1	Geotekniska förhållanden	48
10.7	Hydrogeologiska förhållanden.....	49

10.7.1	Grundvattenmagasin	49
10.7.2	Grundvattennivåer	52
10.7.3	Vattenbalans	53
11.	Detaljerad områdesbeskrivning	55
11.1	Vattenbalansområde Blommensbergsvägen	55
11.1.1	Anläggning lm 0 +000 – 0 +200	55
11.1.2	Områdesbeskrivning	57
11.1.3	Motstående intressen	60
11.1.4	Skyddsåtgärder	62
11.2	Vattenbalansområde Aspudden	63
11.2.1	Anläggning	63
11.2.2	Områdesbeskrivning	65
11.2.3	Motstående intressen	68
11.2.4	Skyddsåtgärder	70
11.3	Vattenbalansområde Midsommarkransen	70
11.3.1	Anläggning lm 0 +200 – 1 +400	70
11.3.2	Områdesbeskrivning	72
11.3.3	Motstående intressen	76
11.3.4	Skyddsåtgärder	78
11.4	Vattenbalansområde Västberga	79
11.4.1	Anläggning lm 1 +400 – 3 +100	79
11.4.2	Områdesbeskrivning	80
11.4.3	Motstående intressen	88
11.4.4	Skyddsåtgärder	90
11.5	Vattenbalansområde Älvsjö	91
11.5.1	Anläggning lm 3 +100 – 4 +105	91
11.5.2	Områdesbeskrivning	94
11.5.3	Motstående intressen	103
11.5.4	Skyddsåtgärder	109
11.6	Sammanställning av motstående intressen	110
11.6.1	Motstående intressen jord	110
11.6.2	Motstående intressen berg	112
12.	Kontrollprogram	113
13.	Referenser	114

Bilagor

Bilaga	Dokumentnummer	Titel
G1		Översiktskarta
G2		Utförda undersökningar
G3		Vattenbalansområden
G4		Motstående intressen
G5		PM Sättningar
G6		Hydrogeologiska beräkningar

1. Inledning

Stockholm Vatten och avfall (SVOA) planerar att bygga ny avloppstunnel, benämnd Mässtunneln. Tunneln kommer att byggas mellan Älvsjö Örby, ett område i Älvsjö där bostäder ska byggas och Liljeholmen, se figur 1. Mässtunneln kommer vid Liljeholmen ansluta till den avloppstunnel som SVOA planerar att bygga mellan Bromma och Henriksdal Stockholm framtida avloppsrening (SFA) tunneln.

Syftet med Mässtunneln är att avlasta befintligt spillvattenförande system inom exploateringsområdet Älvsjö Örby så att området kan bebyggas. Mässtunneln är en förutsättning för att exploatering av Älvsjö Örby ska kunna ske. Tunneln kommer även att avlasta och bygga bort sex kända hydrauliska begränsningar längs dess sträcka för att minska risken för källaröversvämningar i befintligt ledningsnät. I dagsläget är totalt ca 55 000 personer anslutna till spillvattensystemet som via de sex anslutningspunkterna ska avledas till Mässtunneln. Spillvattensystemet består i vissa områden av kombinerade dag- och spillvattenledningar och i andra områden enbart av spillvattenledningar. I dagsläget sker bräddningar från befintligt spill- och dagvattenvattensystem till Älvsjö-Mälarmagasinet som avbördas orenat ut i Mälaren. Om Mässtunneln byggs kan bräddningarna istället ske till tunneln med efterföljande rening i Henriksdals reningsverk.

Tunneln startar i Älvsjö, nära Huddingevägen och väster om Örby Slott. Den passerar stambanan och fortsätter genom Solberga och Västberga där den korsar E4/E20. Tunneln går sedan under Midsommarkransen och avslutar strax söder om sjön Trekanten vid Liljeholmen, där den ansluter till den planerade SFA-tunneln. Hela sträckningen går genom Stockholms stad. Tunneln passerar Långbro på väster sida samt Östberga och Enskede på öster sida. Mässtunneln beräknas vara i drift år 2025, efter det att SFA tunneln är färdigställd.



Figur 1 Översiktskarta.

2. Syfte

Syftet med föreliggande PM Hydrogeologi är att utgöra underlag för Mark- och miljödomstolens prövning av förutsebar grundvattenbortledning, vattenverksamhet enligt 11 kap miljöbalken, som följer av anläggandet och drifttagandet av planerad anläggning.

3. Ordförklaring och begrepp

I följande stycke förklaras en del av de begrepp som används i denna rapport.

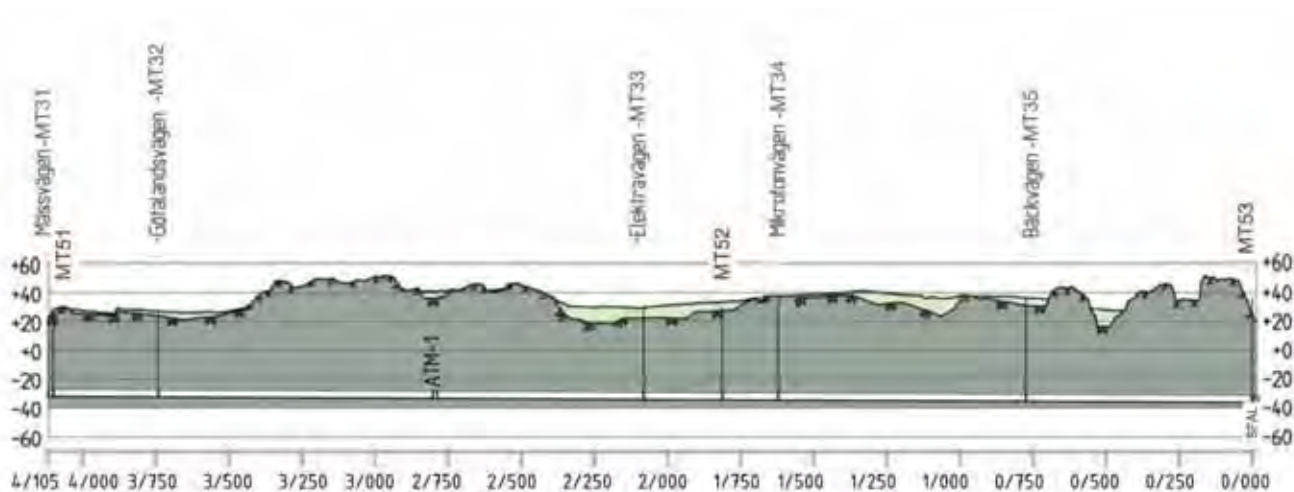
Begrepp	Förklaring
Grundvatten	Grundvatten är vatten (över atmosfärstryck) som helt fyller hålrum och sprickor både i jord och i berg. I jorden rör sig grundvattnet i hålrum mellan jordpartiklarna. Grundvatten i berg finns i sprickor.
Grundvattenbildning	Tillflöde av vatten till grundvattenzonen, vilket sker då nederbörd (eller annat vatten), infiltrerar och sedan perkolerar genom den omättade zonen till den mättade zonen.
Grundvattendelare	En gräns för ett grundvattenmagasin. Det kan vara en bergtröskel under mark som delar av ett grundvattenmagasin i jordlagren eller topografiskt betingad, så kallad gravitationsvattendelare, som gör att grundvattenströmningen riktas åt olika håll.
Grundvattenmagasin	En avgränsad del av ett vattengenomsläppligt jordlager. Även berggrundens vattengenomsläppliga spricksystem brukar kallas för ett (berg-) grundvattenmagasin.
Slutet och öppet grundvattenmagasin	Om ett tätt jordlager begränsar grundvattenmagasinet uppåt, bildas ett slutet magasin. När en sådan begränsning saknas är magasinet öppet.
Grundvattennivå, grundvattnets trycknivå och artesiskt grundvatten	<i>Grundvattennivå</i> avser grundvattenytans läge i mark där jämvikt med atmosfärstryck råder och tryckpotentialen är noll. Om man driver ner ett perforerat rör i ett öppet magasin kommer vattenytan i röret att befinna sig på samma nivå som grundvattentrycket i magasinet. Grundvattnet i ett slutet magasin kan inte röra sig fritt i vertikalled utan hindras av ett överliggande tätskikt. Om man driver ner ett perforerat rör i ett slutet magasin kommer vattenytan i röret att stiga till en nivå som ligger över grundvattenytan på grund av övertrycket i magasinet. Trycknivån definieras som den nivå som grundvattnet skulle stiga till om tätskiktet inte fanns. Artesiskt grundvatten har en trycknivå som ligger över markytans nivå.

Hydraulisk konduktivitet	Ett mått på jordlagrets (berggrundens) förmåga att släppa igenom vatten. Ett grundvattenflöde genom ett visst tvärsnitt beror på konduktiviteten och strömningsgradienten (nivå/tryckskillnad) mellan två punkter.
Konsolidering	En volymminskning (komprimering) av (ler)jord på grund av belastning eller minskning av portrycket. När en lerjord belastas pressas vatten ut ur jorden (porvolymen minskar). Om trycknivån sänks i under- eller överliggande jordlager kommer lerjordens portryck att minska med en konsolidering som följd. En överkonsoliderad jord har tidigare varit utsatt för en större belastning eller grundvattentrycknivåsänkning än dagens förhållanden. En underkonsoliderad lerjord är utsatt för en belastning eller trycknivåsänkning men har ännu inte anpassats (konsoliderats) för rådande förhållanden.
Sättning, sättningsrörelse	Markytan sjunker på grund av att underliggande jordlager pressats samman (konsoliderats).
Sättningsbenägen jord	Finjordar som ler- och siltjordar som konsolideras (trycks ihop) av pålagd last (byggnader, fyllning) eller av sänkning av grundvattnets trycknivå.
Torrskorpelera	Avvattnad, konsoliderad lerjord vid markytan som ofta är uppsprucken.
CRS-analys, CRS försök	Ett opåverkat (ostört) lerprov utsätts för tryck för att man ska kunna bedöma lerans sättningsegenskaper, och hur mycket lerjorden kompakteras vid en dränering av porvattenhalten.
Friktionsjord	Jord vars hållfasthet till övervägande del beror på friktion mellan kornen. Morän, grus och sand är exempel på friktionsjord.
Fyllningsjord	Utfyllnadsmassor, jord som inte är bildats i naturliga processer på platsen.
Spricka	En generell term som avser varje mekaniskt brott i en bergmassa.
Sprickzon	Ett stråk (1 m - 10 km) genom berggrunden med stor frekvens av sprickor.
Svaghetszon	En generell term som avser en zon med dålig bergkvalitet.
Deformationszon	En deformationszon är en svaghetszon utefter vilken berggrunden på ömse sidor av zonen har rört sig i förhållande till varandra.

Krosszon	Område med krossat berg orsakat av kraftig deformation.
Tunnelnivå	Anges som nivå för tunnelbotten.
Byggskede	Det skede under vilket byggnation pågår som förändrar bortledningen av grundvatten, t ex etablering, drivning, bergförstärkning, injektering, mm.
Driftskede	Det skede som startar då anläggningen är slutbesiktigad och överläts till driften på Stockholm vatten AB, och då ingen större förändring av vattenverksamheten längre sker. För ansökan om grundvattenbortledning innebär det att tunneldelar är färdigutsprängda och tätade.
Injektering	Tätning av berg genom injekteringshål som borrar utanför den blivande tunnelkonturen för att minska inläckage av grundvatten.
Injekteringsklass	Injekteringsklass är kopplad till en bergklass och omgivningspåverkan med varierande skärmgeometri och injekteringsrecept.
Influensområde grundvatten	Område inom vilket praktisk påverkan på grundvattenförhållanden kan förutses kunna komma att uppstå som följd av planerad vattenverksamhet. Som gräns för praktisk påverkan antas en grundvattensänkning om 0,3 m.
Utredningsområde	Område inom vilket geologiska och hydrogeologiska förhållanden studeras med syfte att kunna prediktera påverkan och effekter av planerad vattenverksamhet.
Skin	Med skin avses en process där den vattenförande förmågan i bergets sprickor i omedelbar anslutning till tunneln successivt avtar till följd av spänningsomvandlingar i berget (snabb process), utfällningar och förflyttning av sprickmineral i bergsprickor (långsam process) samt (ibland) även omättat flöde i bergsprickor nära tunnelvägg.

4. Planerad anläggning

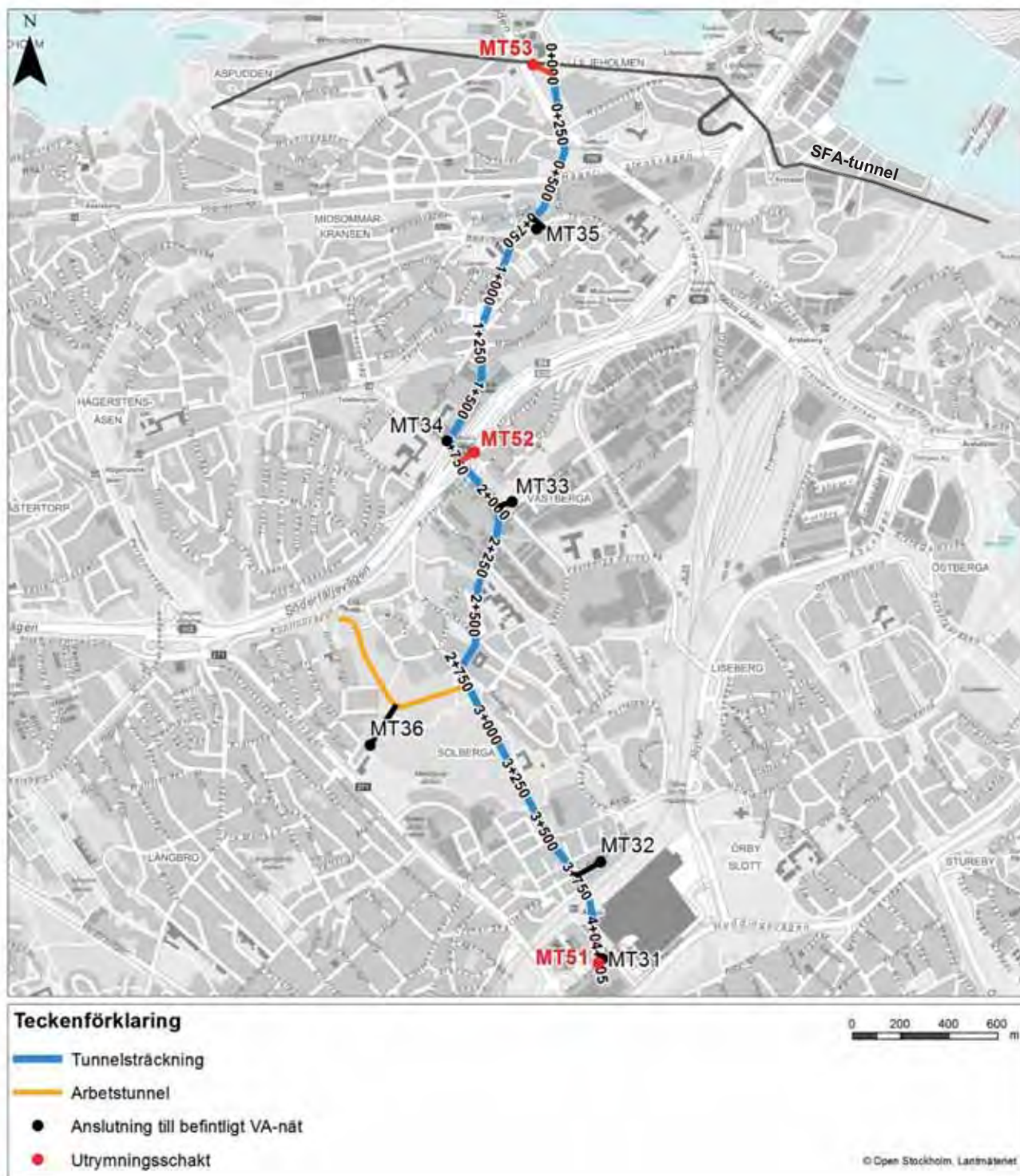
Mässtunneln ska vid Liljeholmen ansluta till Stockholms framtida avloppsreningstunnel, (SFA-tunneln). Nivån på Mässtunneln vid anslutningspunkten har därför anpassats till SFA-tunneln med en anslutningsnivå på ca -36,5. Vid Mässvägen i norr startar tunneln på nivå ca -31,6. Att tunneln ligger så pass djupt möjliggör även en framtida förlängning söderut. Avloppsvattnet rinner med självfall i tunneln som kommer att ha en lutning på minst 1 ‰. Längden på tunneln är ca 4120 meter och djupet från markytan till tunnelns hjässa varierar mellan ca 53 och 80 meter. Se figur 2 för tunnelns profil. Observera att tunneln lutar mot norr men att längdmätningen går från norr till söder.



Figur 2 Mässtunneln i profil.

Tunnelns normalsektion består av raka väggar och ett välvt tak med något lutande bottenprofil. Tvärsnittsarean är 21,4 m². En arbetstunnel, med tvärsnittsarea ca 25 m², kommer att anläggas i Solberga, och dess längd är ca 750 m. Påslag för arbetstunneln placeras i anslutning till ytnära berg vilket minimerar schakt i jord. För mer detaljerad beskrivning av anläggningen se Bilaga E Teknisk beskrivning.

Arbetstunnelns påslag kommer att fungera som en utrymningsväg. Tre ytterligare utrymningsvägar kommer att anläggas. De tillkommande utrymningsvägarna utformas som vertikala schakt med ett tvärsnitt om ca 2,5 m². Ett av dessa utrymningsschakt (MT51) är placerat vid Mässvägen, ett vid Västbergamotet (MT52) och ett vid Blommensbergsvägen öster om E4/E20-bron (MT53). Översiktliga lägen redovisas i figur 3. Anslutning mellan utrymningsschakt och tunneln sker via nischer med längder mellan 13 och 86 meter med en diameter på 1,8 meter.



Figur 3 Tunnel med anläggningsdelar.

Sex punkter från befintligt ledningsnät i mark ska anslutas till Mälsstunneln. Dessa benämns MT31 – MT36 och redovisas i figur 3. Tunnelns linje följer vissa av dessa anslutningspunkter och den anslutningspunkt som ligger längst bort från huvudtunneln är MT36. Punkterna kommer att anslutas via borrhål i berg ned till tunneln. Samtliga anslutningar omfattar anläggning av markförlagda VA-ledningar samt platsgjutna betongkammare vid övergången

till störrör i bergborrhål. Hur anslutningarna kommer att se ut i detalj beskrivs i Bilaga E Teknisk beskrivning.

4.1 Höjd- och koordinatsystem

Höjdsystem: RH 2000

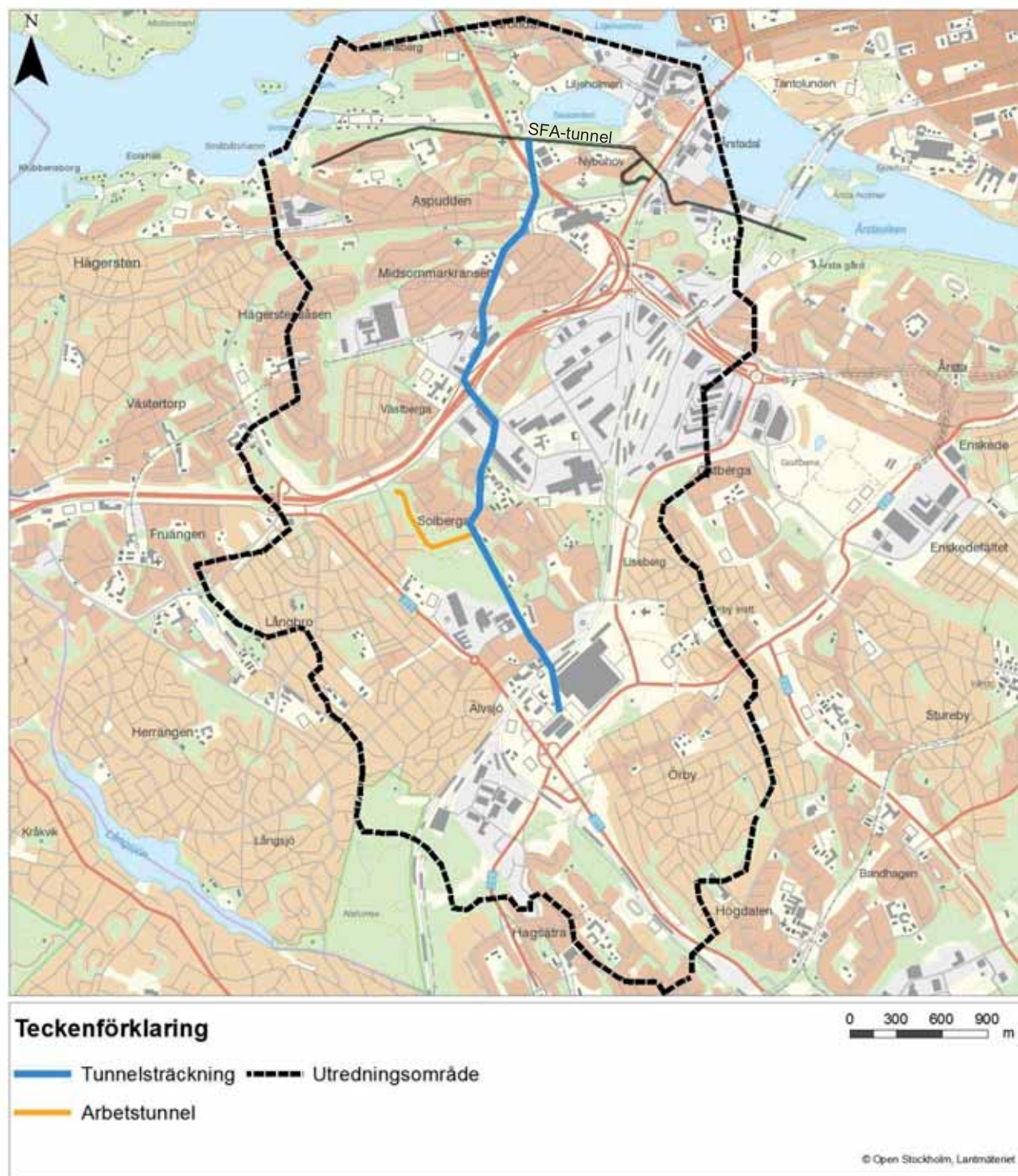
Koordinatsystem: Sweref 99 18 00

5. Avgränsningar

5.1 Utredningsområde

Den hydrogeologiska utredningen har utgått ifrån ett framtaget utredningsområde kring Mässtunneln. Utredningsområdet är det område inom vilket geologiska och hydrogeologiska förhållanden studeras med syfte att kunna prediktera påverkan och effekter av planerad vattenverksamhet. Gränsdragningen för utredningsområdet är mycket väl tilltagen för att med god marginal innefatta det hydrauliska system där förändring av grundvattenförhållanden skulle kunna uppkomma som följd av planerad vattenverksamhet, se figur 4 som visar Mässtunneln och utredningsområdet. Undersökningar i fält har gjorts och information om geologi och hydrogeologi har inhämtats inom utredningsområdet. Med stöd av denna information har olika beräkningsmetoder använts (numeriska och analytiska) för prediktion av grundvatteninläckage till planerad anläggning. Simulering av förändring av grundvattenförhållanden som följd av grundvattenbortledning har gjorts genom numerisk grundvattenmodellering. Många scenarier har simulerats och det slutligt redovisade influensområdet är ett konservativt valt område utanför vilket praktisk påverkan på grundvattenförhållanden förutses utebli.

Vattenbalansberäkningar, som redovisas i Bilaga G6 Beräkningsbilaga, har gjorts dels som ett led i att skapa underlag för indata till den numeriska modellen (potentiell nybildning av grundvatten) och dels för en översiktlig studie av potentiellt känsliga grundvattenmagasin med avseende på vattentillgång. Känsliga grundvattenmagasin identifieras även med hjälp av andra parametrar så som lermäktighet, lerans egenskaper och prognostiserad grundvattentrycksänkning.



Figur 4 Utredningsområde för Mässtunneln.

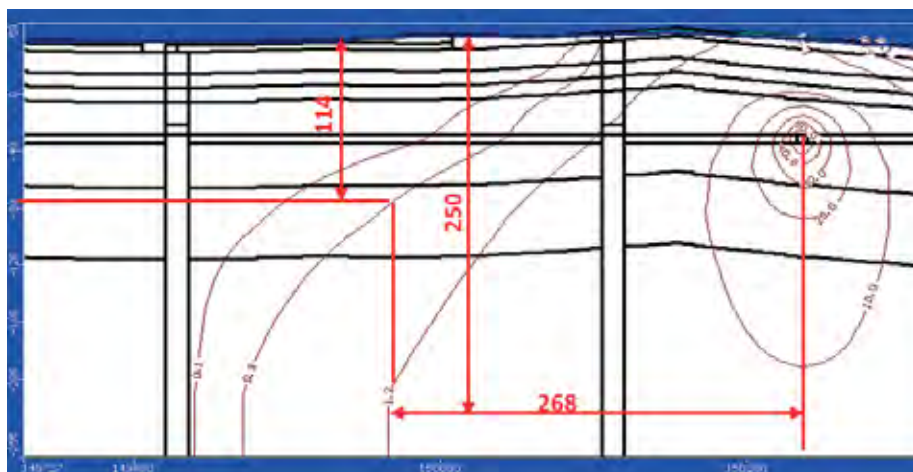
5.2 Influensområde

Influensområde för grundvatten är det område inom vilket praktisk påverkan på grundvattenförhållanden kan förutses kunna komma att uppstå som följd av planerad vattenverksamhet. Som gräns för praktisk påverkan antas en grundvattensänkning om 0,3 meter (R_{03}).

Trycksänkningen kring en tunnel i berg kommer att sprida sig längre ut i djupt berg än i ytligt berg och jord. I djupt berg finns i princip bara enskilda brunnar i berg som potentiella motstående intressen. Exempelvis kan en avsänkning av vattennivån i en energibrunn påverka energiutbytet mellan kollektor och omgivande berg varvid brunnens effektivitet minskar.

Men en trycksänkning i djupt berg är inte detsamma som en avsänkning av vattennivån inne i en brunn. Detta då brunnen normalt har bättre hydraulisk kontakt med ytligt, mer vattenförande, berg än med djupare tätare berg. Då blir effekten av en trycksänkning i djupt berg istället att det uppkommer en viss förändring i den grundvattenströmning som normalt alltid sker inne i en bergborrad brunn. Effekten av en trycksänkning i djup berg är alltså inte direkt överförbar till en motsvarande sänkning av vattennivån inne i en brunn. Detta faktum beaktas genom följande strategi:

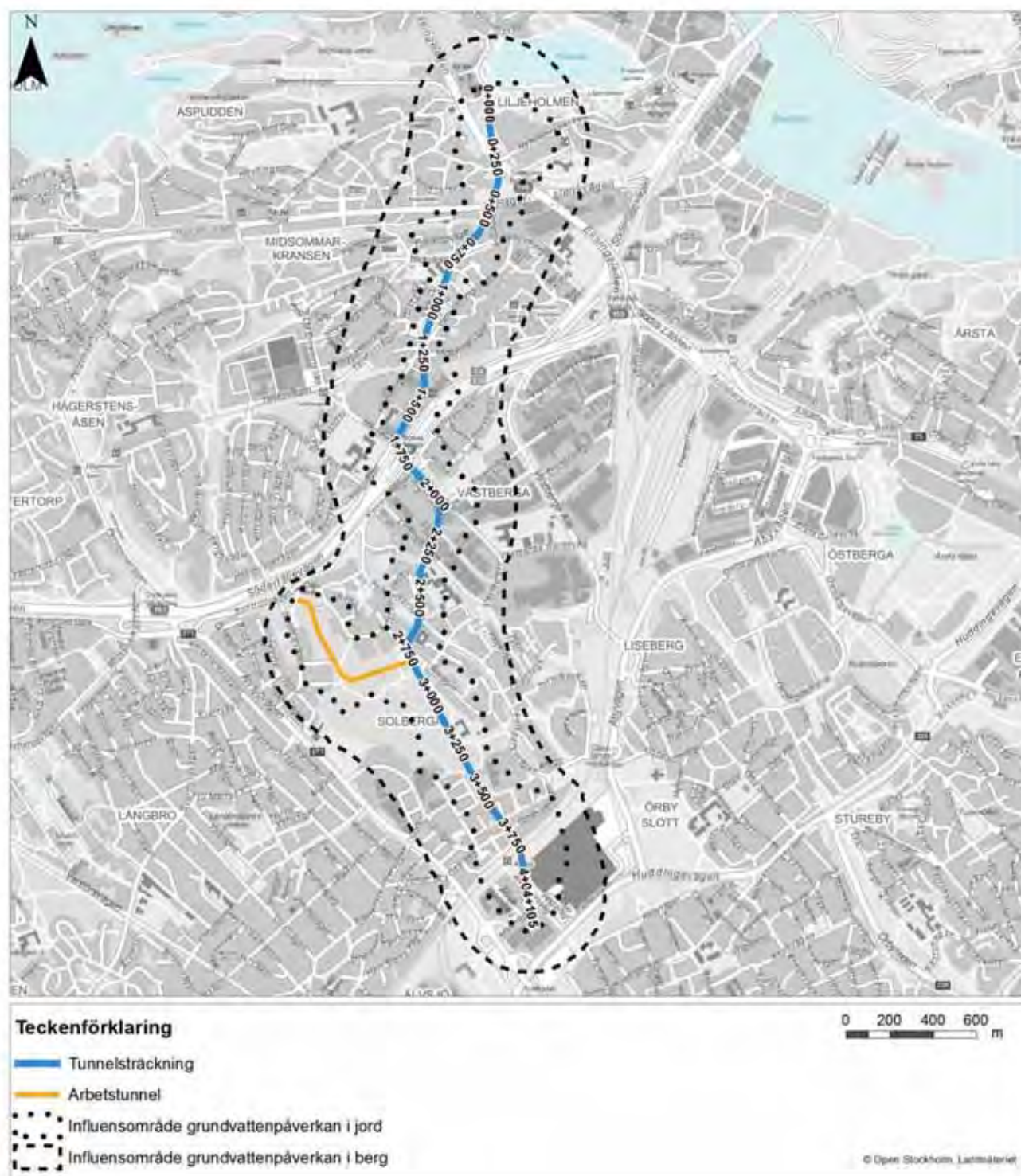
- Det är önskvärt att kunna hålla samma definition på influensområde för ytligt och djupt grundvatten, d v s 0,3 meters avsänkning (R_{03}) som gräns för praktisk påverkan.
- Djupborrade brunnar finns ner till ca 250 meters djup (även om det finns ett fåtal ner till ca 300 meter).
- Det bedöms att risk för avsänkning inne i en djup brunn vid trycksänkning i djupt berg kan konservativt sättas till $0,25 \times$ teoretisk trycksänkning i berg på 250 meters djup.
- Således studeras den teoretiska trycksänkningen på 1,2 meter ($0,3/0,25$) på 250 meters djup för att finna det (i varje studerad sektion) motsvarande djupet för 0,3 meters trycksänkning, se figur 5. Detta djup har genom studie av fyra representativa sektioner längs tunneln bestämts till mellan 109 och 133 meter, med ett medianvärde om 114 meter. Utifrån dessa studier väljs djupet 115 meter som definition av "djupt berg" vad avser gräns för praktiskt influensområde (R_{03}).



Figur 5 Princip för översättning av teoretisk trycksänkning på djupet 250 m till R_{03} för trycksänkning i "djupt berg".

För avgränsning av ett praktiskt influensområde för ytligt grundvatten (i jord), används konservativt en beräknad trycksänkning i ytligt berg. Detta då det är osäkert hur den hydrauliska kontakten mellan jord och berg är beskaffad i varje given punkt. Om den är god kan trycksänkningen i jord bli i princip samma som trycksänkningen i ytligt berg. Är kontakten mindre god kommer trycksänkning i jord att bli väsentligt mindre än trycksänkningen i ytligt berg.

Influensområden för grundvattenpåverkan i jord och berg, baserat på resultat från modellering i programmet MODFLOW, har tagits fram för Mässtunneln och beskrivs i Bilaga G6 Beräkningar. Influensområdena redovisas i figur 6.



Figur 6 Influensområden för grundvattenpåverkan i jord och berg för Mässlundtunneln.

Inom influensområdena har inventering av potentiella motstående intressen utförts. Inventering görs av olika typer av potentiella motstående intressen. Dessa kan indelas i två huvudgrupper:

- Intressen som kan påverkas vid avsänkning av ytligt grundvatten (i jord).
- Intressen som kan påverkas vid trycksänkning av djupt grundvatten (i berg).

Utbredning av influensområde kan förutses komma att vara större i djupt berg än för ytligt grundvatten. Därför finns det två gränser för influensområde. En inre gräns inom vilken naturvärden, grundläggning, förorenade områden och brunnar inventerats, vilket benämns influensområde grundvattenpåverkan i jord. En yttre gräns inom vilket brunnar inventerats, vilket benämns influensområde grundvattenpåverkan i berg.

Influensområdena är del av utredningsområdet. Inom influensområde har, utöver de analyser som gjorts inom utredningsområdet, en fördjupad analys gjorts av hydrogeologiska, geologiska, och geotekniska förhållanden, bland annat genom omfattande fältundersökningar och sättningsberäkningar.

Utredningen beskriver nuvarande grundvattenförhållanden och förutsebar förändring av grundvattenförhållanden till följd av den planerade vattenverksamheten. Vidare beskrivs objekt som är känsliga för grundvattenpåverkan jämte bedömt behov av skyddsåtgärder för att minska risken för skador. Detta redovisas i kapitel 11.

6. Planerad vattenverksamhet

Denna hydrogeologiska utredning behandlar bortledning av grundvatten från Mässtunneln som anläggs i berg, under grundvattenytan. Även tillhörande arbetstunnel och nischer anläggs i berg, under grundvattenytan.

Även om injektering tillämpas som skyddsåtgärd kommer ett visst grundvatteninläckage till anläggningen ske, detta grundvatten kommer att behöva ledas bort. Den sökta vattenverksamheten avser att under bygg- och driftskede leda bort grundvatten och att som skyddsåtgärd eventuellt infiltrera vatten. För denna vattenverksamhet krävs tillstånd från mark- och miljödomstolen enligt kapitel 11 om vattenverksamhet, Miljöbalken.

Under bygg- och driftskedet kommer grundvatten från berggrunden läcka in till anläggningen. Storleken på inläckaget bestäms av berggrundens genomsläpplighet, det ursprungliga grundvattentrycket i berget vid planerad tunnel (beroende av tunneldjup) samt tunnelns diameter. Inläckaget kan minskas genom tätning av tunneln och styrs till stor del av vald tätningsmetod och utförande. Beräkningar av inläckage till planerad anläggning beskrivs i Bilaga G6.

Hur stor omgivningspåverkan inläckaget till tunneln får beror, förutom på inläckagets storlek, på bergets vattenförande egenskaper och den hydrauliska kontakten mellan det trycksänkta området i berg och undre magasin i jord i kombination med grundvattentillgång, dvs om det finns förutsättningar för grundvattenströmning till det trycksänkta området. Om grundvattentrycket i berggrunden minskar, till följd av inläckage till tunneln, kan grundvattnets trycknivå sjunka i det ovanliggande jordlagret, det undre grundvattenmagasinet. Ett minskat grundvattentryck i berggrunden kan också leda till att grundvattennivån sjunker i ett ovanliggande öppet magasin (i det ovanliggande jordlagret). I lerområden blir grundvattenavsänkningen generellt mer utbredd, då tätande jordlager medför liten nybildning av grundvatten. I randzoner mellan jord och berg som generellt finns i utkanten av lerområdena bidrar strömning genom friktionsjord till ett dominerande tillskott av grundvatten. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet så ökar den hydrauliska gradienten och därmed grundvattenströmningen. Således ökar tillskottet till det undre magasinet från omgivande berg och övre magasin om trycknivån i det undre magasinet sänks.

En trycksänkning i det undre grundvattenmagasinet kan medföra att lerans volym minskar och risk för marksättningar finns, vilket kan medföra skador på byggnader och anläggningar. En påverkan kan även ske på vattennivå i brunnar på grund av avsänkta grundvattentrycknivåer i berget.

7. Underlagsmaterial

7.1 Inventeringar

Följande inventeringar har utförts inom utredningsområdet:

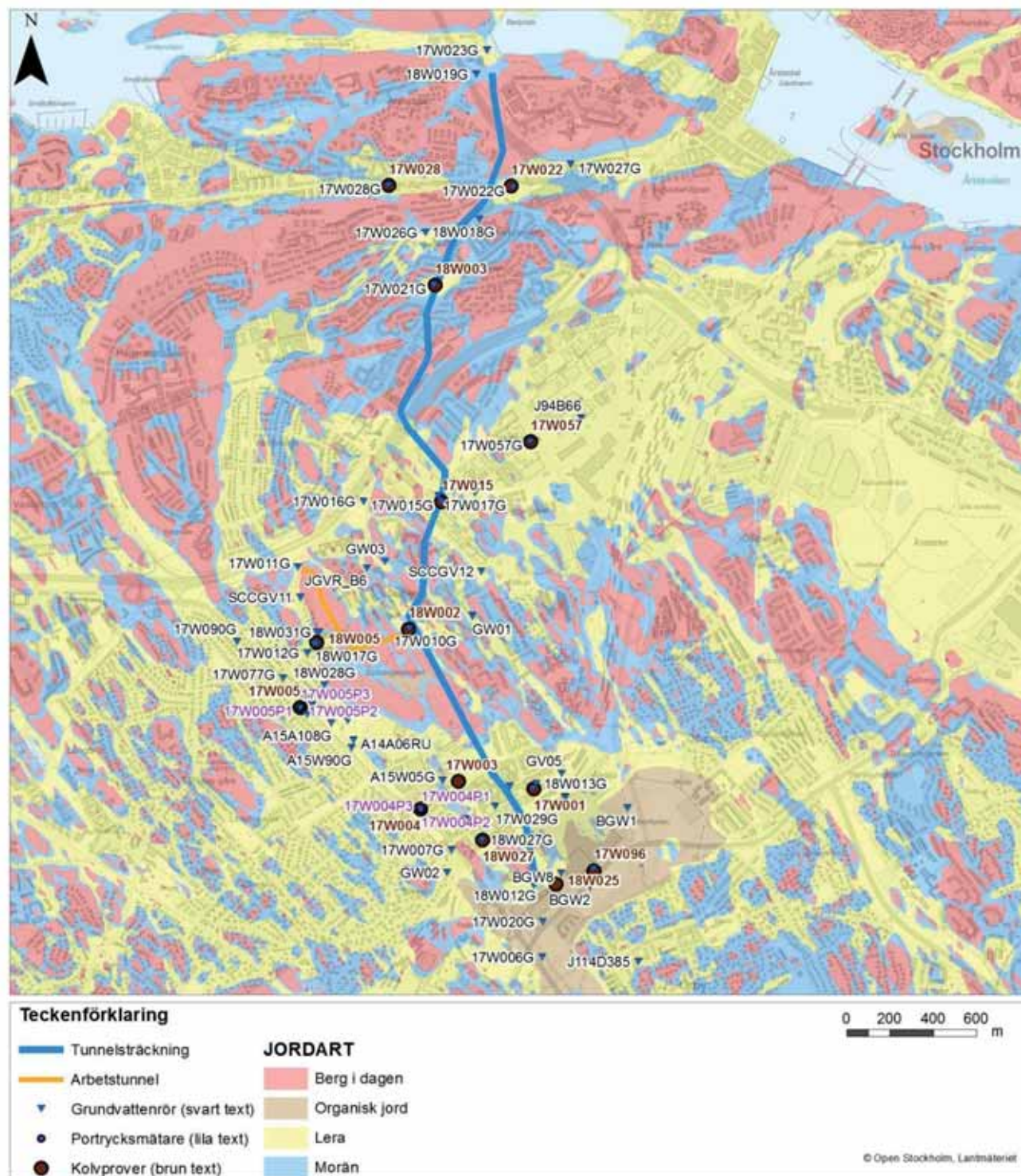
- Inventering av befintliga grundvattenobservationsrör, med syftet att erhålla representativa grundvattennivåer längs med sträckan samt för identifiering av för projektet relevanta kontrollrör. De utvalda kontrollrören är funktionstestade.
- Inventering av husgrundläggningar.
- Inventering av brunnar. SGUs brunnssdatabas och Stockholm stads register samt information från samråd och utskick till fastighetsägare.
- Inventering av ledningar.
- Inventering av naturmiljöer och fornlämningar.
- Inventering av undermarksanläggningar.
- Inventering av tidigare utförda borrhningar i jord och berg.
- Inventering av potentiellt förorenade områden.

7.2 Utförda geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten

Inom systemhandling och tillståndsansökan för byggandet av Mässtunneln har följande undersökningar utförts:

- Installation av grundvattenrör i undre grundvattenmagasin för att utreda grundvattensituationen inom utredningsområdet.
- Funktionstest av grundvattenrör. Omfattar rör som installerats inom projektet samt rör som tidigare installerats i andra projekt.
- Geotekniska sonderingar i samband med installation av grundvattenrör.
- Installation av porttrycksmätare för grundvatten.
- Provtagning och analys av lera i de områden där leran är som mäktigast och där grundvattenpåverkan kan befaras bli som störst. Deformationsparametrar för lös lera har utvärderats från utförda CRS-försök. CRS-försöken har utförts på ostörda lerprover i geotekniskt laboratorium.
- Berggrundskartering och strukturgeologisk kartering längs tunnelsträckan.
- Grundvattennivåmätningar i fungerande grundvattenrör, 1 gång/månad sedan 2017-04-21.
- Inmätning av grundvattenrörens röröverkant med mätnoggrannhet på 2 cm

Figur 7 visar en översikt över utförd kolvprovtagning samt grundvattenrör och porttrycksrör som mäts inom mätprogrammet för Mässtunneln. I Bilaga G2 redovisas detaljerade kartor och en sammanställning av data för installerade och inventerade rör samt diagram över uppmätta grundvattennivåer. I kapitel 11 beskrivs rådande grundvattenförhållanden.



Figur 7 Översikt över utförd kolvprovtagning samt grundvattenrör och portrycksmätare som mäts inom mätprogrammet för Mässlundstunneln.

7.3 Pågående geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten

Inom detaljprojektering och tillståndsansökan för byggandet av Mässtunneln pågår projektering av infiltrationsanläggningar i de områden där det bedöms finnas behov av förberedelse för skyddsinfiltration. Infiltrationsförsök har hittills utförts i 2" grundvattenrör i undre magasin med efterföljande utvärdering av infiltrationskapacitet (flöde) och effekt av infiltration (grundvattentryckhöjning). Syftet med testerna är att hitta lämpliga platser för infiltrationsanläggningar. Fler tester kommer att utföras under 2019 och resultaten kommer att redovisas i en separat rapport.

8. Tunnelns grundvattenpåverkan

8.1 Inläckage

I beräkningsbilagan bilaga G6 redovisas beräkningar av inläckage till tunneln och beräkningar av influensområdet där bl.a. berggrundens och jordlagrens uppskattade vattenförande förmåga, grundvattnets trycknivåer ovan tunneln och grundvattenbildning ingår som underlag.

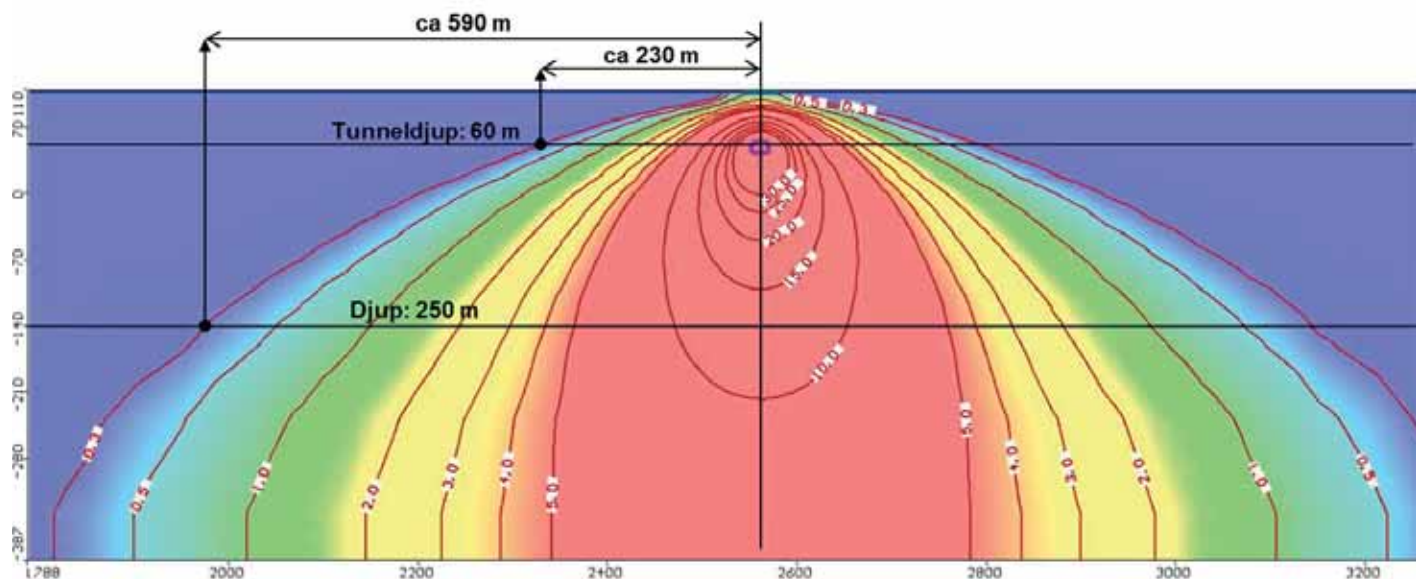
Vid beräkning av inläckage i tunneln har både analytisk modell och numeriska modeller använts. Inläckage till vertikalschakter har beräknats med numerisk metod. Beräknat inläckage till anläggningen visas i tabell 1. Inläckaget i huvudtunneln är som störst där tunneln beräknas passera svaghetszoner, vilka är relativt jämt fördelat längs hela tunnellinjen. Beräknat specifikt inläckage till huvudtunneln varierar mellan 3,5 L/min/100 m och 31,5 L/min/100 m.

Tabell 1 Beräknat inläckage i anläggningen.

Anläggningsdel	Tunnellängd (m)	Inläckage (l/min)	Specifikt inläckage (l/min/100 m tunnel)
Huvudtunnel + nischer	4 275	301	7,0
Arbetstunnel	760	44	5,8
Schakter	-	9	-
Hela anläggningen	5 035	353	7,0

8.2 Generell grundvattenpåverkan i berg

Grundvattentrycknivåerna runt en tunnel varierar beroende på vilket djup som trycket mäts på samt avståndet från tunneln. Figur 8 nedan visar hur trycksänkningen i berg principiellt ser ut runt en ca 60 meter djup tunnel.



Figur 8 Exempel på beräknad avsänkning av trycknivåer runt en tunnel med dränerande nivå på ca 60 meters djup. Här ses att trycksänkningen på 250 meters djup når mycket längre ut än på tunneldjup och att trycksänkningen i ytligt berg har liten utbredning.

En sänkning av grundvattentrycknivån i berg kan påverka befintliga anläggningar i berget, så som t ex bergborrade energibrunnar eller bergrum av olika slag. Det kan också påverka grundvattennivåerna i det ovanliggande jordlagret, som antingen är ett undre slutet grundvattenmagasin eller ett öppet grundvattenmagasin. De anläggningar som har identifierats som känsliga för en grundvattentrycksänkning i berg inom influensområdet är energibrunnar.

En sänkning av grundvattentrycknivån i berg kan leda till avsänkning av vattennivån inne i en energibrunn. Om vattennivån i energibrunnen sänks av kan det leda till ett minskat möjligt energiuttag ur energibrunnen. Värmeöverföringen i en energibrunn går från bergmassan till kollektorslangen i brunnen via vattnet. En sänkning av vattennivån i bergvärmebrunnen innebär därför en försämrade värmeöverföring från berggrund till kollektorslang då luft leder värme sämre än vatten. Berget är heterogent och det är inte möjligt att i detalj förutsäga vilken avsänkning som kan uppkomma kring en brunn. En bergborrade brunn är i praktiken endast ett i bergmassan öppet borrhål där det sker en vattenströmning genom borrhålet från sprickor med högre tryck mot sprickor med lägre tryck. En trycksänkning i berget kring en djupare del av ett borrhål leder vanligen till att vattenströmningen genom borrhålet förändras, medan vattennivån inne i borrhålet kan kvarstå oförändrad. Detta då vattennivån oftast korresponderar med trycknivån i ytligare (generellt mer vattengenomsläppligt) berg. Inom tunnelns influensområde för grundvatten i berg finns ca 440 energibrunnar.

8.3 Generell grundvattenpåverkan i jord

När grundvattnets trycknivå sjunker i berg kan det leda till att även grundvattennivåerna i det ovanliggande jordlagret, som antingen är ett undre slutet grundvattenmagasin eller ett öppet grundvattenmagasin, sjunker. En byggnad, ledning, väg eller annan anläggning som är grundlagt på lera eller på träpålar kan påverkas om grundvattennivån förändras. Påverkan på grundläggning kan i huvudsak ske på två sätt:

- Om grundvattennivån sjunker i det undre grundvattenmagasinet kan det medföra att ovanliggande sättningsskänsliga jordar såsom lera konsolideras och sättningar uppstår. Vid en marksättning finns risk för lägesrubbingar av ledningar, även komponenter som brunnar, kammare, ventiler etc. kan rubbas ur sitt läge och orsaka funktionsfel.
- En avsänkning i ett övre magasin kan medföra skador på grundvattenberoende grundläggning, exempelvis är trägrundläggning känsligt för luftens syre. Om grundvattensänkningen innebär att tidigare vattenövertäckt trägrundläggning som träpålar och rustbäddar (korsvis anordnade lager av virke som underlag för murverk) hamnar ovanför grundvattenytan medför det att dessa utsätts för luftens syre med följd att trä bryts ner snabbare och sättningar kan uppstå.

Alla byggnader, ledningar, vägar eller annan anläggning som finns inom lerområden påverkas inte av grundvattennivåssänkningar. Anledningen till detta är att det för flera objekt finns en grundläggning som inte är grundvattenberoende. I vissa fall saknas grundläggningsuppgifter och dessa objekt tas då med i sammanställningen över skyddsobjekt av försiktighetsskäl. Byggnader med en grundläggning som inte är grundvattenberoende kan ha anslutande servisledningar som är grundvattenberoende. Vidare kan lerjord vara fast och därmed inte sättningssbenägen. Om grundvattennivån ligger under lerans underkant är leran redan konsoliderad och ytterligare nivåssänkning påverkar inte lerlagret.

Sättningsförloppet är inte reversibelt, om sättningar uppstår så kommer dessa att bestå. Sättningsförloppen är dock en process som pågår under lång tid, upp till 100 år, med ett hastigare förlopp i början som sedan avklingar.

Naturområden kan också vara grundvattenberoende. Dock utnyttjar träd och markvegetation främst markvatten. Markvattenhalten är ett mått på markens fuktighet från markytan ner till grundvattnet. Då växterna utnyttjar markvattnet inverkar de även på grundvattenbildningen och avrinningen till vattendrag. Under perioder då marken är torr (oftast under sommarmånaderna) sugs nästan all nederbörd upp och väldigt lite markvatten bildar grundvatten eller avrinning. Växter med rötter som når djupare ner i jordprofilen, i områden där grundvattenytan ligger så pass ytligt att rötterna kan nå kapillärt stigande vatten (kapillärvattenzonen), kan påverkas av en avsänkning av grundvattenytans läge. Om avsänkningen sker hastigt och i kombination med en torrperiod kan växtligheten bli extra känslig. Fleråriga växter anpassar sig vanligen till nya förhållanden inom någon eller några växtsäsonger.

Negativa effekter kan uppkomma om inläckande grundvatten för med sig föroreningar som finns i marken. Vidare finns det risk för att ändrade grundvattenförhållanden kring tunneln påverkar eller mobiliserar föroreningar som står i kontakt med grundvattnet.

8.4 Mässtunnelns påverkan på grundvattennivåer

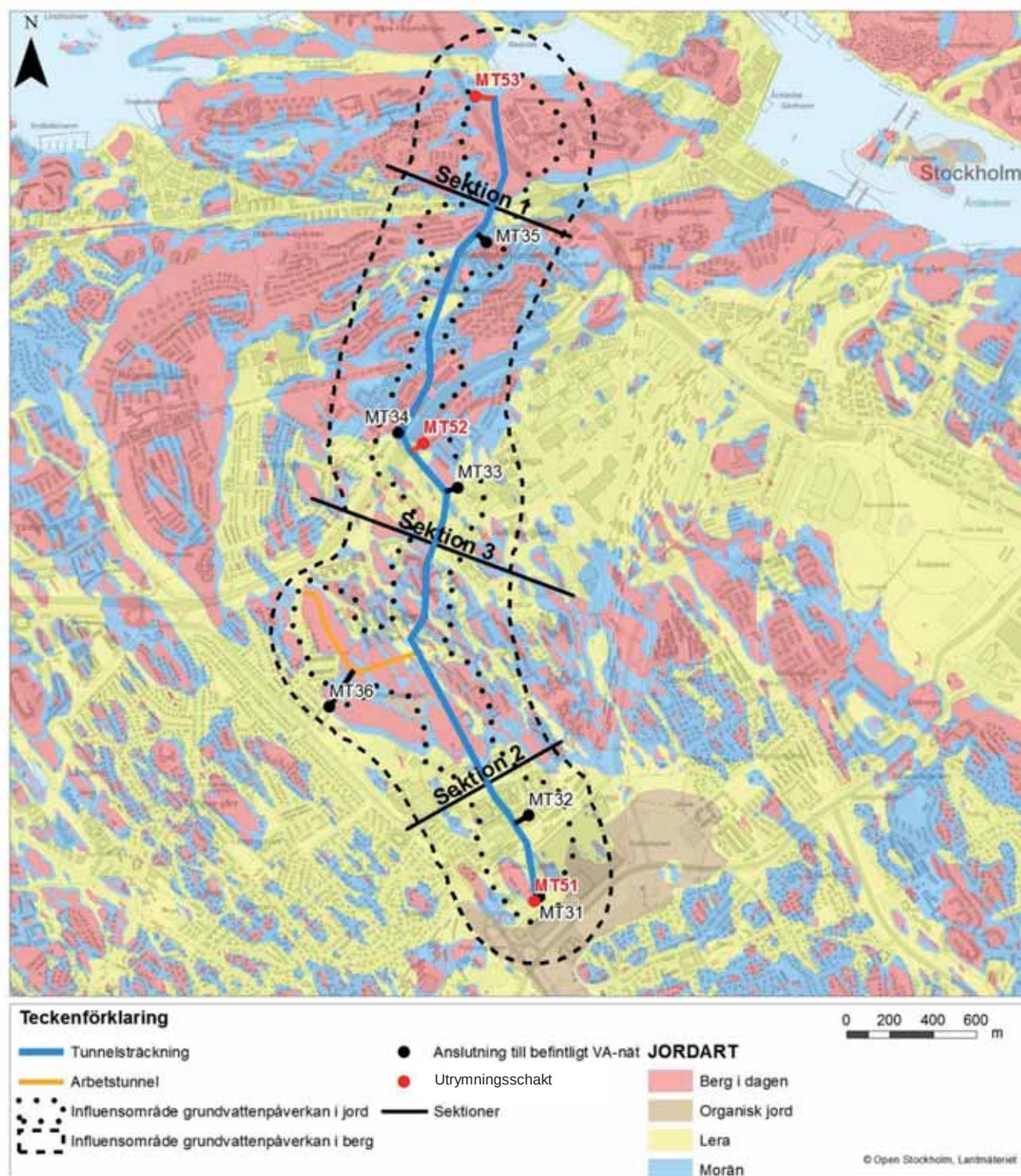
8.4.1 Initiell påverkan

Influensområde för grundvatten i jord och berg avgränsar det område där förutsebar praktisk påverkan på grundvattennivåer kan uppkomma. Dessa områden avser den initiella nivåpåverkan som kan uppkomma som följd av grundvatteninläckage till tunneln.

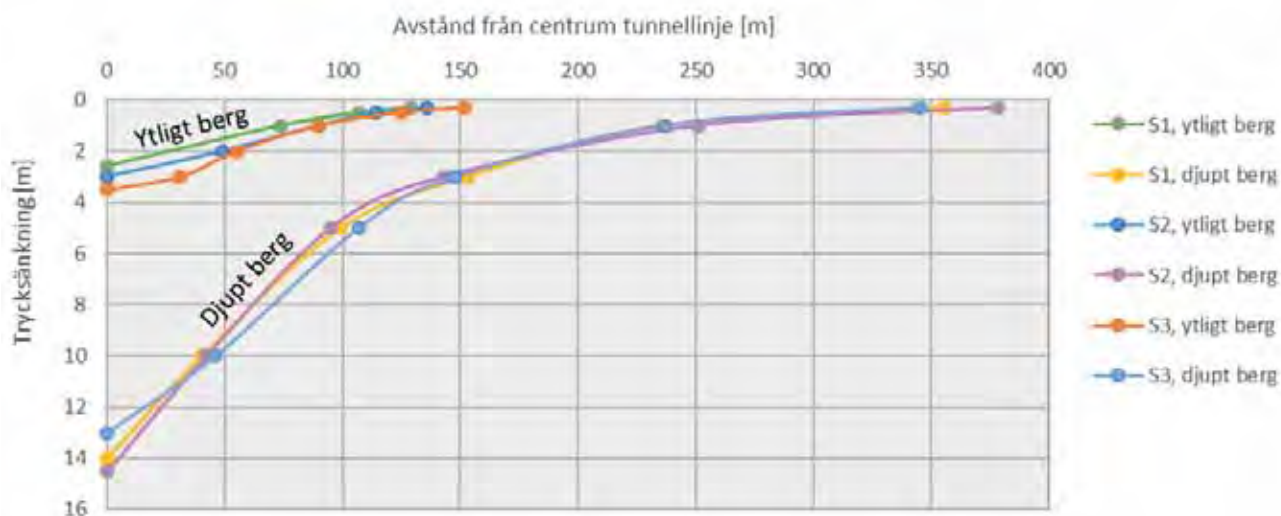
Med tiden kommer tunneln naturligt bli tätare efterhand som så kallat *skin* utbildas. Med *skin* avses en process där den vattenförande förmågan i bergets sprickor i omedelbar anslutning till tunneln successivt avtar till följd av spänningsomvandlingar i berget (snabb process), utfällningar och förflyttning av sprickmineral i bergsprickor (långsam process) samt (ibland) även omättat flöde i bergsprickor nära tunnelvägg. Hur grundvattenpåverkan kan förutses utbildas i tiden med avseende på skineffekt beskrivs närmare i kapitel 8.4.2. Det som bör belysas i sammanhanget byggskede, driftskede, är att inläckaget inte kommer att vara större under driftskede än under byggskede.

Influensområden för grundvatten i jord och berg framgår översiktligt av kartbild i figur 9 (se även mer detaljerat i figur 6). I figuren ses även tre tvärsektioner tvärs tunneln. För dessa typiska sektioner redovisas i figur 10 hur grundvattensänkningsbredden kan förutses breda ut sig i djupt respektive ytligt berg.

Den förutsebara trycksänkningen i ytligt berg utgör grund för predikterat influensområde i jord. Detta är ett konservativt antagande som förutsätter att den hydrauliska kontakten mellan berg och jord är god. Mer sannolikt finns det ett visst flödesmotstånd varvid trycksänkkningsutbredningen i jord blir mindre.



Figur 9 Influensområden för grundvatten i jord och berg jämte markering av tvärsnitt för illustration av grundvattensänkning.



Figur 10 Illustration av tre sektioner tvärs Mässtunneln där beräknad grundvattentrycksänkning plottas öster om tunnellen för ytligt respektive djupt berg. Plottning av trycksänkning avser öster om tunnellen. "S1" betecknar Sektion 1 enligt figur 9.

8.4.2 Långsiktig påverkan

Som nämns i kapitel 8.4.1 kommer Mässtunneln med tiden att bli tätare än vad den nybrutna tunneln är till följd av utbildad *skin*. Detta är ett välkänt fenomen även om processerna i detalj är mindre väl undersökta. Det finns ett fåtal studier av skineffektens utbildande kring anläggningar i berg.

För tunnlar i berg uttrycks skineffekten beräkningsmässigt som en skinfaktor (ξ) i den analytiska beräkningsmodellen för inläckage till en tunnel. Ju större skinfaktor desto tätare tunnel och desto mindre inläckage. Svensk Kärnbränselhantering AB har vid undersökningar vid Äspö Hard Rock Laboratory bestämt skinfaktorn till mellan 3-7 [1]. Vid andra förhållanden än de som råder vid Äspö skall andra värden på skinfaktor kunna erhållas. Om man för Mässtunneln gör beräkning av inläckage (analytisk modell) med skinfaktor 5 istället för 0, minskar inläckaget till strax under 40%, vilket innebär att inläckaget mer än halveras.

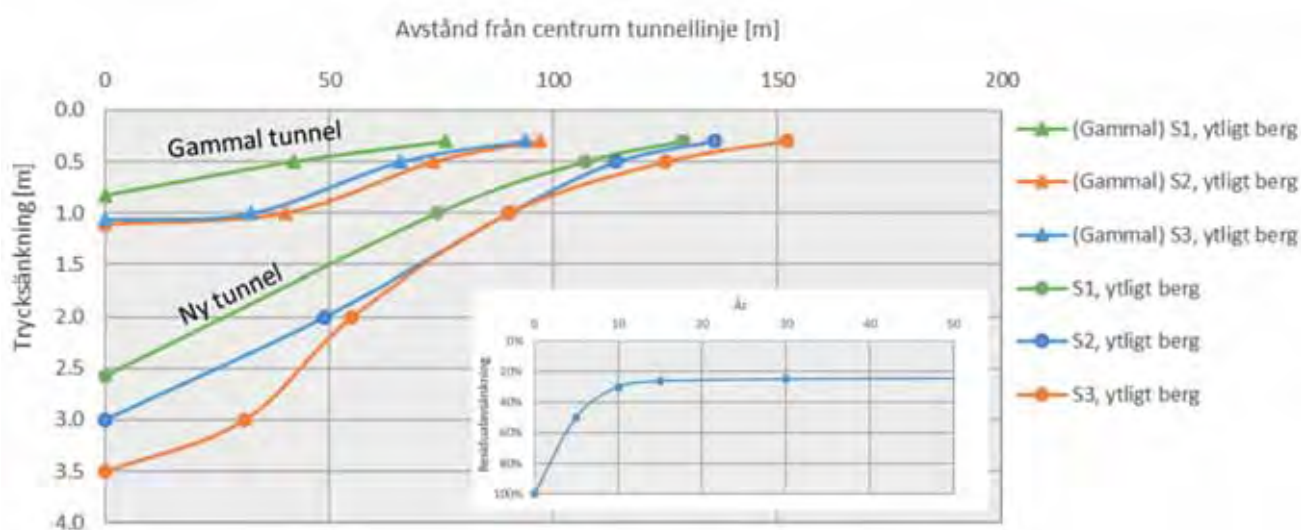
Erfarenheter från den 8 mil långa Bolmentunneln¹ visar på en kraftig minskning i grundvatteninläckage och omgivningspåverkan. Här kan det visas att den kvarstående grundvattensänkning (residualavsänkningen) efter ca 10-15 års normaldrift med 90% sannolikhet understiger 30% av den initiala påverkan som kunde spåras vid tid för byggnationen. Samtidigt har grundvatteninläckaget till tunneln minskat till mindre än hälften av det initiala [2].

Om man överför ovanstående erfarenheter till Mässtunneln kan man enligt figur 11 illustrera hur trycksänkningen i ytligt berg kan förändras som följd av naturlig tätning av tunneln. Man kan inte i detalj på förhand veta hur skineffekten kommer att utbildas för Mässtunneln, men det är likväl relevant att ha kännedom om att de prediktioner om inläckage och

¹ Råvattentunnel mellan Skeen i Småland och Äktaboden i Skåne som sprängdes ut mellan åren 1975-1985.

grundvattensänkning som görs för en nybruten tunnel kommer att minska med tiden, särskilt om man beaktar frågeställningar som bygger på långa tidrymder så som sättningsberäkningar. Dessa beräkningar görs med antagande om att den förutsebara grundvattensänkningen kommer att vara konstant i tiden, vilket är en konservativ hållning. Det kan även vara värt att ta skinfaktorn i beaktande för de fall där skyddsförebyggande åtgärder i form av infiltration övervägs. Det kan mycket väl vara så att skyddsinfiltration under byggskedet kan visa sig vara tillfyllest, möjligen med fortsatt drift under några år efter färdigställande av tunneln, men med en successivt tätare tunnel så minskar infiltrationsbehovet med tiden.

Då hänsyn måste tas till det maximala inläckaget (nybruten tunnel), tillika maximal grundvattenpåverkan, antas skinfaktorn till noll vid prediktion av grundvatteninläckage och påverkan på grundvattenförhållanden. Det är bara vid vissa övervägande om långsiktiga effekter som skinfaktorn kan vägas in, t ex när det gäller typval av eventuella skyddsåtgärder. Om exempelvis skyddsinfiltration kan behöva pågå under en begränsad tidsrymd kan det vara ett alternativ framför betonglining.



Figur 11 Beräkning av grundvattentrycksänkning i ytligt berg kring en nybruten tunnel respektive en gammal tunnel med utvecklat skin. Samma sektioner (S1-S3) används som i Figur 10. Infällt till höger illustreras utvecklingen av skineffekten i tiden efter erfarenhet från Bolmentunneln.

8.5 Påverkan från öppna schakt

Schakter under byggskede kommer att utföras inom tätspont. Målet är att få tätsponten helt tät men det kommer troligtvis ske ett visst inläckage. Inläckaget kommer att bli begränsat i tid eftersom schakterna endast står öppna under några månader. Inläckaget blir också begränsat i utbredning till ett litet område runt schakterna och i den storleksordningen att omgivningspåverkan bedöms bli liten.

Under byggskedet kan påverkan på naturmiljön uppstå i samband med anläggande av tunnelpåslag, etableringsytor och schakt. Växttillgängligt vatten i övre grundvattenmagasin i direkt anslutning till dessa anläggningar kan då tillfälligt påverkas.

8.6 Påverkan på energibrunnar

Inom influensområdet för grundvatten i berg finns 440 energibrunnar. Majoriteten av energibrunnarna, ca 80 % får en försumbar påverkan på energiuttaget till följd av en grundvattenavsänkning. Resterande 20 % beräknas få en påverkan på energiuttaget av icke obetydlig omfattning. De brunnar som påverkas är de som ligger närmast tunnellen.

9. Förebyggande skyddsåtgärder

Det finns ett flertal skyddsåtgärder som kan användas för att minska den påverkan på grundvattennivåer som anläggningen kan innebära samt åtgärder för att minska konsekvenserna av denna påverkan. De förebyggande skyddsåtgärder som är aktuella för Mässtunneln beskrivs nedan i kapitel 9.1 - 9.3.

9.1 Val av tunnelsträckning

Den viktigaste skyddsåtgärden som projektet genomfört är valet av tunnelsträckning. Även om vissa tekniska förutsättningar är givna avseende tunnelns läge i plan och profil (TB kap 2) har tunnelsträckningen valts med omsorg för att begränsa omfattningen av de konsekvenser som uppstår till följd av anläggandet av tunneln. I möjligast mån har områden med energibrunnar undvikits. Längs med planerad tunnelsträckning har det utförts geologiska undersökningar omfattande inventering av befintligt material (geologiska kartor, tidigare undersökningar etc.), kartering av berget i fält samt geotekniska sonderingar. Vid karteringen identifieras större sprickzoner och värdering utförs av bergets kvalitet. Berget längs vald tunnelsträckning bedöms generellt vara av god kvalitet, granit och gnejs, och bedöms ha låg konduktivitet.

Inventering av markförhållanden ovan tunneln har utförts. Inventeringen omfattar jordarnas egenskaper, mäktighet samt rådande grundvattenförhållanden. Detta innebär att det finns tillräckligt med kunskap om de rådande hydrogeologiska förhållandena för att kunna bedöma konsekvenser av förutsebar grundvattenpåverkan.

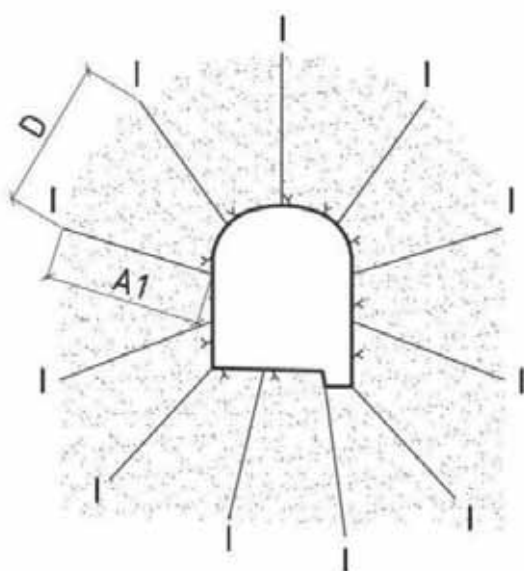
I vissa områden erhålls ingen förutsebar påverkan då lerjordarna inte är sättningskänsliga och/eller då grundvattnet redan har sjunkit så mycket att ingen ytterligare påverkan erhålls vid tillkommande grundvattensänkning.

9.2 Tätning genom injektering

Baserat på påverkan på grundvattentrycknivåer ovan tunneln fastställs villkor för vattenverksamheten som anläggandet av tunneln innebär. Acceptabelt inläckage och avsänkning kommer att variera i första hand beroende på ovanliggande mark och sättningskänslighet. Detta innebär i praktiken att områden där sättningskänslig mark, eller byggnader och anläggningar som är känsliga för en grundvattennivåsänkning finns, kommer det att ställas hårdare krav på tillåten avsänkning av grundvattentrycknivån. Detta innebär i sin tur hårdare krav på acceptabelt inläckage. I områden utan krav på begränsning av inläckage, dvs i områden där varken sättningskänslig mark eller byggnader och anläggningar som är känsliga för en grundvattennivåsänkning finns, kommer det att tillämpas ett minimikrav på inläckage för att långsiktigt begränsa inläckaget av grundvatten till tunneln samt grundvattenavsänkningen.

Under tunneldrivningen kommer berget kring tunneln att tätas genom kontinuerlig förinjektering, om nödvändigt i flera omgångar samt vid behov även med efterinjektering, se

Bilaga E Teknisk beskrivning för detaljerad beskrivning. Injekteringen innebär att en skärm av hål borrar framför tunnelfronten. I dessa borrhål pressas det sedan in en suspension av vatten och cement som trycks ut i sprickorna kring tunneln. När bruket stelnat har det bildats en tät zon, om ca 5-10 m, runt den blivande tunneln, se Figur 12.



Figur 12 Exempel på injekteringsskärm kring tunnel.

Tätningen kring tunneln kommer att utföras på olika sätt, utifrån omgivande grundvattensituation, beroende på täthetskrav, bergets geologiska egenskaper och funktionskrav. Två generella injekteringsklasser kommer att tillämpas enligt tabell 2.

Under borrhningen av sonderingshål och tidigare salvors borrhål inhämtas information om bergets egenskaper genom MWD-borrhning (Measurement While Drilling) och genom mätning av inläckage och vattenförlustmätning. Baserat på utförd undersökning, områdets sättningssänslighet, den geologiska tunnelkarteringen och bergklassificeringen av föregående salvor görs ett val av injekteringsklass.

Tabell 2 Injekteringsklasser och utförande.

Injekteringsklass	Beskrivning	Utförande
1A	Områden med bra bergkvalitet och utan ovanliggande sättningskänsliga jordlager:	Injektering med en skärm. 24-meters skärmar med 6 m överlapp. Efter utförd injektering borras kontrollhål för bedömning av bergets täthet efter injektering. Om så erfordras utförs ytterligare injektering.
1B	Områden med dålig bergkvalitet eller områden som bedöms som sättningskänsliga.	Injektering utförs med kortare skärmar, 15-meter, med 6 m överlapp. För att uppnå god tätning på berget borras flera injekteringshål och injekteringen utförs i normalt i två omgångar. Efter utförd injektering borras kontrollhål för bedömning av bergets täthet. Om så erfordras utförs ytterligare injektering.

Valet av cementbruk anpassas till bergets egenskaper. Generellt påbörjas injekteringen med ett tunt bruk som tränger in i sprickor med liten sprickvidd och som sedan tjockas på med större inblandning av cement.

Allt eftersom tunneln sprängs ut utförs kontinuerlig mätning av inläckande grundvatten. Vid behov utförs efterinjektering. Detta innebär att kompletterande hål borras för att täta vattenförande sprickor. Borrhålens läge, längd och riktning anpassas till de geologiska förhållandena och förekomsten av inläckande vatten till tunneln. Injekteringsarbetet utförs i princip på samma sätt som vid förinjektering. Injekteringen kommer att utföras med cementbaserat injekteringsbruk. I vissa lägen kan det bli nödvändigt att använda andra godkända, kemiska, injekteringsmedel för att stoppa större inläckage. Endast tätningsmedel som är granskade och godkända av Stockholm Vatten kommer att användas. Kemiska tätningsmedel ska vara polyuretanbaserade och entreprenören ska i sitt anbud ange vald produkt med produktblad. Produktvalsprincipen, vilken är grundläggande vid hantering av kemiska produkter, kommer att tillämpas. Den innebär att då det finns flera likvärdiga produkter ska de minst farliga produkterna ska användas. Vilka kriterier som gäller för att bedöma kemikaliers farlighet framgår av Reachförordningen. Entreprenörens val av kemiska tätningsmedel ska godkännas av Stockholm Vatten AB före användning.

9.3 Skyddsinfiltration

För att upprätthålla grundvattennivåerna i områden med byggnader eller konstruktioner med grundvattenberoende grundläggning (d.v.s. grundläggning helt eller delvis på lera samt grundläggning på träpålar) kan skyddsinfiltration användas, se Bilaga E Teknisk beskrivning för detaljerad beskrivning. Skyddsinfiltration är en, i Stockholmsområdet, väl beprövad metod som kan användas för att hålla uppe grundvattennivåer lokalt kring enskilda byggnaders trägrundläggning, eller för att upprätthålla grundvattennivåer inom större

områden för att undvika marksättningar. Beredskap för skyddsinfiltration kommer finnas i extra känsliga områden. I praktiken innebär det att infiltrationskapaciteten i dessa områden undersökts genom infiltrationstester i 2" grundvattenrör samt platsspecifika beräkningar. Områdena som finns i beredskap för infiltration ligger på stadens mark, förutom två områden Nybodadepån (Herbariet 3) och vid Älvsjömässan (Mässhallen 1). Infiltrationen kan göras temporärt, i samband med t ex temporära avsänkningar kring öppna schakter eller under tiden för anläggande av s.k. lining under byggtiden, eller permanent.

Permanent infiltration som skyddsåtgärd kan vara förknippad med "nackdelen" att det är besvärligt att sköta permanenta infiltrationsanläggningar med tanke på drift och underhåll samt personaltillgång. SVOA har därför stort fokus på tätning av tunneln. Skyddsinfiltration kommer att, vid behov, genomföras med kommunalt dricksvatten. I det fall infiltrationen görs permanent får också vattenåtgången, som kan vara omfattande, betraktas som en nackdel.

9.4 Tätning genom betonglining

Där tunneln inte går att få tillräckligt tät och där omgivande leror är sättningskänsliga kan en tät betonginklädnad av tunneln bli aktuell, så kallad lining. Inklädnaden gjuts mot berget och ger en helt tät tunnel. Före måste ett större tvärsnitt av tunneln sprängas ut. Beslut om lining utförs eller inte kommer att tas under tunnelns framdrift. Om berget uppfyller erforderliga krav på täthet efter injektering kommer lining inte att tillämpas.

9.5 Strategi avseende skyddsåtgärder och kontroll

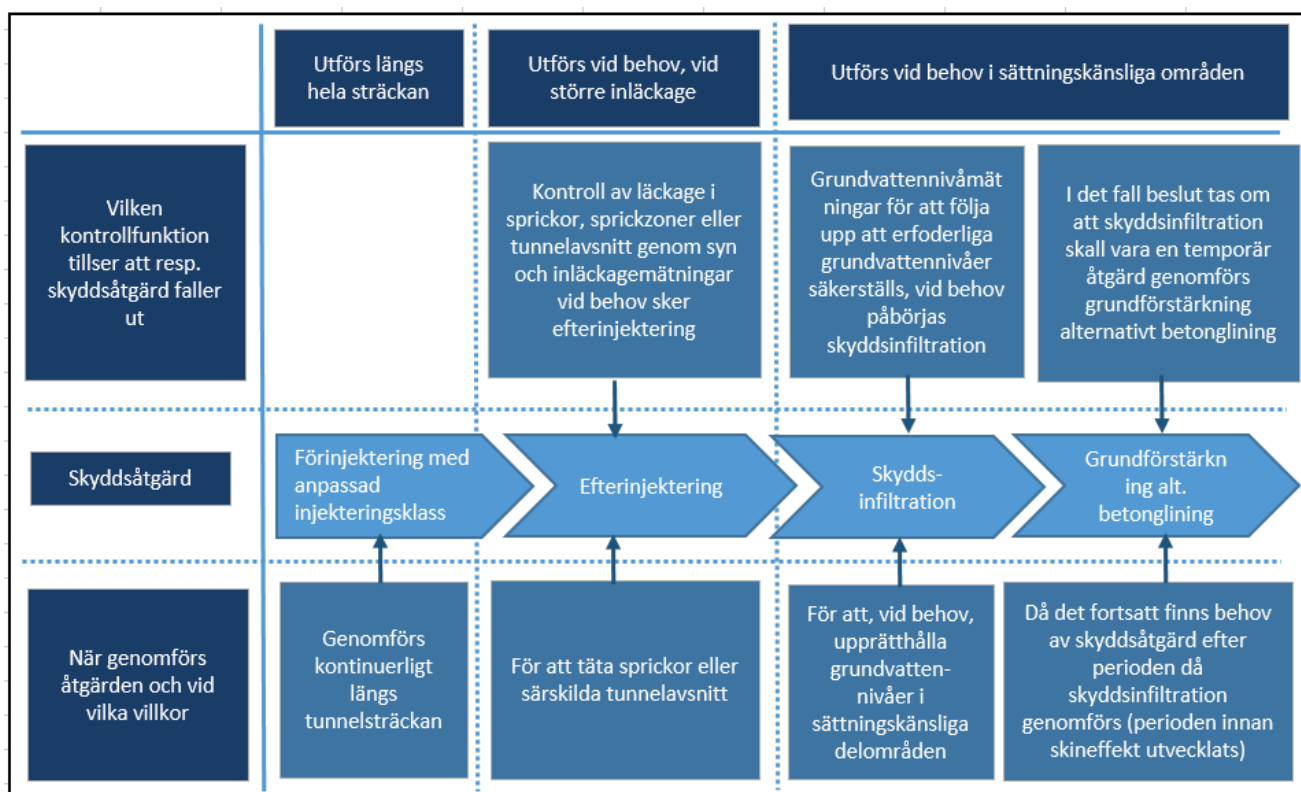
För den aktuella tunneln är det i första hand byggnader, anläggningar och större ledningar i sättningskänsliga lerområden samt energibrunnar som skulle kunna påverkas negativt av en grundvattenavsänkning.

För tunneln kommer de tekniska skyddsåtgärder som beskrivs ovan att nyttjas för att säkerställa att ingen oacceptabel grundvattennivåförändring erhålls till följd av anläggandet av tunneln, eller att grundvattenavsänkning sker utanför påverkansområdet. Dessa skyddsåtgärder är:

- Kontinuerlig förinjektering
- Efterinjektering
- Skyddsinfiltration
- Grundförstärkning
- Betonglining

Kontinuerlig mätning av inläckande grundvatten utförs under och efter utsprängning av tunneln. Inläckagemätningen blir en funktionskontroll för att verifiera att injekteringen blir tillräckligt god. Grundvattennivåmätningar sker i observationsrör sedan tidigare och kommer att kompletteras för att följa upp eventuella grundvattennivåavsänkningar. Utöver detta kommer avvägning ske av dubbar som placeras i byggnader inom särskilt

sättningskänsliga områden, detta för att följa upp eventuella pågående sättningar och ytterligare sättningar till följd av anläggandet av tunneln. Grundvattennivåmätningar i sättningskänsliga områden likväl som inläckagemätningar kommer i första hand att nyttjas som verktyg för beslut om skyddsinfiltration och eventuellt anläggande av betonglining och/eller grundförstärkning samt uppföljning av Mark- och miljödomstolens dom med villkor för verksamheten. Strategi för tillämpning av skyddsåtgärder åskådliggörs i figur 13 nedan.



Figur 13 Princip för skyddsåtgärder längs med tunnelsträckan.

10. Översiktlig områdesbeskrivning

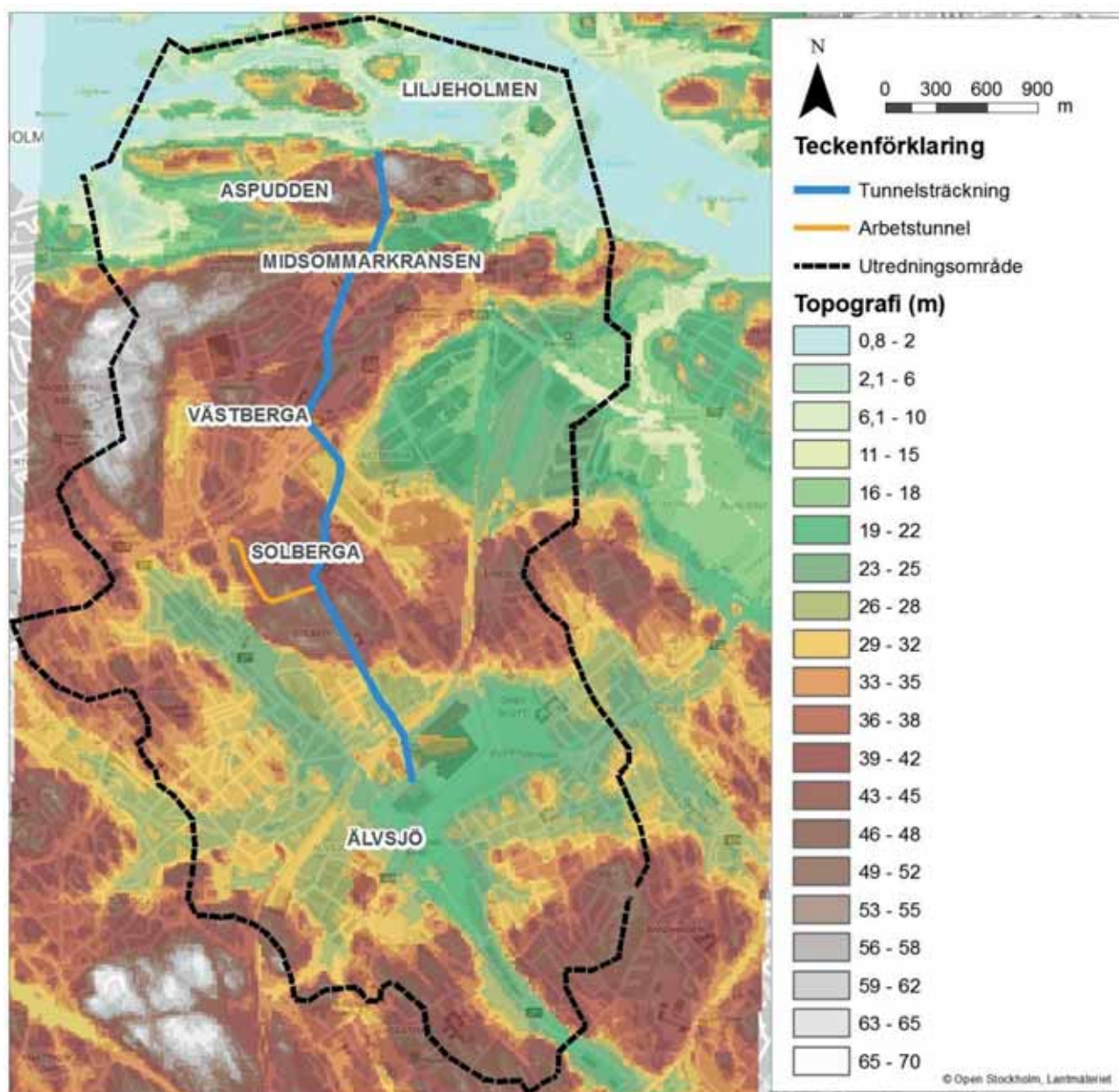
Nedan beskrivs översiktligt markanvändning, topografi, berggrund, jordlager och jorddjup samt hydrogeologiska förhållanden inom utredningsområdet. Vattenbalanser har upprättats för hydrauliskt avgränsade delområden, *Vattenbalansområden*, längs Mässtunnelns sträckning, se Bilaga G6 Beräkningar. I kapitel 11 beskrivs jordlager och jorddjup samt de hydrogeologiska förhållandena mer ingående för varje vattenbalansområde.

10.1 Markanvändning

Den norra delen av utredningsområdet, områdena vid sjön Trekanten, Aspudden och Midsommarkransen, består till stor del av bostadsområden med flervåningshus och villaområden samt naturmark, se figur 4, kapitel 5. Söder om dessa områden mellan Västberga och Östberga finns ett industriområde med stor andel hårdgjorda ytor och få grönområden. Längre söderut vid Solberga där arbetstunneln ansluter till huvudtunneln finns ett större naturområde, Solbergaskogen. Väster om Solbergaskogen finns ett större villaområde med en del grönytor som parker och lekpark. Söder om Solbergaskogen ligger ett mer tätbebyggt område med Älvsjömässan, stambanan och flervåningshus. Sydöst om Älvsjöområdet ligger ytterligare ett stort villaområde Örby, med mindre skogsområden och grönytor.

10.2 Topografi

Topografin inom utredningsområdet varierar mellan +1 och + 65 m se figur 14. Västberga industriområde ligger inom ett lågparti ca +17 m, liksom området runt Mässhallarna. I norr ligger sjön Trekanten med en vattennivå på ca +1 m, samt omgivande mark som varierar mellan +1 och + 8 m. Flera höjdparter finns i området, bl.a. Solbergaskogen på + 55 m, och enligt byggnadsgeologiska kartan utgör dessa berg i dagen. I området runt Älvsjömässan finns enstaka mindre områden med berghällar.



Figur 14 Topografi i området.

10.3 Naturvärden

Inga skyddade naturområden, biotopskyddsområden, strandskyddsområden eller andra områden som skyddas enligt 7 kap miljöbalken berörs av planerad verksamhet. Två sammanhängande grönområden finns dock, ett vid sjön Trekanten i norra samt Solbergaskogen i väst, norr om Älvsjövägen. Sjön Trekanten och naturområdena däromkring är ett populärt område för motion, bad och fiske.

Solbergaskogen klassas av Skogsstyrelsen som nyckelbiotop och består både av områden med lövskog och med blandskog samt ett kärr. Skogen har ett rikt djurliv och är en viktig plats för framförallt grodor och fåglar. Området är populärt för rekreation och här finns bland annat en två kilometer lång kulturstig.

Ett platsbesök vid kärret i Solbergaskogen genomfördes i januari 2018. Vid besöket konstaterades att kärret är lokaliserat i en mindre svacka i högt belägen terräng med ytliga jordlager. På flera ställen förekommer berg i dagen i nära anslutning till kärret. Inga observationsrör för grundvatten förekommer i direkt anslutning till kärret, men baserat på topografin och geologin bedöms inga sammanhängande grundvattenmagasin i jord förekomma i området. Grundvattennivån i berg bedöms ligga ett flertal meter under markytan på grund av den höga höjden. Kärret bedöms ha bildats av avrinnande ytvatten från berget som ansamlats i en lokal svacka. Att kärret skulle ha kontakt med berggrundvattnet bedöms som osannolikt. Vattennivån i kärret regleras genom ett utlopp i dess sydvästra del.

Föreslagna påslagslägen till arbetstunneln i Solberga utgörs av ett lövträdsområde med inslag av barrträd. Området bedöms ha en viss betydelse som en del av ett spridningssamband mellan övriga lövskogs- och ädelskogsområden i området, liksom som kantzon där kantzonseffekten innebär ett skydd mellan mer exploaterade områden och bakomliggande naturområden. I området utgörs bakomliggande naturområde, Solbergaskogen, av ett större spridningssamband som har en viktig funktion som kärnområde.

Planerat utrymningsschakt vid Blommenbergsskolan vid Liljeholmen går genom ett område som utpekats av Länsstyrelsen som skyddsvärd trädmiljö. Två ekar med omkrets som överstiger tre respektive tre och en halv meter har identifierats i närheten av schaktet. En kartläggning av ekarnas rotsystem har utförts under hösten 2017 och visar att ekarnas rotutbredning sträcker sig minst 4 meter från trädstammen.

10.4 Föroreningar

I förorenade markområden kan förändrade flöden och grundvattennivåer innebära att rörligheten hos föroreningarna ökar. Grundvatten som läcker in i tunneln kan föra med sig föroreningar som finns i marken. Enligt MIFO-registret (Metodik för inventering av förorenade områden) finns 27 registrerade MIFO-områden inom influensområdet för grundvattenpåverkan i jord, se Figur 15. MIFO delas in i fyra riskklasser:

Klass 1: Mycket stor risk för människors hälsa och miljö

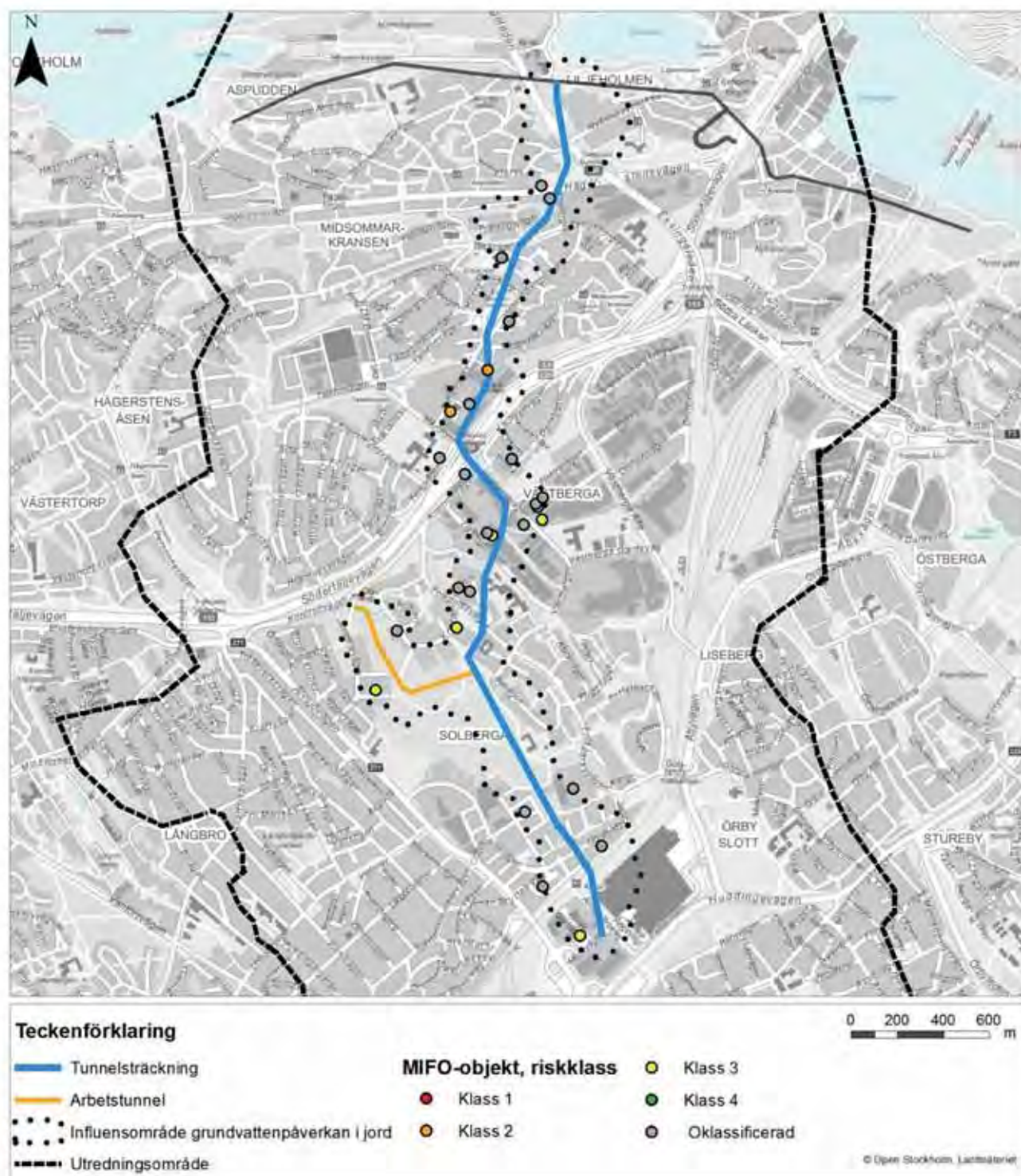
Klass 2: Stor risk

Klass 3: Måttlig risk

Klass 4: Liten risk.

Två områden har tilldelats riskklass 2, fem har tilldelats riskklass 3 och resterande områden är oklassificerade. De områden som har riskklass 2 utgörs av en verksamhet för ytbehandling av metaller belägen rakt ovan tunnelsträckningen samt en verkstadsindustri som hanterat halogenerade lösningsmedel, belägen cirka 70 meter från tunnelsträckningen.

Under våren 2017 har miljöprovtagning utförts av WSP inom områden för planerade schakter och etableringsområden. Prover har uttagits i totalt 25 punkter. Föroreningssituationen i de undersökta områdena bedöms som liten till måttlig och därav liten risk för människa eller miljö. För utförligare beskrivning se bilaga F till miljökonsekvensbeskrivning till ansökan.



Figur 15 MISO-objekt inom influensområde för jordgrundvatten.

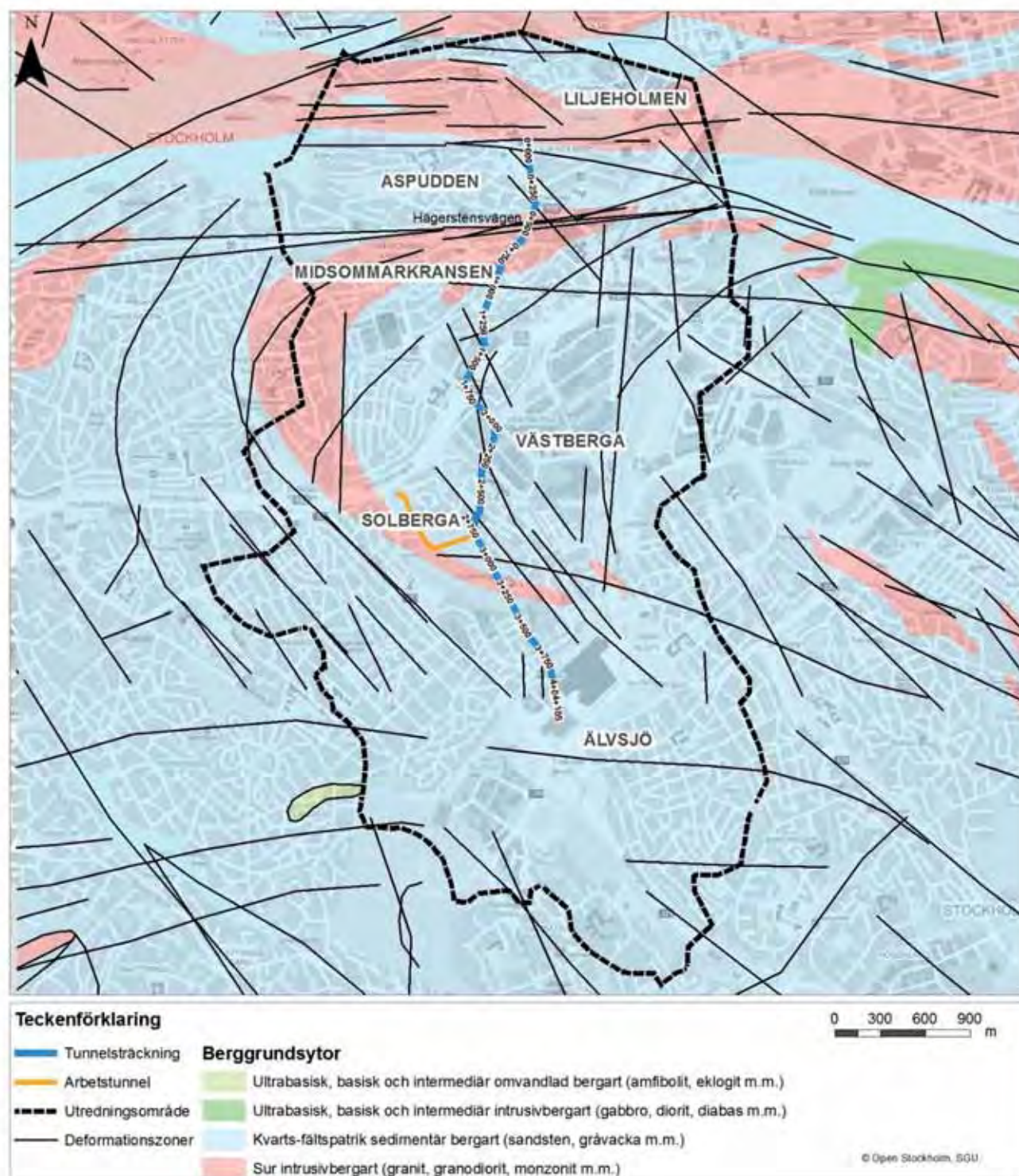
10.5 Berggrund

Berggrunden består till större delen av kvarts-fältspatrik sedimentär bergart (sandsten, gråvacka m.m.; SGU berggrundskarta). Generellt är området dominerat av sedimentådergnejs, gnejsiga graniter samt granitoider.

Berggrunden längs tunnelsträckan domineras av metasediment (metagråvacka), se figur 16. Metasediment är ett samlingsnamn för sedimentära bergarter som blivit utsatta för högt tryck och hög temperatur (dvs starkt omvandlade sedimentära bergarter). Typiska metasediment för Stockholmstrakten är metagråvacka (gnejs) och glimmerskiffer. Dessa är generellt ådergnejsomvandlade och bitvis migmatiserade, dvs återuppsmälta pga. höga temperaturer och högt tryck.

Granit/granodiorit förekommer i en del av området. Detta är bergarter med magmatiskt ursprung. Vanligt förekommande är att de är grå, ögonförande och fin- till medelkorniga. Andra bergarter som kan förekomma i detta område är metabasit (grönsten), yngre graniter/apliter samt diabas. Metabasit är en basisk magmatisk bergart som undergått metamorfos (t ex gabbro och diorit).

De yngre graniterna består av stockholmsgraniten, apliter och pegmatiter. Stockholmsgraniten är vanligen fin-medelkornig, grå och massformig. Apliteren och pegmatiten förekommer främst som gångbergart. Aplit är finkorniga, grå-vit-rödaktiga och ljusa då de innehåller väldigt små mängder mörka mineral. Pegmatiten har samma färgsättning men är betydligt grovkornigare (medelgrov). Diabas förekommer sporadiskt som gångar och/eller svärmar i vissa områden. Diabas är en hård magmatisk gångbergart, ofta svart-gråsvart och finkornig. Strykningsriktningen är i huvudsak NNO-ONO men det förekommer även riktningar mot N och NNO.



Figur 16 Berggrund och deformationszoner inom området, källa SGU.

10.5.1 Svaghetszoner

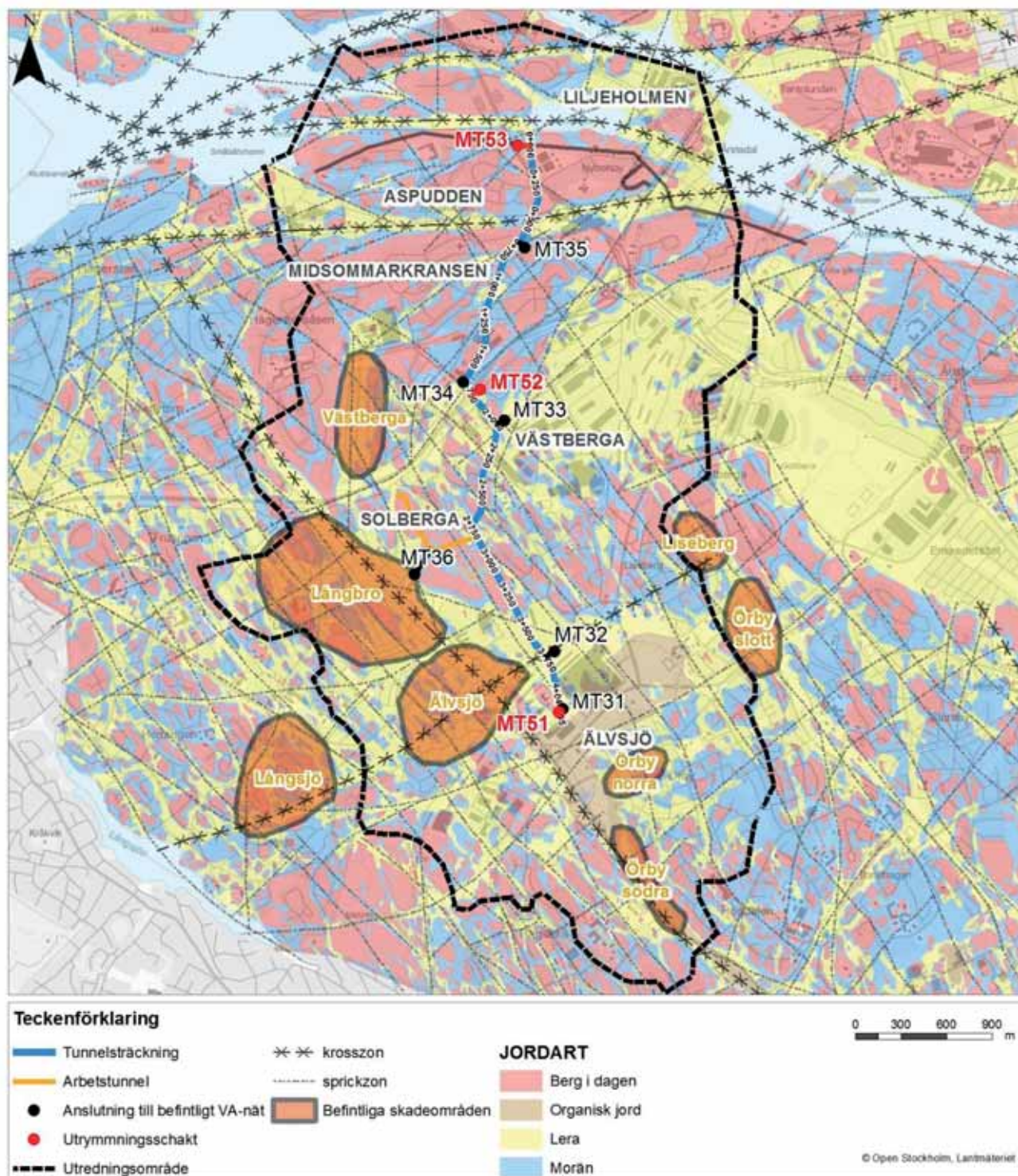
Stockholmsområdet genomkorsas av större morfologiskt framträdande linjer i terrängen, (s.k. lineament). Dessa lineament är indikatorer på tektoniska zoner, s.k. svaghetszoner i berggrunden, vilka främst påträffas i svackor i terrängen. En deformationszon är en

svaghetszon utefter vilken berggrunden på ömse sidor av zonen har rört sig i förhållande till varandra. Ett flertal förmodade deformationszoner förekommer inom området, främst i nordväst-sydöstlig och nordost-sydvästlig riktning, se figur 18. Längs sträckan för planerad tunnel bedöms svaghetszonernas bredd inte överstiga 20 meter [ref 3].

Enligt SGU:s berggrundskarta, se figur 16 är den största svaghetszonen som korsar tunneln, en deformationszon som sträcker sig längs Hägerstensvägen vid LM 0+500. Denna zon finns även presenterad på byggnadsgeologiska kartan, som en krosszon, se figur 17. Enligt den byggnadsgeologiska kartan finns ytterligare en krosszon som korsar tunnellen längs Götalandsvägen vid Älvsjö vid LM 3+700, se figur 17. Uttagskapaciteten i berg inom området (enligt SGU) är under 600 l/h, d.v.s. den lägre uttagskapaciteten för kristallint berg. Detta tyder på att det homogena berget kring svaghetszonerna är relativt tätt.

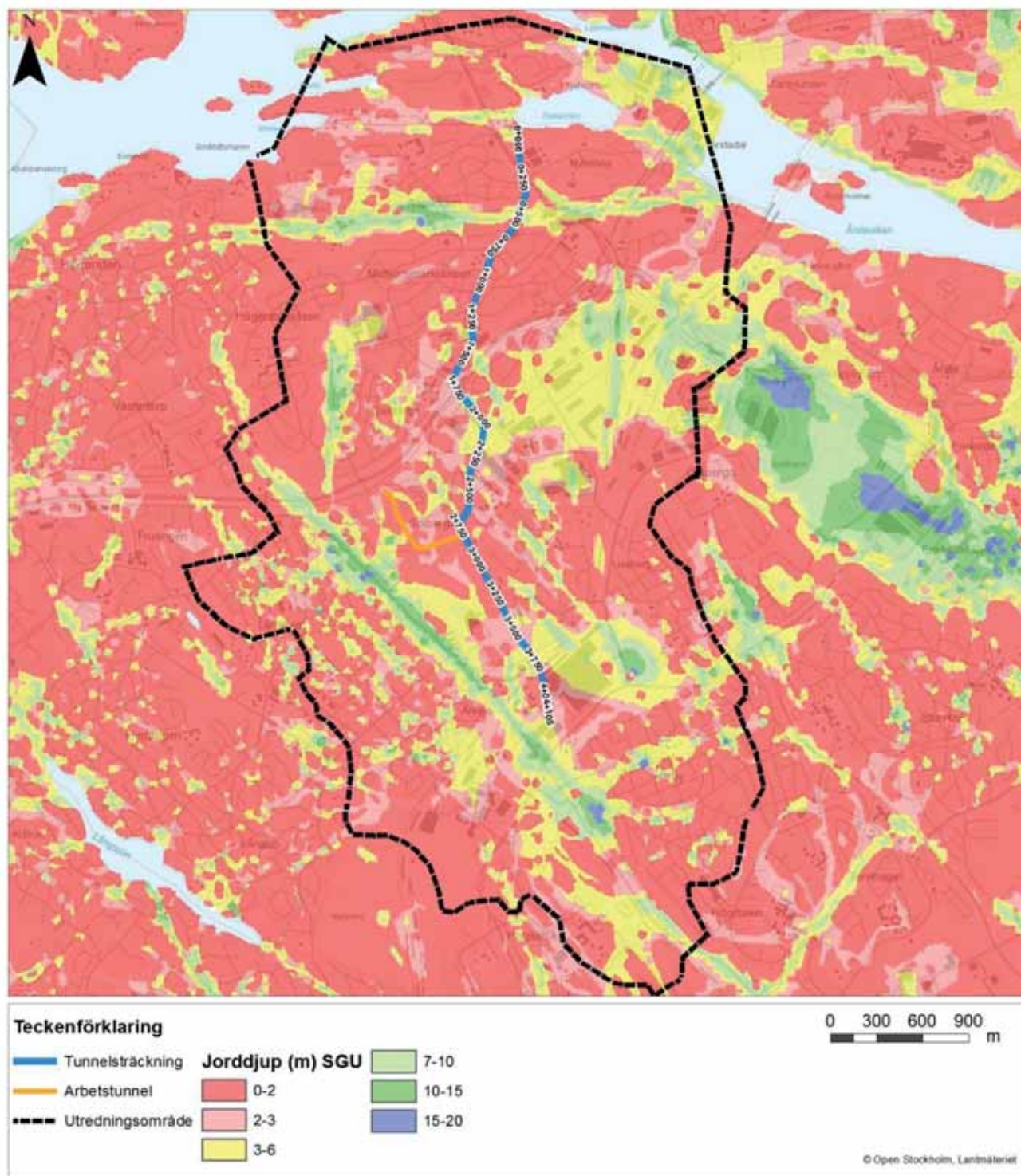
10.6 Jordlager och jorddjup

I figur 17 samt i bilaga G2 redovisas geologin enligt byggnadsgeologiska kartan inom utredningsområdet jämte arbetstunnel, utrymningsschakt anslutningspunkter och tidigare identifierade skadeområden. Grundvattenmagasinen i Västberga och Långbro är sedan tidigare identifierade som skadeområden, där mark- och hussättningar inträffat.



Figur 17 Byggnadsgeologiska kartan, tunnelsträckning med anläggningsdelar och tidigare identifierade befintliga skadeområden.

Marken utmed aktuell tunnelsträckning utgörs till stor del av fastmarkspartier med morän och ytnära berg, men även partier med mäktiga lerlager förekommer, främst i Mässlundens mellersta del (Västberga) och södra del (Älvsjö), se figur 17. Figur 18 visar SGUs jorddjupskarta över området.



Figur 18 Jorddjupskarta utredningsområde och tunnelsträckning.

Röda och rosa fält är områden med jorddjup på 0-3 meter och där jordlagren sannolikt är torra hela eller merparten av året. Gula fält är områden med jorddjup på 3-6 meter. I dessa områden kan det finnas ett magasin i jord av mer varaktig karaktär, dock med liten vattenförande mäktighet. Här finns det eventuellt även utrymme för ett undre magasin inom lerområden. Om så är fallet är sådana eventuella magasin mer sannolikt punkterade av

byggande i den urbana miljön och att betrakta som läckande magasin. Ljusgröna och mörkgröna fält är områden med jorddjup på 7-15 meter vilket är jordmäktigheter som sannolikt ger utrymme för förekomst av en indelning i övre magasin samt undre slutet magasin inom lerområden. Blå fält är stora jorddjup på 15-20 meter vilket inte förekommer inom influensområdet och även mycket sparsamt inom utredningsområdet. Figur 18 är en översiktlig beskrivning av jorddjupet i hela utredningsområdet. Inom influensområde för grundvattenpåverkan i jord har en mer detaljerad kartläggning av jorddjupet och jordlagerföljden gjorts genom omfattande fältundersökningar och sättningsberäkningar, se kapitel 11.

10.6.1 Geotekniska förhållanden

Anläggande av Mässtunneln kommer resultera i en påverkan på grundvattennivåerna längs med tunnelsträckningen. Om det undre grundvattenmagasinet sänks av kan det medföra en tryckminskning i förekommande ovanliggande lera. När portrycket i lera sjunker minskar dess volym och risk för marksättningar finns, vilket kan medföra skador på byggnader och infrastruktur. I bilaga G5 PM Sättningar behandlas beräkningar av sättningar som kan orsakas av grundvattensänkningar inom influensområdet. Huvudsyftet med sättningsberäkningarna är att uppskatta sättningarnas storlek samt att utgöra underlag för att beskriva och bedöma hur lerområden kan komma att påverkas av en grundvattensänkning till följd av planerad grundvattenbortledning i Mässtunneln.

Marksättningar är tidsberoende och även små sättningar kan pågå under lång tid, upp till 100 år. Sättningsens storlek och tidsberoende varierar med såväl jordens egenskaper, såsom förekomst av sand- och siltskikt, lerans mäktighet och grundvattensänkningens storlek och varaktighet. Generellt är lerans sättningsbenägenhet mindre vid randzonerna och ökar mot de delarna av lerfyllda svackor där lermäktigheterna är större.

Inför beräkningarna har jordens egenskaper utvärderats och sammanställts från fält- och laboratorieförsök för respektive undersökningspunkt. Beräkningar har utförts för olika mäktigheter på lerlagret och jordens egenskaper har antagits variera med lerdjupet utifrån resultat och förhållanden vid respektive undersökningspunkt. I verkligheten kan jordens egenskaper skilja sig mellan olika lermäktigheter, exempelvis kan tunnare lerlager oftast antas ha fördelaktigare sättningssegenskaper än lerlager med större mäktighet.

CPT-sonderingar har utvärderats med datorprogrammet CONRAD. Sättningsberäkningar har utförts med beräkningsprogrammet GeoSuite Sättning, som baseras på Chalmersmodellen, se bilaga G5 PM Sättningar .

Beräkning av sättningsrisk har utförts för 0,3 meters, 1 meters och 3 meters antagen grundvattentrycksänkning i undre magasin under lera. Beräkningar har även utförts för 0 meters avsänkning vilket representerar pågående sättningar. Beräkningarna har utförts för olika tidsintervaller från 1 till 100 år.

Med tiden kommer tunneln naturligt bli tätare efterhand som så kallat *skin* utbildas, se kap 8.4.1. Skineffekten medför att inläckaget i tunneln minskar med tiden vilket medför att influensområdet minskar och grundvattentrycknivåerna ökar. För Mässtunneln beräknas att grundvattnets trycknivå initialt sänks för att sedan, inom en 10-årsperiod, öka successivt till en residualavsänkning som är ca 30% av den initiala sänkningen. Sättningsberäkningar med hänsyn till skineffekt har utförts för största lermäktigheten vid respektive undersökningspunkt. I Bilaga G5 PM Sättningar redovisas beräkningarna som jämförelse med motsvarande sättningsberäkningar utförda på traditionellt vis, dvs med konstant sänkt grundvattentrycknivå. Detta beskrivs i text i kapitel 11 under respektive område.

Inom utredningsområdet finns några sedan tidigare kända sättningskänsliga områden (skadeområden). Vissa delar av grundvattenmagasinet i Älvsjö, är sedan tidigare identifierat som ett skadeområde, där mark- och hussättningar inträffat. Skadeområdena omfattar villaområdet väster om tunnelsträckningen, Älvsjö och Långbro, se figur 17.

10.7 Hydrogeologiska förhållanden

10.7.1 Grundvattenmagasin

Utredningsområdet innefattar inte någon grundvattenförekomst eller något av SGU utpekade grundvattenmagasin. Inom hela utredningsområdet finns större sammanhängande förekomster av grundvatten i öppna sprickor i berg, i naturliga friktionsjordlager samt i mer eller mindre omfattning i fyllnadsmaterial. Sprickor i berg uppträder som sprick- och krosszoner eller som system av enskilda sprickor som i varierande grad har kontakt med varandra. Bergets vattenförande egenskaper beror på omfattning och storlek på sprickorna, sprickornas vattenförande förmåga och deras inbördes koppling till varandra (konnektivitet).

I friktionsjorden och även i yttlig fyllnadsjord kan ett öppet grundvattenmagasin utbildas, det öppna grundvattenmagasinet omfattar då den delen av jordlagren som är under grundvattenytan. Beroende av kornstorleksfördelning och mäktighet, innehåller det öppna grundvattenmagasinet mer eller mindre tillgängligt grundvatten.

Ett slutet magasin definieras av att det begränsas uppåt av ett tätare jordlager (t ex lera). Det slutna magasinets vatten ger leran dess vattenmättnad. Där friktionslagrets trycknivå ligger är leran vattenmättad. Om det finns ett övre magasin ovan leran är det ett litet utbyte av vatten från dessa båda magasin som ger leran dess vattenmättnad, detta styrs av tryckförändringar. Grundvattnet i det övre magasinet är ofta uppdelat i mindre magasin. I urban miljö fluktuerar grundvattennivåerna i det övre magasinet förhållandevis lite med årstider och styrs, förutom av nederbörd, framför allt av tillskott från otäta VA-ledningar och bortledning via dränerande stråk (i huvudsak hus- och vägdränering samt otäta VA-ledningar, inklusive kringfyllnad i ledningsgravar). Grundvattennivån i öppna magasin i berg och moränområden (oftast höjder) har däremot en förutsebar större årstidsfluktuation. Det undre magasinet står ofta i kontakt med grundvatten i underliggande bergsprickor varför även grundvattennivåer i jord kan påverkas av undermarksanläggningar förlagda i berg.

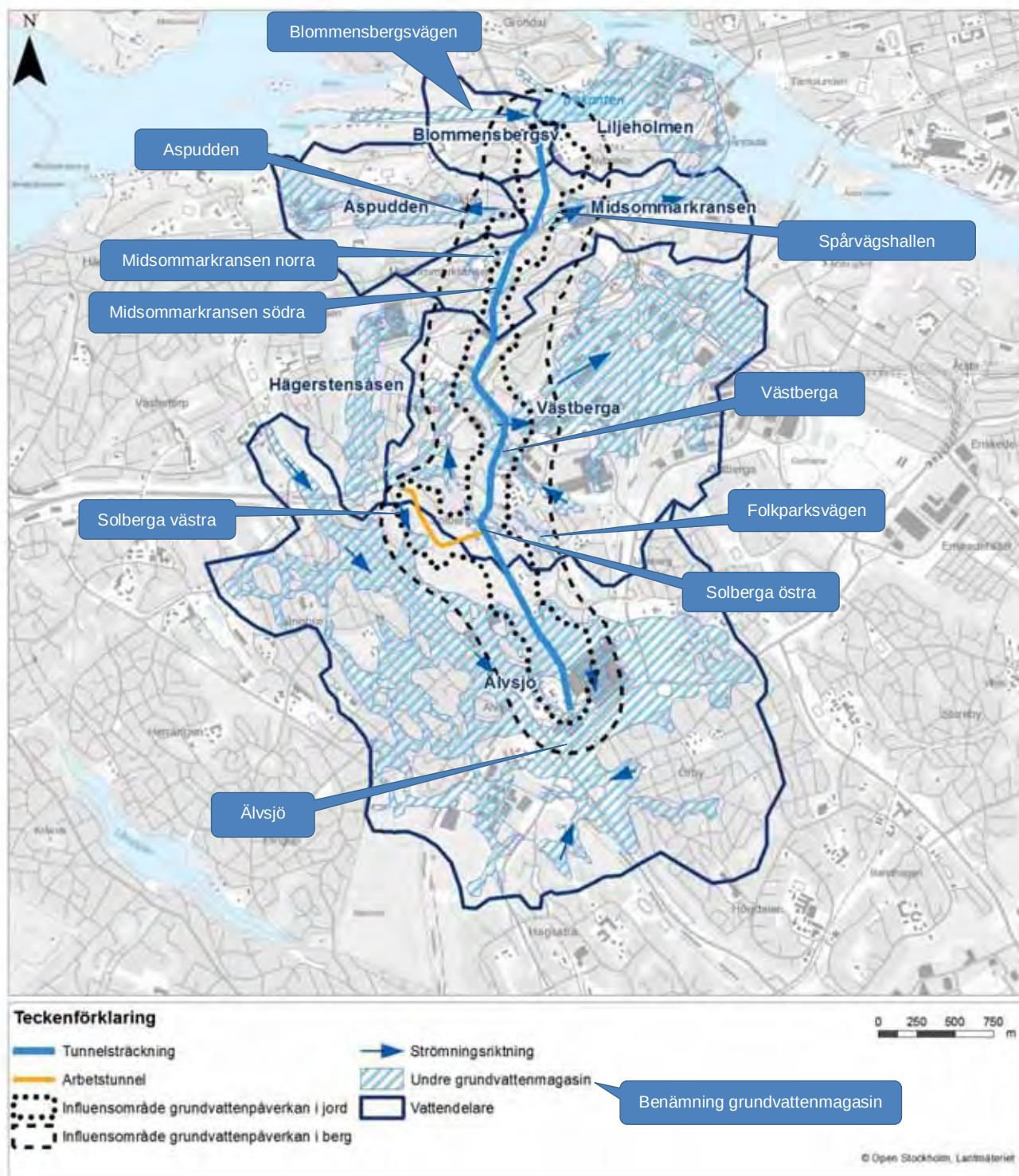
Grundvattenbildning till berg kan principiellt endast förekomma där det finns en grundvattenyta som ligger nere i berg. I andra fall sker nybildningen till ett magasin i jord som täcker berget och därefter sker en grundvattenströmning till berg från detta övre magasin. Det är då huvudsakligen den hydrauliska gradienten som, tillsammans med vattengenomsläppligheten i jord och berg, bestämmer strömningens storlek.

På samma sätt betraktas grundvattenbildning till undre grundvattenmagasin. Läckage genom lera utgör normalt ett mycket litet tillskott till undre magasin. Likaså utgör läckage genom berg till undre magasin vanligen ett mindre tillskott för magasin med måttlig areell utbredning. Strömning genom friktionsjord i randzoner mellan jord och berg utgör normalt det dominerande tillskottet. Dock är det den hydrauliska gradienten som, tillsammans med vattengenomsläppligheten, bestämmer tillskottets storlek. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet så ökar den hydrauliska gradienten och därmed grundvattenströmningen. Således ökar tillskottet till det undre magasinet från omgivande berg och övre magasin om trycknivån i det undre magasinet sänks.

Nybildningen av grundvatten i den urbana miljön påverkas normalt inte av trycksänkningar då denna är knuten till storlek på nederbörd, infiltrationskapacitet knuten till hårdgörningsgrad samt läckage från VA-system.

Strömningsriktningar bestäms av grundvattendelare vilka generellt ligger på höjdområden, särskilt då dessa utgörs av bergshöjder med ringa jorddjup. I terrängens svackor inom hela utredningsområdet finns hydrauliska lågpunkter, så som sjöar och våtmarker, dit både yt- och grundvatten strömmar. Dessa områden utgör således utströmningsområden för grundvatten.

Grundvattenmagasinens utbredning och avgränsning har bestämts genom att studera jordartskarta, jorddjupskarta, tidigare utförda borrhningar, samt genom att utföra nya sonderingsborrhningar. Grundvattennivåer har mätts i grundvattenobservationsrör. Utifrån grundvattenmätningarna, topografi och jorddjup har grundvattnets flödesriktning och grundvattendelare bestämts. Figur 19 visar en översikt över de undre grundvattenmagasin som identifierats inom utredningsområdet, vattendelare och strömningsriktning.



Figur 19 Undre grundvattenmagasin, tolkade vattendelare och grundvattnets strömningsriktningar inom utredningsområdet.

Tabell 3 Områdesindelning och undre grundvattenmagasin/lerområde.

Delområde/Vattenbalansområde	Grundvattenmagasin/lerområde
Blommensbergsvägen	<i>Blommensbergsvägen</i>
Liljeholmen	<i>Liljeholmen</i>
Aspudden	<i>Aspudden</i>
Midsommarkransen	<i>Midsommarkransen norra</i> <i>Midsommarkransen södra</i> <i>Spårvägshallen</i>
Hägerstensåsen	<i>Hägerstensåsen</i>
Västberga	<i>Västberga</i> <i>Folkparksvägen</i> <i>Solberga östra</i>
Älvsjö	<i>Älvsjö</i> <i>Solberga västra</i>

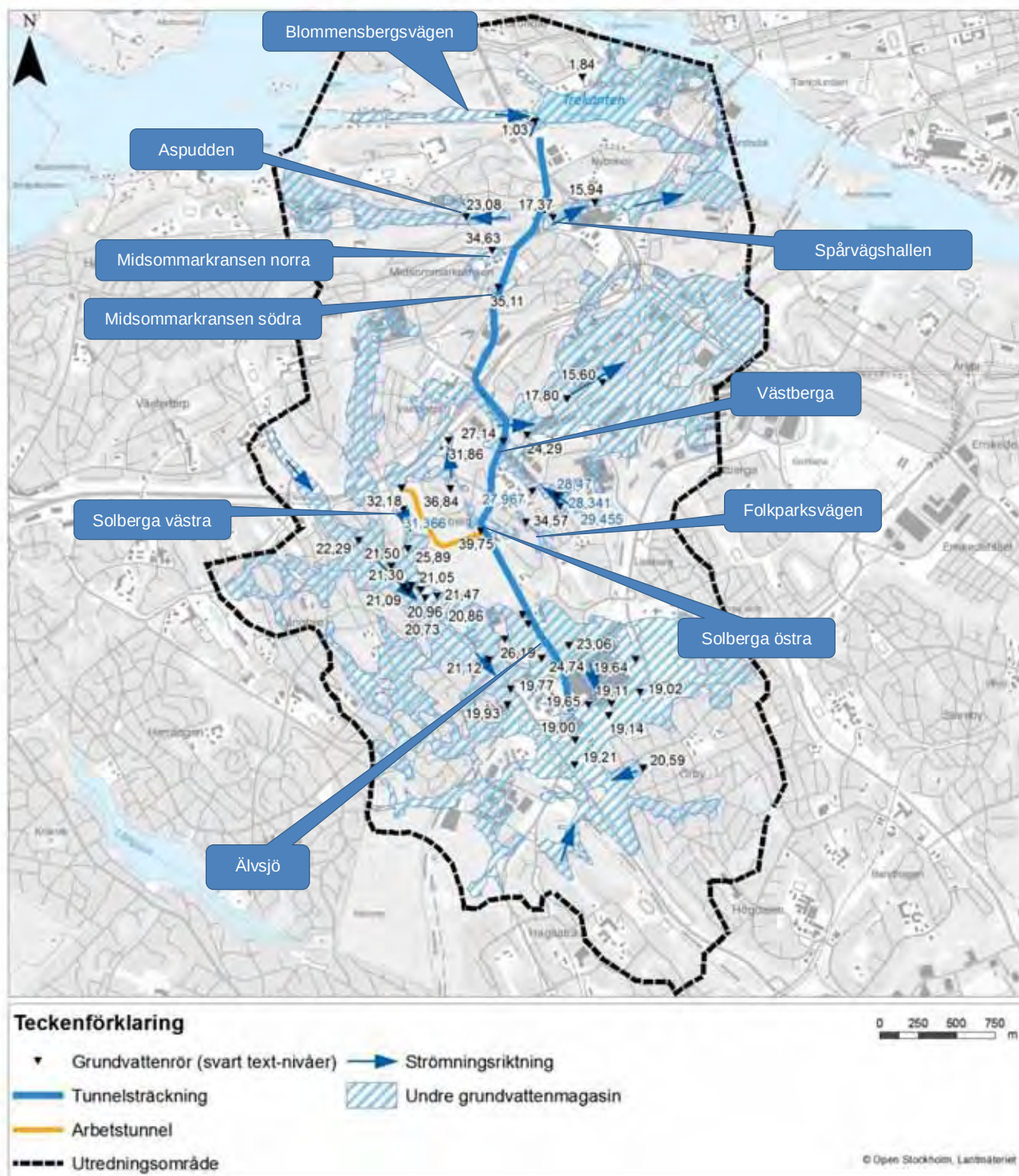
De två största sammanhängande undre grundvattenmagasinen inom utredningsområdet finns i den södra och mellersta delen av området, Älvsjö och Västberga. Magasinen har många mindre förgreningar och inom delområde Älvsjö benämns en av dessa förgreningar *Solberga Västra* för att förenkla beskrivningen då detta område studeras mer ingående i kapitel 11 på grund av sättningskänslighet och närhet till arbetstunneln. Mindre undre grundvattenmagasin finns i de mellersta delarna av utredningsområdet. I den norra delen är magasinen avlånga med färre förgreningar. Magasinen sammanfaller med lerområdena men har något mindre utbredning. Benämningen för lerområdena är därför densamma som för grundvattenmagasinen.

10.7.2 Grundvattennivåer

Det skiljer mycket mellan grundvattennivåerna inom utredningsområdet.

Grundvattenbildningen och topografin varierar inom utredningsområdet och vissa grundvattenmagasin ligger på höjder medan andra ligger i lågpunkter. I figur 20 visas en översikt över grundvattenmagasin, strömningsriktning, grundvattenrör och medelnivå baserat på uppmätta grundvattennivåer under perioden april 2017 - april 2018.

Grundvattennivån är som högst, ca +40, i grundvattenmagasin *Solberga östra* som ligger på en höjd och som lägst, ca + 1, i grundvattenmagasin *Blommensbergsvägens* östra kant där magasinet står i kontakt med sjön Trekanten. Grundvattennivåer och strömningsmönster beskrivs detaljerat i kapitel 11.



Figur 20 Grundvattenmagasin, strömningsriktning, grundvattenrör och medelnivå baserat på uppmätta grundvattennivåer under perioden april 2017 - augusti 2018.

10.7.3 Vattenbalans

En vattenbalans har upprättats för Mälsstunnelns sträckning. Sju vattenbalansområden har identifierats inom utredningsområdet, varav fem ligger inom den yttre gränsen för influensområdet (influensområde i berg). Inom de senare fem vattenbalansområden har

vattenbalansberäkningar utförts. Vattenbalansområdena redovisas i tabell 4 med numrering från norr till söder och i figur 19 visas vattenbalansområdenas utbredning och undre grundvattenmagasin samt grundvattnets strömningsriktning.

Tabell 4 De fem vattenbalansområdena som ingår i vattenbalansberäkningarna

Beteckning	Vattenbalansområde
1	Blommensbergsvägen
2	Aspudden
3	Midsommarkransen
4	Västberga
5	Älvsjö

Vattenbalansen ger en översiktlig bild av storleksordningen på grundvattenflödet genom magasinerna. Resultatet ger underlag för att kunna bedöma om det finns stor eller liten tillgång på grundvatten före och efter utbyggnad av Mässlunneln. Vilket i sin tur resulterar i en bedömning om grundvattenmagasinens känslighet för vattenbalansförändringar som bland annat kan orsakas av grundvattenbortledning till Mässlunnelns undermarksanläggningar. Vattenbalansberäkningarna beskrivs i bilaga G6 beräkningsbilaga.

Resultatet från vattenbalansberäkningarna visar att beräknat inläckage till Mässlunneln endast utgör en liten del av den totala grundvattenbildningen inom respektive vattenbalansområde. Procentuellt är inläckaget som störst inom vattenbalansområde Midsommarkransen, ca 25 % av grundvattenbildningen inom vattenbalansområdet kommer att bortledas till Mässlunneln. Vattenbalansberäkningarna visar att vissa delområden kan vara mer känsliga för vattenbalansförändringar då en stor andel tillgängligt grundvatten redan dräneras bort genom befintliga dränerande anläggningar i berg.

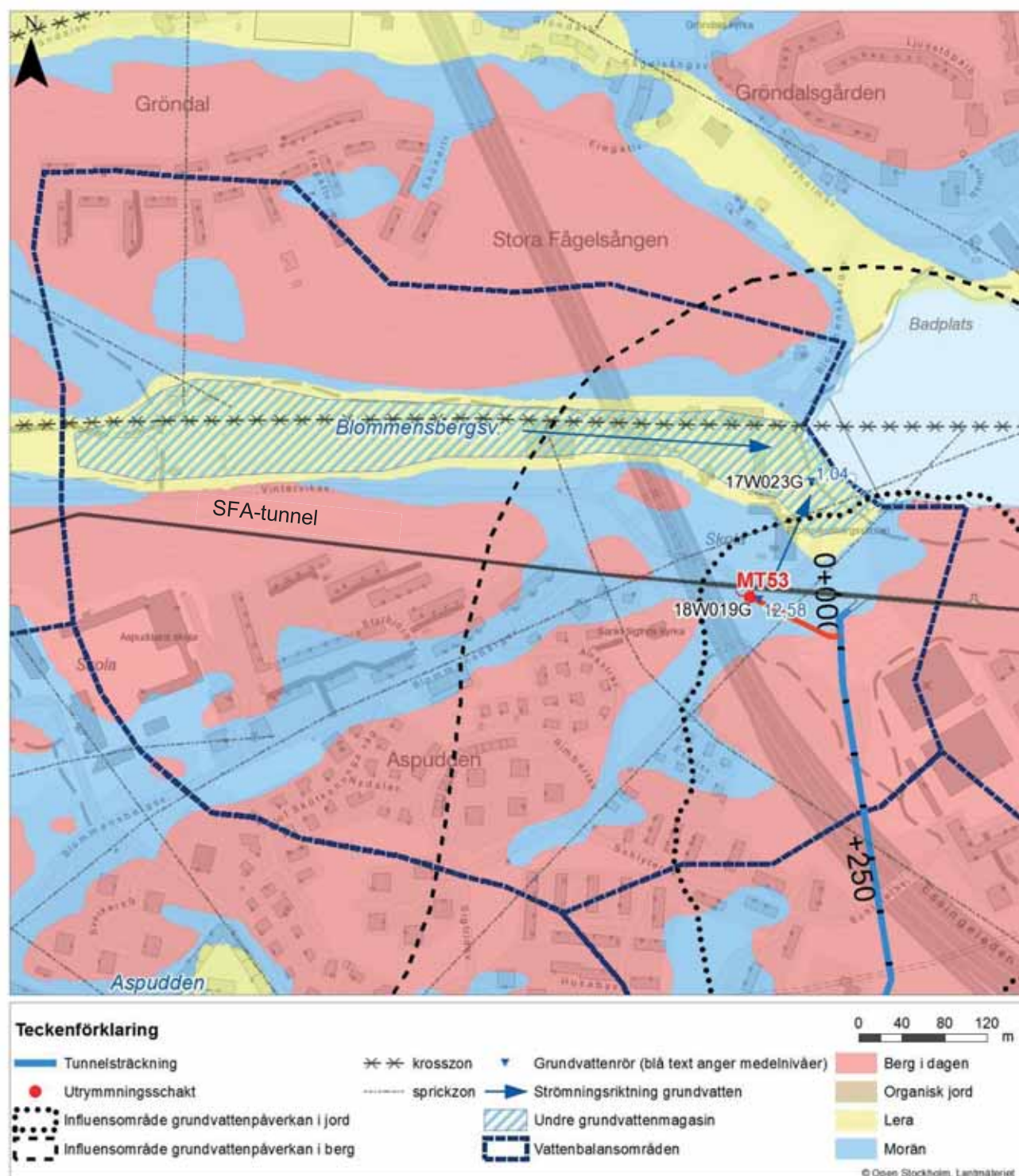
11. Detaljerad områdesbeskrivning

I detta kapitel görs en detaljerad beskrivning av grundvattenmagasin, strömningsriktning, grundvattennivåer, svaghetszoner, lerområden och sättningskänsliga områden. Vattenbalansen visar hur stor del av tillgängligt vatten som bortleds till Mässtunneln. Utifrån resultatet av vattenbalansberäkningarna kan grundvattenmagasin som är mer känsliga för vattenbalansförändringar identifieras. Ett stort överskott av vatten i vattenbalansområdet innebär att magasinerna i området är mindre känsliga för förändringar i vattenbalansen. Vidare görs en bedömning av hur stor avsänkning av grundvattnets trycknivå som kan ske, hur det kan komma att påverka motstående intressen och behov av skyddsåtgärd. Samtliga grundvattennivåer som beskrivs i detta kapitel är medelvärde av grundvattnets trycknivå i undre magasin uppmätt under tidsperioden april 2017 – november 2018, och anges i RH2000. I varje delkapitel finns figurer som illustrerar det som beskrivs och i bilaga G2, bilaga G3 och bilaga G4 finns kartblad i A3 som illustrerar detsamma i större skala.

11.1 Vattenbalansområde Blommensbergsvägen

11.1.1 Anläggning lm 0 +000 – 0 +200

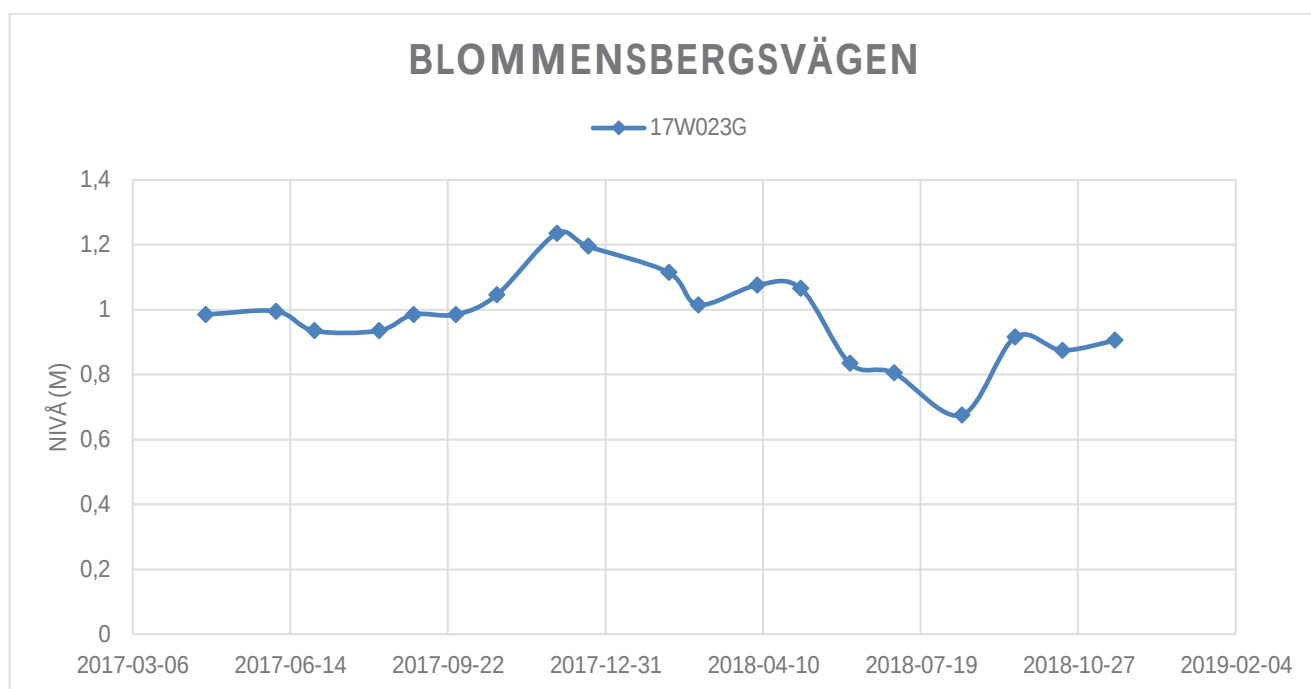
Mässtunneln ansluter strax sydöst om Blommensbergsvägen till SFA-tunneln, vid längdmätning (lm) 0 +000. Vid Blommensbergsvägen planeras också en utrymningsväg till Mässtunneln via ett vertikalschakt (MT53) som ansluter till tunneln vid lm 0+015 via en ca 85 m lång nisch, se figur 21. Nedan beskrivs det lerområde och grundvattenmagasin som finns inom vattenbalansområdet mer ingående.



Figur 21 Mässtunneln med anläggningsdelar, yttliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde i jord och berg inom vattenbalansområde 1 Blommensbergsvägen.

11.1.2 Områdesbeskrivning

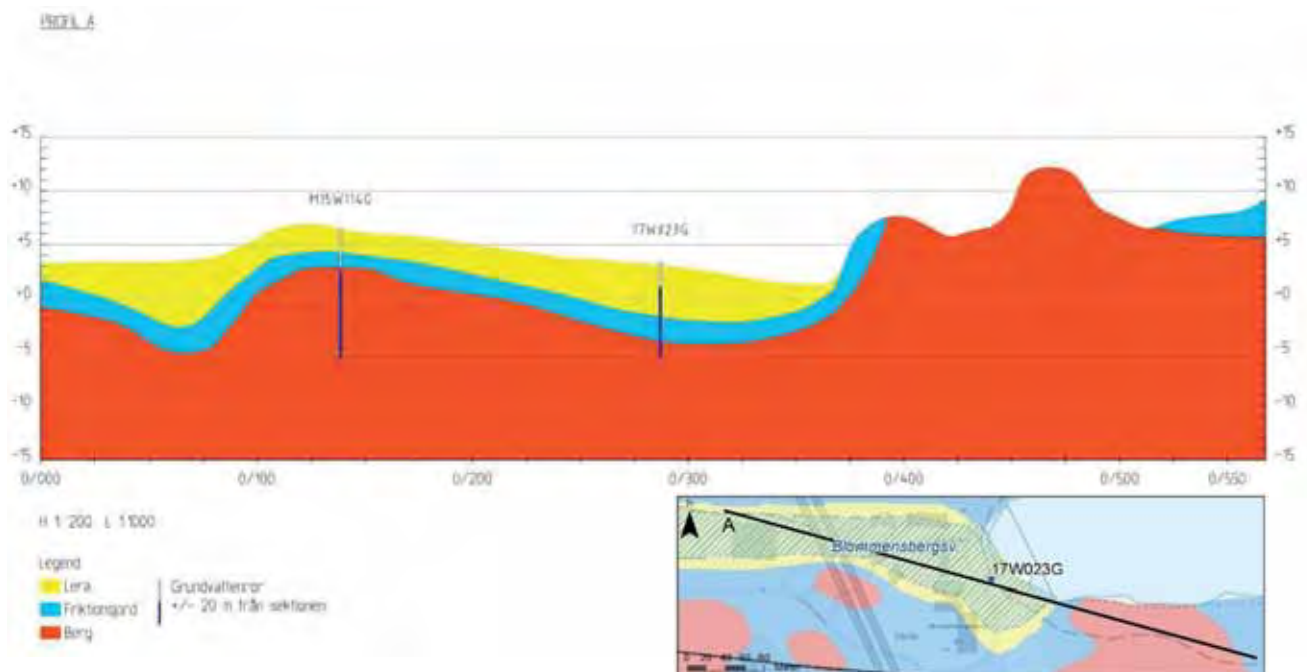
Inom vattenbalansområde 1, *Blommensbergsvägen*, finns ett undre grundvattenmagasin, även det betecknat *Blommensbergsvägen*. Magasinet sammanfaller med ett sammanhängande lerområde med något större utbredning än själva magasinet, se figur 21. Mässtunneln kommer inte att gå under magasinet då tunneln slutar strax söder om detta. Grundvattentrycknivån i magasinet ligger vid grundvattenrör 17W023G som medelvärde runt +1, med en variation inom ca 0,6 m, se figur 22. Nivån i sjön trekanten ligger runt +1.



Figur 22 Grundvattentrycknivå i grundvattenmagasin Blommensbergsvägen.

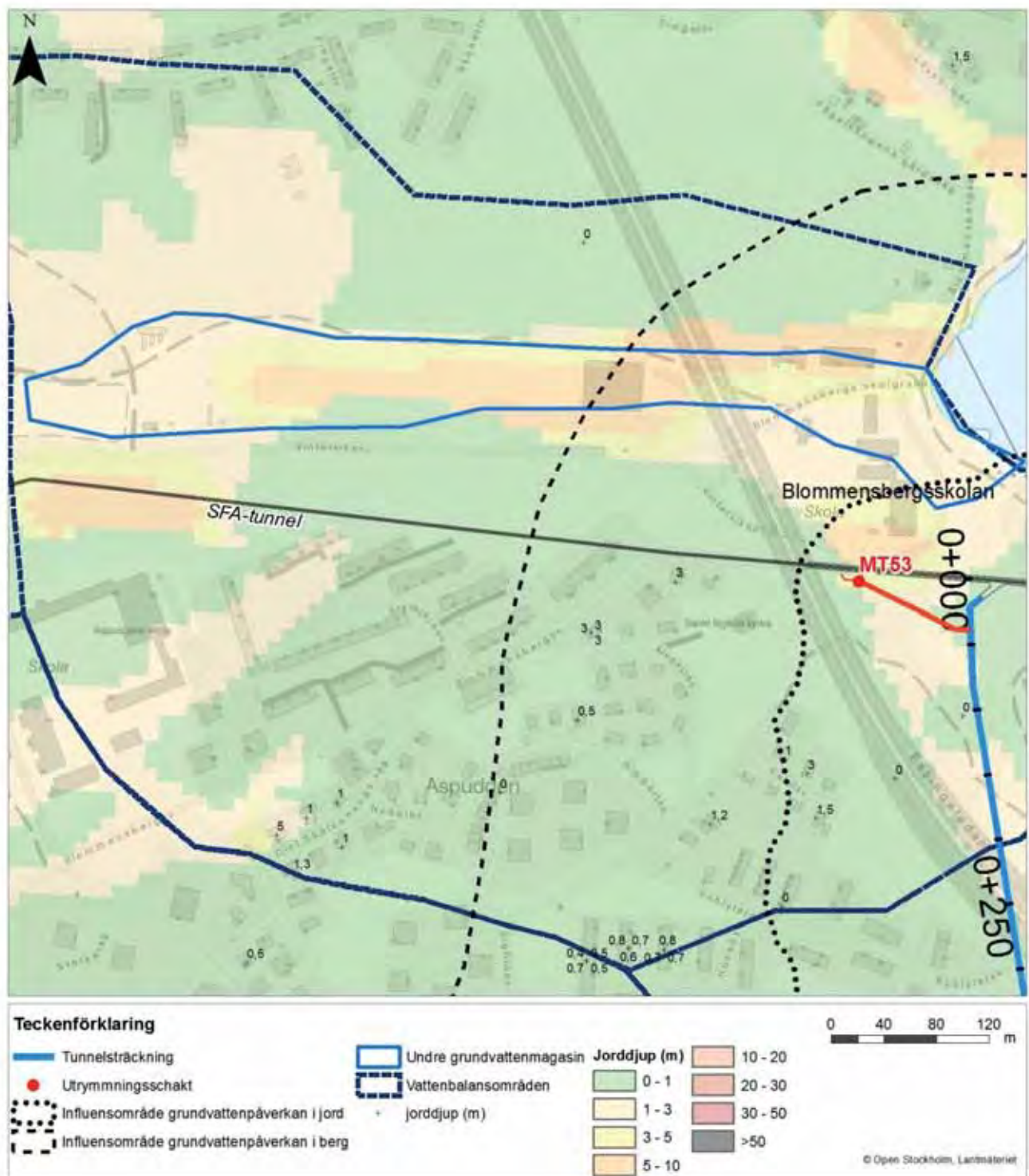
Det undre magasinet står i kontakt med sjön Trekanten. Grundvattnet strömmar i det undre magasinet från väst till öst mot sjön, se figur 21. Norr och söder om lersvackan finns högre berglägen med morän och ytligt berg. Lerområdet är flackt med en markyta på ca +3 till +7 och ligger ovan en större deformationszon, se figur 21. Några mindre sprickzoner finns också i området. Vid planerad vertikalschakt, MT53 ligger marknivån på ca +15 och grundvattennivån runt +12,5 (grundvattenrör 18W019G).

I undersökningspunkt 17W023 består jorden av ca 2 meter fyllning och 3 meter lera som vilar på ca 2,5 meter friktionsjord ovan berg. Jorddjupet inom vattenbalansområdet varierar mellan ca 0 i de höga berglägena och 10 meter i mitten av lersvackan. Jordlagerföljden i de centrala delarna av lerområdet består av fyllning och lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Mot områdets kanter i sluttningarna består jorden endast av friktionsjord som vilar på berg, se figur 23 som visar en geologisk profil i över området och figur 24 som visar jorddjup mm.



Figur 23 Geologisk profil från väst till öst i lerområdet Blommensbergsvägen.

De jorddjup som påträffats från tidigare undersökningar i området vid Blommensbergsvägen och Blommensbergsskolan varierar mellan ca 1 och 5 meter. Sydväst och söder om den sydligaste fastigheten inom influensområdet, Blommensbergsskolan, finns sonderingar som visar på morän med ett djup mellan <0,5 meter och 4,5 meter med det största djupet i anslutning till fastighetens sydvästra hörn [3].



Figur 24 Mässtunneln med anläggningsdelar, jorddjup, undre grundvattenmagasin och influensområde inom vattenbalansområde 1 Blommensbergsvägen.

Inom vattenbalansområdet finns Årstadal-Eohällstunneln som går i nord-sydlig riktning i vattenbalansområdets västra del. Inga andra kända befintliga undermarksanläggningar finns i området. SFA-tunneln kommer att vara färdigställd innan byggandet av Mässtunneln

påbörjas och den kommer att korsa vattenbalansområdet i väst- östlig riktning, se figur 21 och figur 24.

Inga uppgifter om inträffade grundvattensänkningar eller sättningsskador inom området har påträffats vid inventeringsarbetet. Grundvattentrycksänkningen i magasinet som följd av inläckage till Mässtunneln bedöms inom influensområdet uppgå till som mest ca 0,5 meter i den sydligaste delen av magasinet för att avta mot norr och gränsen för influensområdet. Grundvattenbildningen bedöms som god i moränslutningen i söder, som lutar brant ned mot Blommensbergsskolan och som uppmätta nivåer indikerar.

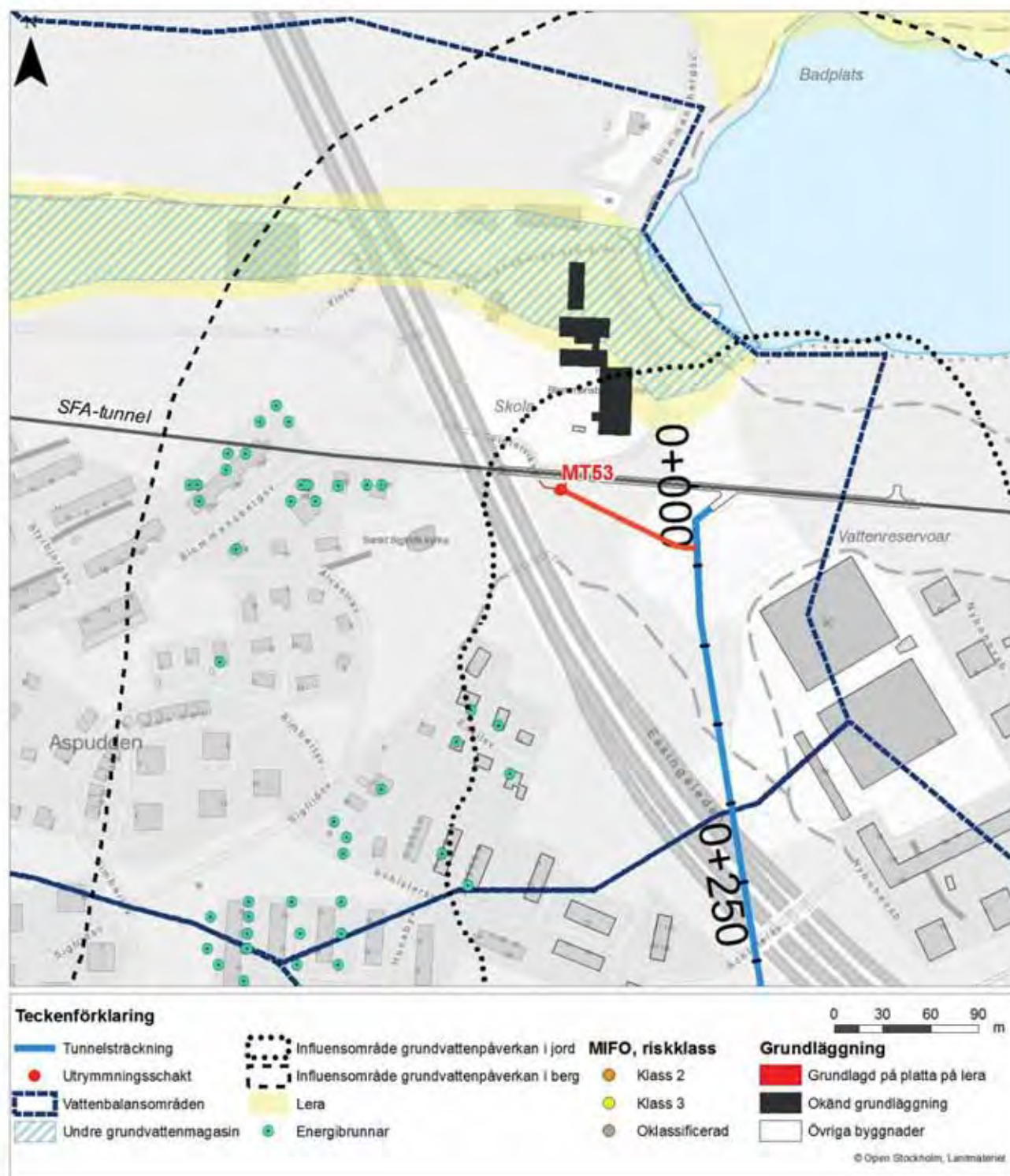
Vattenbalans

Bortledningen av grundvatten via Mässtunneln har beräknats till ca 12 % av grundvattenbildningen i området. Bortledningen av grundvatten via SFA-tunneln har beräknats till ca 42 % av grundvattenbildningen i området. Totalt beräknas ca 60 % av grundvattentillgången i undre magasin i jord dräneras bort av undermarksanläggningar i berg efter att båda tunnlarna är byggda, inklusive befintliga anläggningar i berg. Vattenbalansberäkningarna uppskattar att utflödet från det undre grundvattenmagasinet till sjön Trekanten är ca 130 L/min innan byggandet av Mässtunneln och SFA-tunneln och 60 L/min efter. Grundvattenmagasinet bedöms som måttligt känsligt för vattenbalansförändringar då en stor del (ca 60%) av grundvattentillgången kan komma att dräneras bort av undermarksanläggningar. Det finns dock fortfarande ett överskott av vatten (utflöde till Trekanten) efter byggandet av de två tunnlarna och den del av tillrinningsområdets yta där grundvattenbildning kan ske består till stor del av lågurbant område och grönområden.

11.1.3 Motstående intressen

11.1.3.1 Byggnader och anläggningar

Inom vattenbalansområdet finns en grupp med fem byggnader med okänd grundläggning (Blommensbergsskolan mf.), nordväst om Blommensbergsvägen som delvis ligger inom lerområdet, se figur 25. Den sydligaste byggnaden ligger inom influensområdet men utanför den bedömda utbredningen av det undre grundvattenmagasinet och jordarten är, enligt den byggnadsgeologiska kartan morän, vilket innebär att jordlagren där byggnaden ligger inte är känsliga för sättningar. Huvudbyggnaden bedöms utifrån äldre sonderingar från området vara grundlagd på fast undergrund av morän, vilket bekräftar att uppgifterna från den byggnadsgeologiska kartan är riktiga.



Figur 25 Byggnader energibrunnar och MIFO-objekt inom vattenbalansområde 1 Blommensbergsvägen.

11.1.3.2 Energibrunnar

I brunnsinventeringen har det inom influensområdet för berg inom detta vattenbalansområde identifierats ca 40 energibrunnar. Avståndet från den planerade tunneln till de närmaste energibrunnarna, fyra st., är ca 130 meter. De brunnar som ligger närmast tunnellen kan påverkas av en trycksänkning i berget med minskade vattennivåer och minskat energiuttag som följd.

11.1.3.3 Ledningar

Under Blommensbergsvägen finns en fjärrvärmeledning med dimension 600 mm i diameter. Det finns även servisledningar till byggnader så som vatten- och spillvattenledningar och i vissa fall kan även dagvattenledningar till byggnader finnas. Grundvattennivåavsänkningen i området där ledningarna ligger bedöms uppgå till som mest ca 0,5 meter och sättningar på grund av grundvattennivåsenkning så små att de inte orsakar skada.

11.1.3.4 Naturmiljö

Sjön Trekanten och naturområdena däromkring är ett populärt område för motion, bad och fiske. Sjön och naturområdet däromkring ligger till största delen utanför influensområdet och bedöms inte komma att påverkas av vattenverksamheten.

11.1.3.5 Föroreningar

Det finns inget MIFO-objekt inom influensområde för grundvattenpåverkan i jord.

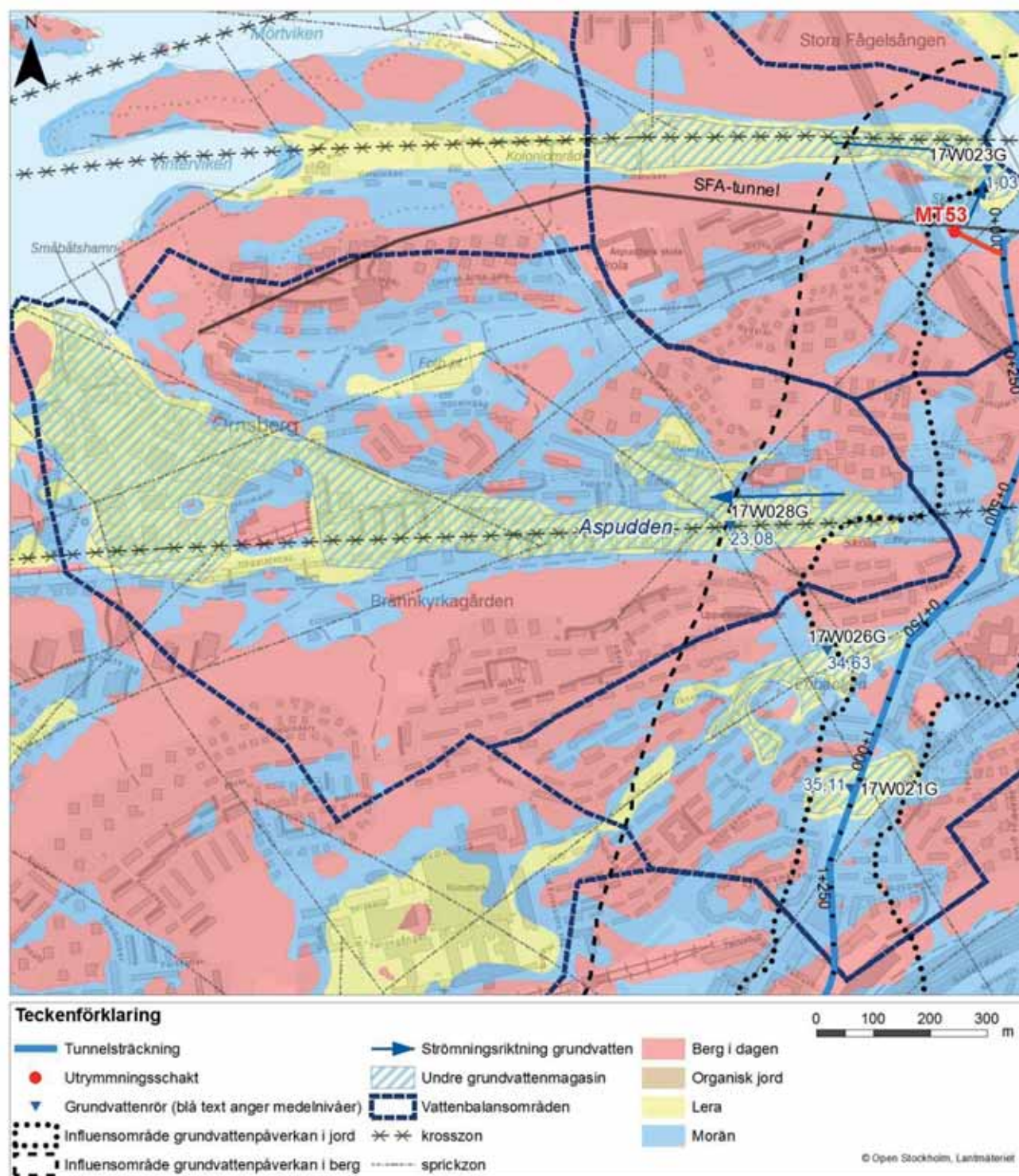
11.1.4 Skyddsåtgärder

För det aktuella tunnelavsnittet kommer kontinuerlig förinjektering, med injekteringsklass 1A utföras längs hela sträckan. Efterinjektering, utförs vid behov för att täta läckande sprickor eller tunnelavsnitt med större inläckage. Under anläggningsskedet sker kontinuerlig uppföljning av grundvattennivåer och grundvatteninläckage till tunneln.

11.2 Vattenbalansområde Aspudden

11.2.1 Anläggning

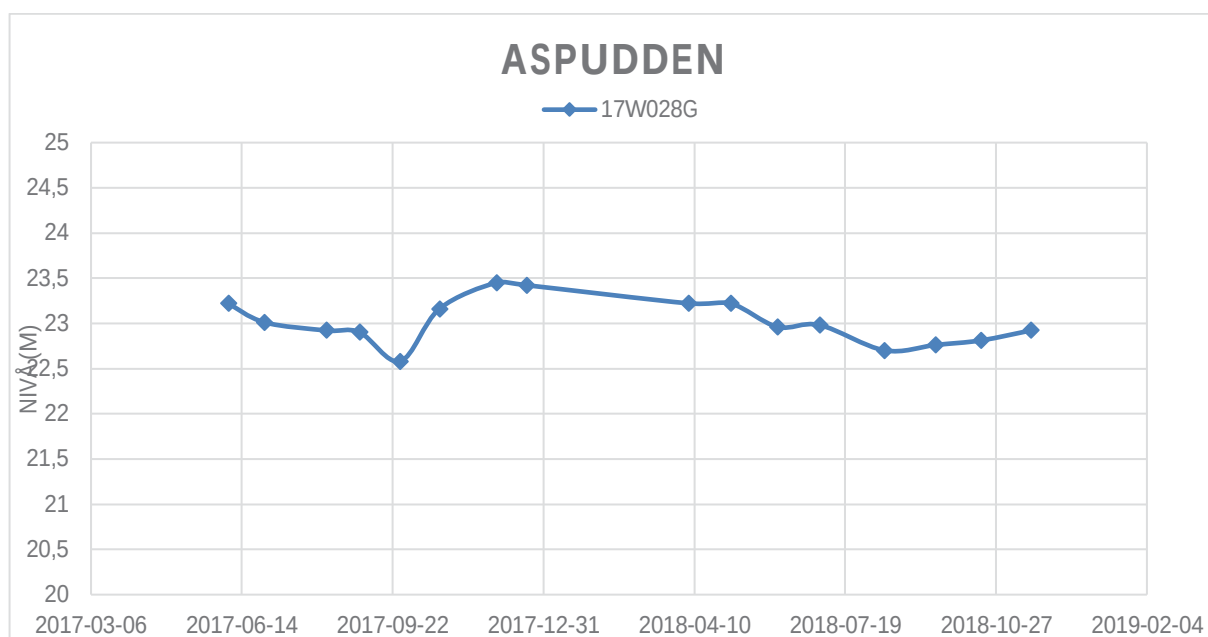
Mässtunneln kommer att gå strax öster om vattenbalansområde 2 *Aspudden*. Tunneln går inte igenom vattenbalansområdet men kommer ändå att påverka grundvattennivåerna i jord och berg i området, se figur 26 som visar tunnelsträckning, ytliga jordarter och hydrogeologi i området. Nedan beskrivs det lerområde och grundvattenmagasin som finns i vattenbalansområdet mer ingående.



Figur 26 Mässtunneln och anläggningsdelar, ytliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde inom Vattenbalansområde 2 Aspudden.

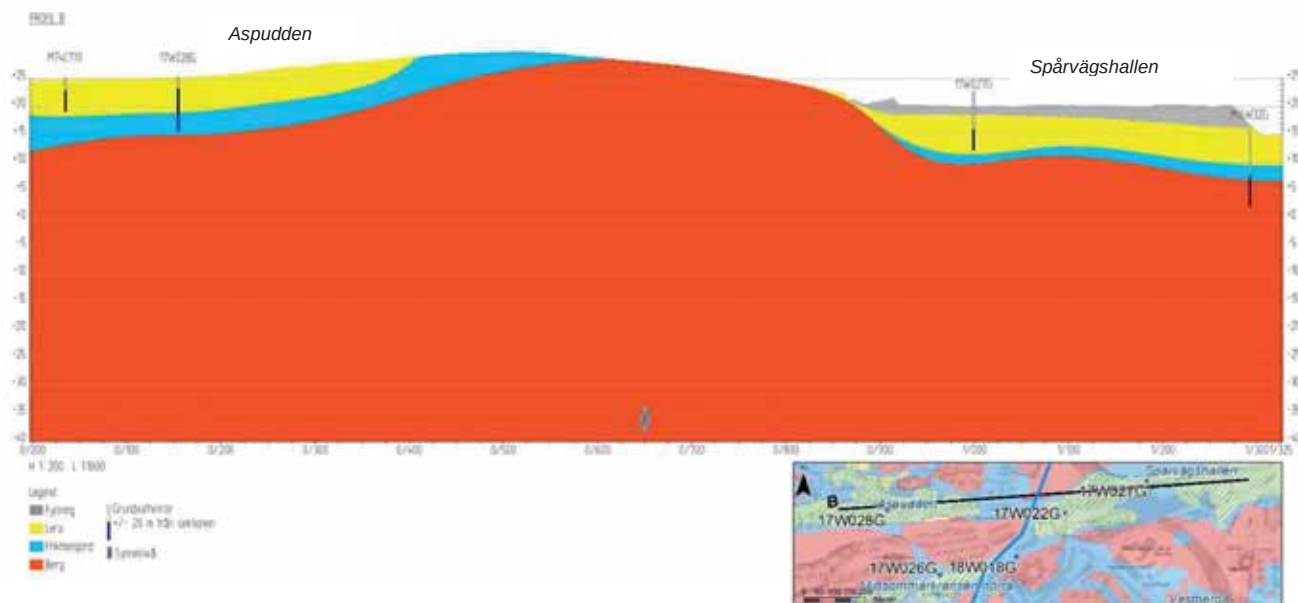
11.2.2 Områdesbeskrivning

Inom vattenbalansområde 2, *Aspudden*, finns ett undre grundvattenmagasin, även det betecknat *Aspudden*. Magasinet sammanfaller med ett sammanhängande lerområde med något större utbredning än själva magasinet, se figur 26. Samma benämning används för lerområdet. Grundvattennivån i grundvattenrör 17W028G ligger runt +23 med variationer på ca 1 meter, se figur 27. Nivån i Vinterviken som är en del av Mälaren på ca +1. Grundvattnet strömmar i det undre magasinet från öst till väst mot Vinterviken, se figur 26.



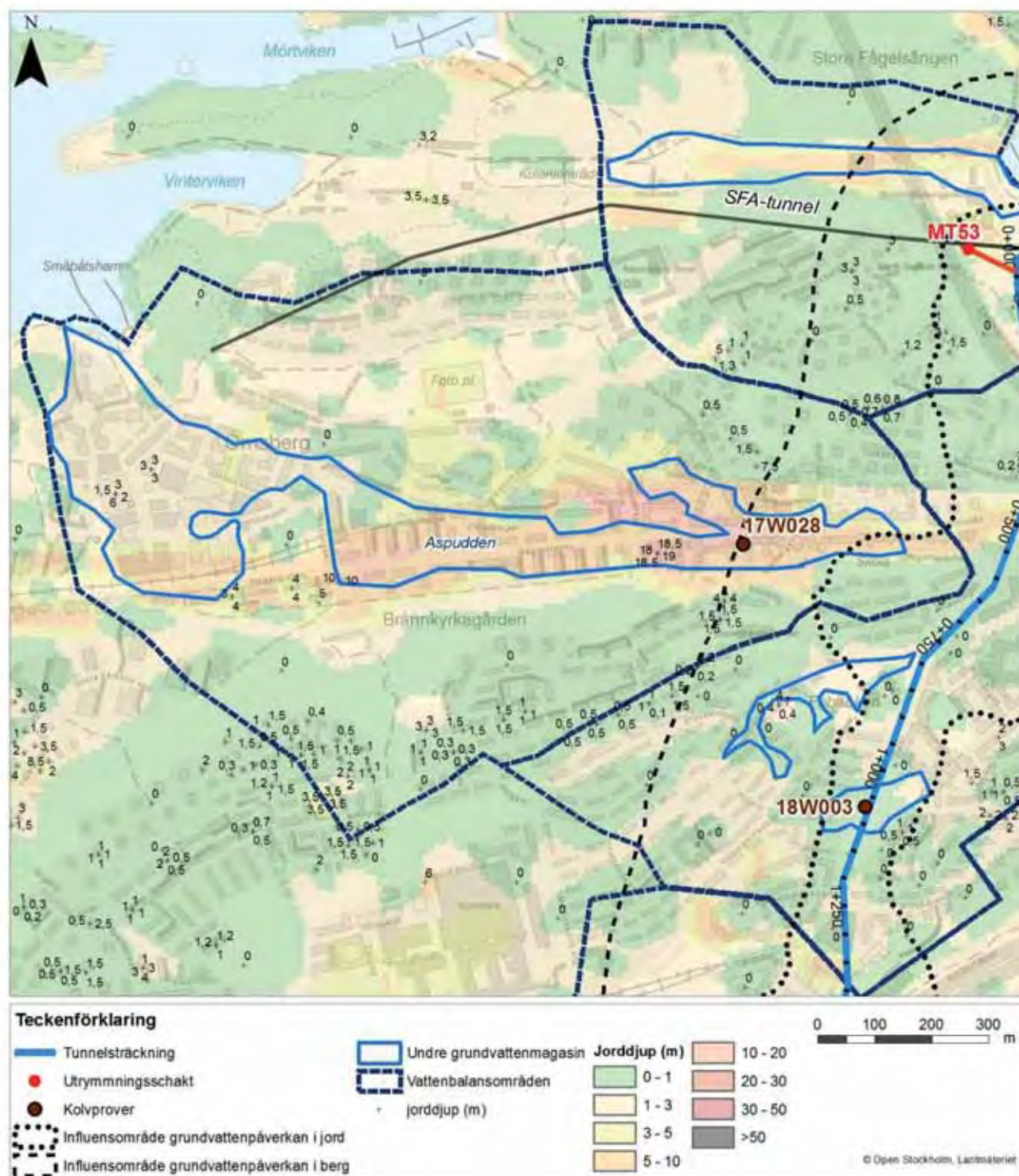
Figur 27 Grundvattentrycknivå i grundvattenmagasin Aspudden.

Endast en liten del av den östra änden av grundvattenmagasinet ligger inom influensområdet. I detta område beräknas grundvattentrycksänkningen som mest bli ca 0,3-1 meter. Norr, söder och öster om lersvackan finns högre berglägen med morän och ytligt berg. Figur 28 visar en geologisk profil över de två lerområdena Aspudden och Spårvägshallen med högre berglägen och morän som avgränsar de båda magasinen. Området *Spårvägshallen* ligger inom vattenbalansområde Midsommarkransen och beskrivs i kap 11.3.



Figur 28 Geologisk profil från väst till öst i lerområde Aspudden och Spårvägshallen.

Markytan i lerområde Aspuddens östra del ligger på ca +30 och sluttar ner mot Vinterviken i väst där markytan ligger på ca +3. Lerområdet ligger ovan en större deformationszon, se figur 26. Några mindre sprickzoner finns också i området.



Figur 29 Mässtunneln, anläggningsdelar, kolvprovtagning, jorddjup grundvattenmagasin och influensområde inom vattenbalansområde 2 Aspudden.

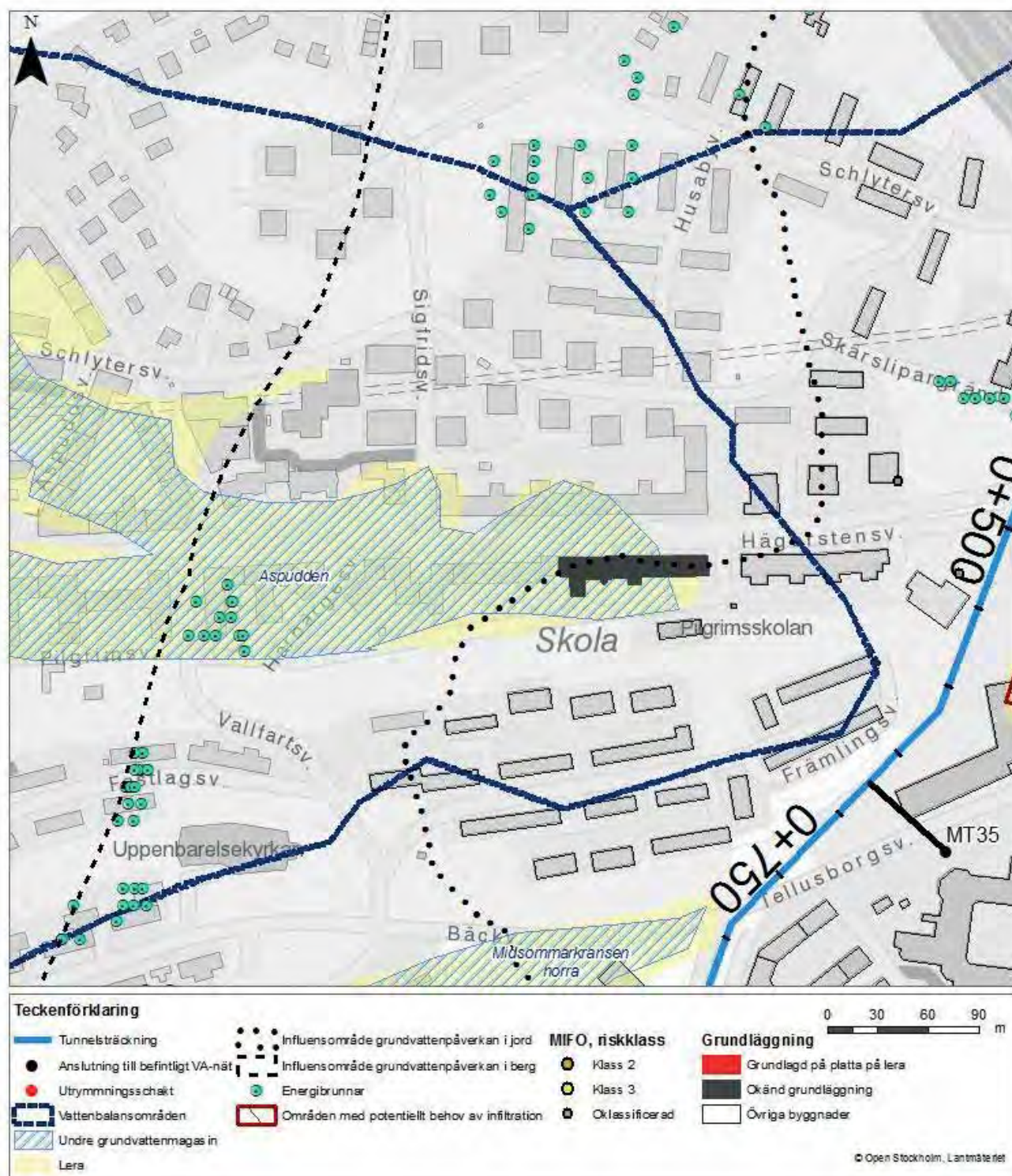
I undersökningspunkt 17W028 består jorden av 1,8 meter fyllning och 1,4 meter torrskorpelera ovan 2,8 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Jorddjupet i vattenbalansområdet varierar mellan ca 0 i de höga berglägena och ca 20 meter i mitten av lersvackan, se figur 29. Ostörd provtagning (kolv) har utförts i punkt 17W028. Leran i området, i anslutning till undersökningspunkt 17W028, bedöms vara svagt överkonsoliderad

för jordens rådande spänningssituation. Leran bedöms vara sättningsbenägen vid grundvattensänkning. Dock bedöms grundvattentrycksänkningen bli mindre än 1 meter och sättningsberäkningarna visar att vid en grundvattensänkning på 1 meter kommer sättningarna efter 100 år som mest bli ca 2 cm. Inga uppgifter om inträffade grundvattensänkningar eller sättningsskador i området har påträffats under inventeringen.

11.2.3 Motstående intressen

11.2.3.1 Byggnader och anläggningar

Fem byggnader med okänd grundläggning finns i lerområdet östra del, den närmsta byggnaden ligger 150 meter från tunnelsträckningen, se figur 30. Grundvattentrycksänkningen bedöms bli ca 0,3 meter i området där byggnaderna ligger och sättningarna efter 100 år bli som mest 2 cm. Tunnelbanans röde linje mot Norsborg går delvis ovan mark inom lerområdet men utanför influensområdet.



Figur 30 Byggnader, energibrunnar och MIFO-objekt inom vattenbalansområde 2 Aspudden.

11.2.3.2 Energibrunnar

Inom influensområdet för berg finns ca 45 energibrunnar, alla i utkanten av influensområdet för berg.

11.2.3.3 Ledningar

Inga större sättningskänsliga ledningar finns inom influensområdet. Det finns servisledningar till byggnader så som vatten- och spillvattenledningar och i vissa fall kan även dagvattenledningar till byggnader finnas. Grundvattennivåavsänkningen i området där ledningarna ligger bedöms bli mindre än 1 meter och sättningar på grund av grundvattennivåavsänkning beräknas bli maximalt 1 cm.

11.2.3.4 Naturmiljö

Inga naturmiljöer som kan påverkas av en grundvattensänkning finns identifierade inom influensområdet.

11.2.3.5 Föroreningar

Det finns inget MIFO-objekt inom influensområde för grundvattenpåverkan i jord.

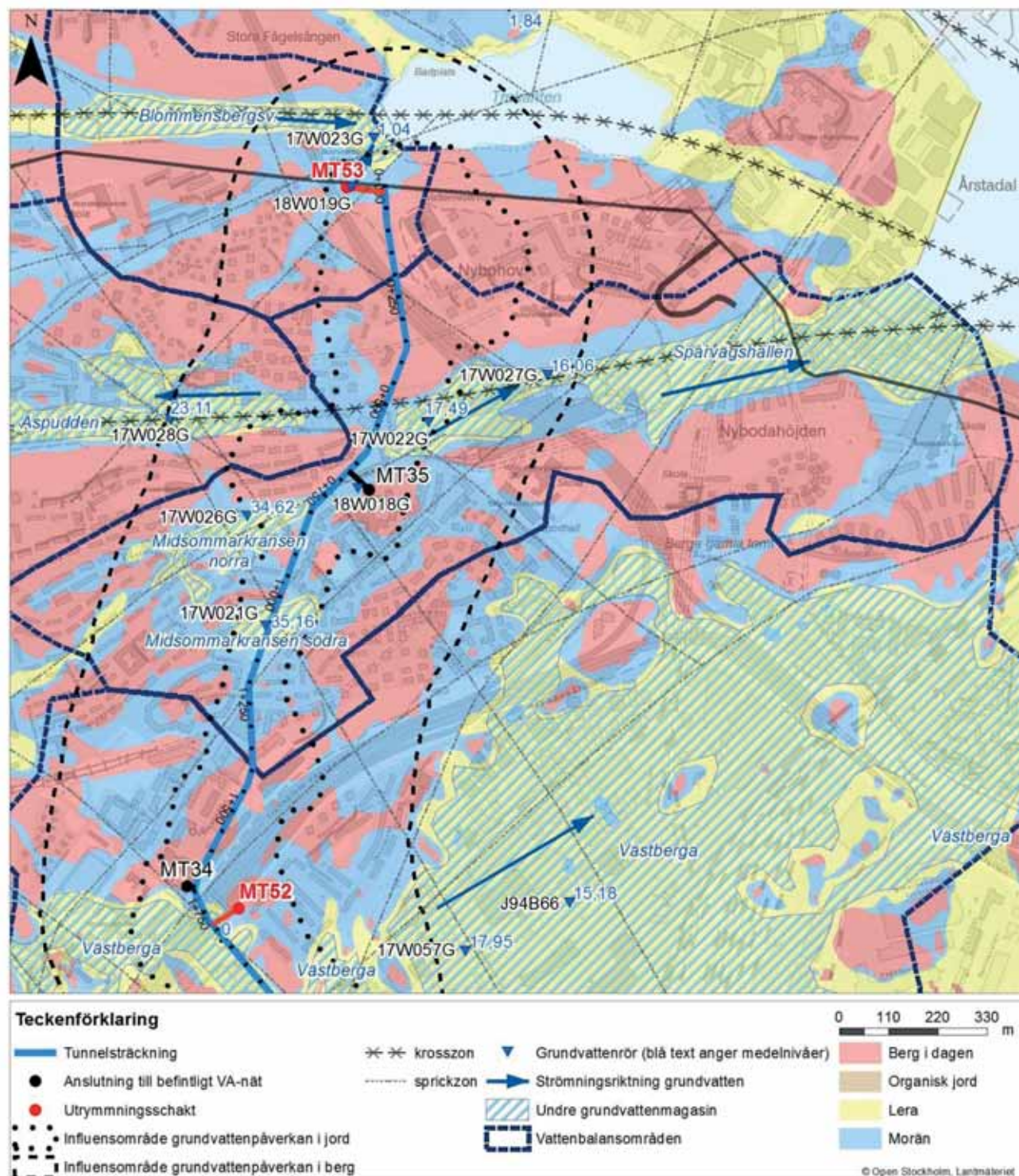
11.2.4 Skyddsåtgärder

Mässtunneln går inte under vattenbalansområdet, skyddsåtgärder vid tunneldrivning beskrivs i kapitel 11.3.4. Det bedöms inte finnas behov av ytterligare skyddsåtgärder.

11.3 Vattenbalansområde Midsommarkransen

11.3.1 Anläggning Im 0 +200 – 1 +400

I figur 31 visas tunnelsträckning hydrogeologi och ytliga jordarter inom vattenbalansområde *Midsommarkransen*. I vattenbalansområdets norra del går tunneln under en bergrygg med en maximal matknivå om ca +60. Tunneln fortsätter under områden med ytligt berg och morän där markytan varierar mellan ca +27 och +40. Mellan Im 0 +500 och 0+600 passerar tunneln ca 30 meter väster om ett lerområde, lerområde *Spårvägshallen*. Vid Im 0 +675 kommer en 60 meter lång nisch anläggas som ansluter till VA-nätet, via anslutningspunkt MT35 Bäckvägen, se Figur 31. Vid Im 0 +800 går tunneln strax öster om ett mindre lerområde *Midsommarkransen norra* och mellan Im 1 +020 och 1 +120 går tunneln rakt under ett mindre lerområde *Midsommarkransen södra* innan den återigen går in i ett område med morän och berg i dagen. Nedan beskrivs de tre lerområdena och grundvattenmagasinen som tunneln passerar mer ingående.



Figur 31 Mässtunneln och anläggningsdelar, svaghetszoner, ytliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde inom Vattenbalansområde 3 Midsommarkransen.

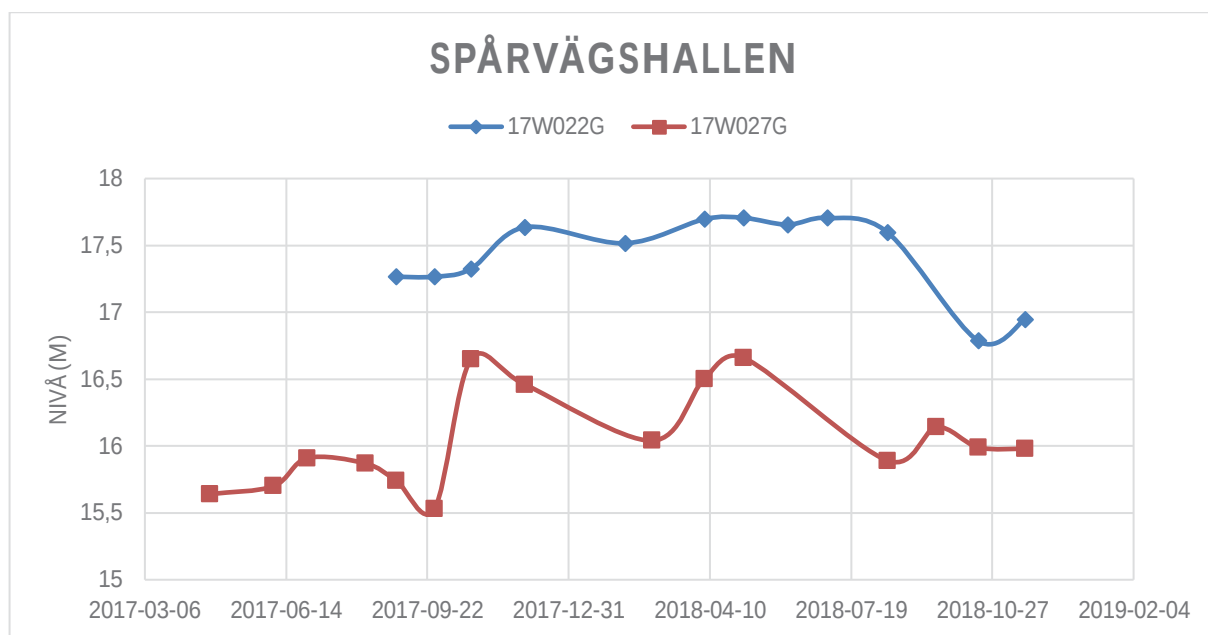
11.3.2 Områdesbeskrivning

Inom vattenbalansområde 3 *Midsommarkransen* finns tre lerområden som sammanfaller med tre undre grundvattenmagasin, se figur 31.

Spårvägshallen

Markytan i lerområdets västra del ligger på ca +20 och sluttar ner mot Liljeholmskajen i öst där markytan ligger på ca +3. Lerområdet ligger ovan en större deformationszon, se figur 31. I grundvattenmagasin *Spårvägshallen* finns två grundvattenrör installerade, 17W022G och 17W027G. Grundvattnet strömmar i det undre magasinet från väst till öst mot Liljeholmskajen (Mälaren), se figur 31. Norr, söder och väster om lersvackan finns högre berglägen med morän och ytligt berg. Figur 28 i avsnitt 11.2.2 visar en geologisk profil över de två lerområdena Aspudden och Spårvägshallen.

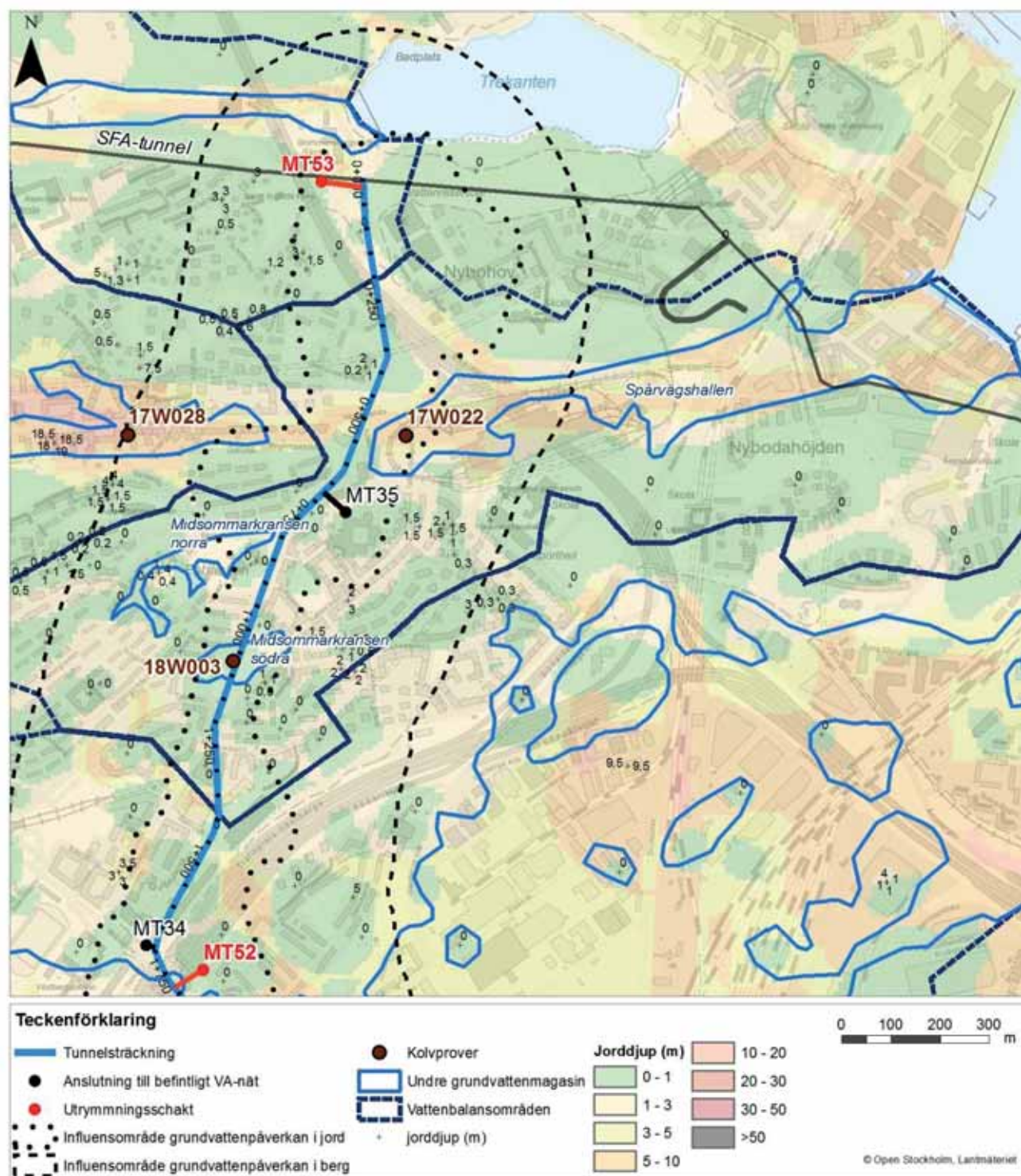
Grundvattennivån i grundvattenrör 17W022G ligger runt +17,5 med variationer på ca 1 m och grundvattennivån i grundvattenrör 17W027G ligger runt +16 med variationer på ca 1 m, se figur 32. Grundvattnets trycknivå ligger i punkt 17W022 mellan 2,8-3,3 meter under markytan, dvs ca en meter ner i leran.



Figur 32 Grundvattentrycknivå i grundvattenmagasin Spårvägshallen.

Lerans mäktighet avtar öster ut och i undersökningspunkt 17W027 är lerans mäktighet ca 4 meter. I undersökningspunkt 17W022 består jorden av 1,8 meter fyllning ovan 7,2 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Övre delen av leran är av torrskorpekaraktär. Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i punkt 17W022, se figur 33 som visar jorddjup, kolvprovtagning och influensområde inom vattenbalansområde 3. Leran i området, i anslutning till undersökningspunkt 17W022, bedöms inte vara helt konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i denna del av området. Leran bedöms vara sättningsbenägen vid en sänkning av grundvattnets trycknivå. Grundvattentrycksänkningen i området där Nybodadepån ligger

bedöms som mest bli ca 1-2 meter i den västra delen av magasinet. Där avsänkningen bedöms som störst är lerdjupet som minst inom magasinet Spårvägshallen. I den västra delen av magasinet där trycksänkning av grundvattennivån kan uppgå till 2 meter beräknas sättningarna i området efter 100 år bli ca 3 cm. Sättningarna sker relativt snabbt efter avsänkt trycknivå, efter 1 år beräknas sättningarna bli ca 2 cm och efter 10 år bli ca 3 cm. Närmare undersökningspunkt 17W022 där Nybodadepån är belägen är lerdjupet mäktigare men grundvattentrycksänkningen beräknas bli mindre. Sättningarna beräknas efter 100 år bli som mest 5 cm. Sättningarna sker långsammare här än i den västra delen, efter 2 år beräknas sättningarna bli ca 2 cm och först efter 10 år beräknas sättningarna bli ca 4 cm. Vid beaktande av skineffekt enligt kapitel 8.4.2 beräknas dock en mer sannolik sättning efter 100 år bli ca 2 cm. Inga skadeområden finns identifierade i området sedan tidigare.

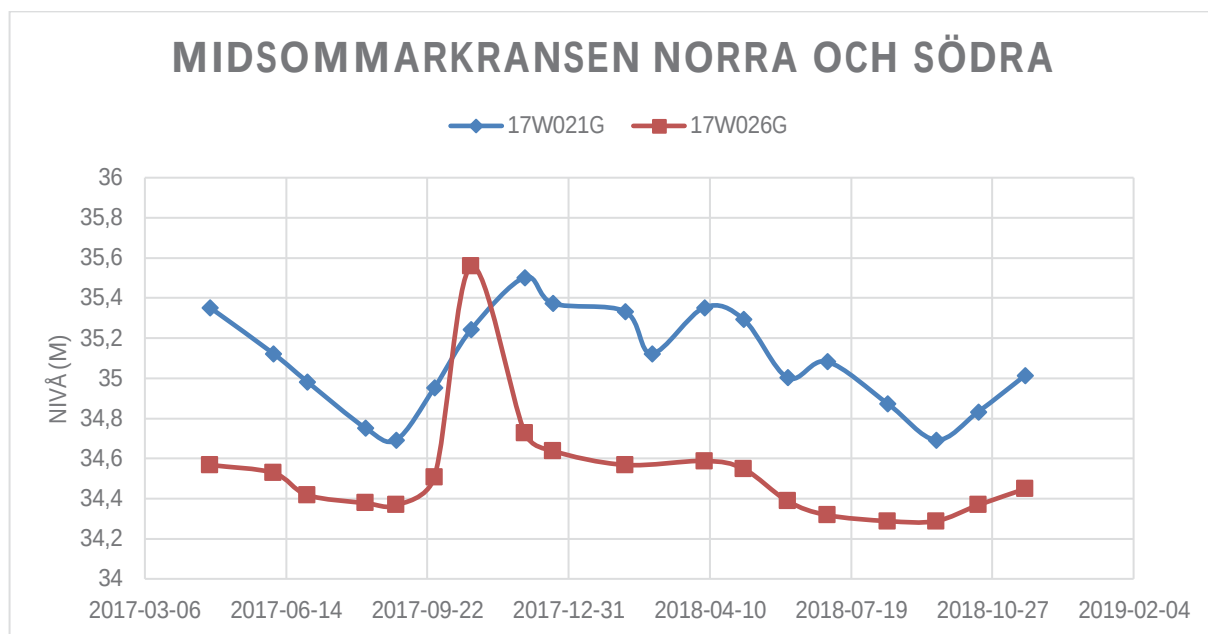


Figur 33 Mässtunneln, anläggningsdelar, jorddjup, kolvprovtagning och influensområde inom vattenbalansområde 3 Midsommarkransen.

Midsommarkransen norra och Midsommarkransen södra

Inom vattenbalansområdet finns också två mindre lerområden som sammanfaller med två undre grundvattenmagasin, *Midsommarkransen norra* och *Midsommarkransen södra*, varav det södra ligger rakt ovan den planerade tunnelsträckningen. De båda grundvattenmagasinen ligger på en höjd där markytan varierar mellan ca +35 och +38 och är omgivna av högre berglägen.

Grundvattnets trycknivå i grundvattenrör 17W026G som är installerat i grundvattenmagasin *Midsommarkransen norra* ligger runt +34,5 med variationer på ca 1 m, se figur 34. Grundvattentrycksänkningen bedöms som mest bli ca 1-3 meter i den östra delen av magasinet. Där avsänkningen bedöms som störst är lerdjupet som minst. I undersökningspunkt 17W026 består jorden av ca 2,5 meter fyllning ovan ca 3 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Sättningsarna i området beräknas efter 100 år bli ca 3 cm.



Figur 34 Grundvattentrycknivå i grundvattenmagasin *Midsommarkransen norra* och *södra*.

Nivån i grundvattenrör 17W021G som är installerat i grundvattenmagasin *Midsommarkransen södra* ligger runt +35 med variationer på ca 1 meter, se figur 34. Grundvattentrycksänkningen bedöms som mest bli ca 1 meter i den centrala delen av magasinet. I undersökningspunkt 17W021 består jorden av ca 5 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Sättningsarna i området beräknas efter 100 år bli ca 1 cm.

Vattenbalans

Den beräknade bortledningen av grundvatten via Mässtunneln har beräknats till ca 33 % av grundvattenbildningen i området. Bortledningen av grundvatten via SFA har beräknats till ca 18 % av grundvattenbildningen i området. Vattenbalansberäkningarna uppskattar att utflödet från det undre grundvattenmagasinet till Mälaren är ca 200 L/min innan byggandet av Mässtunneln och SFA-tunneln och 55 L/min efter. Grundvattenmagasinen inom

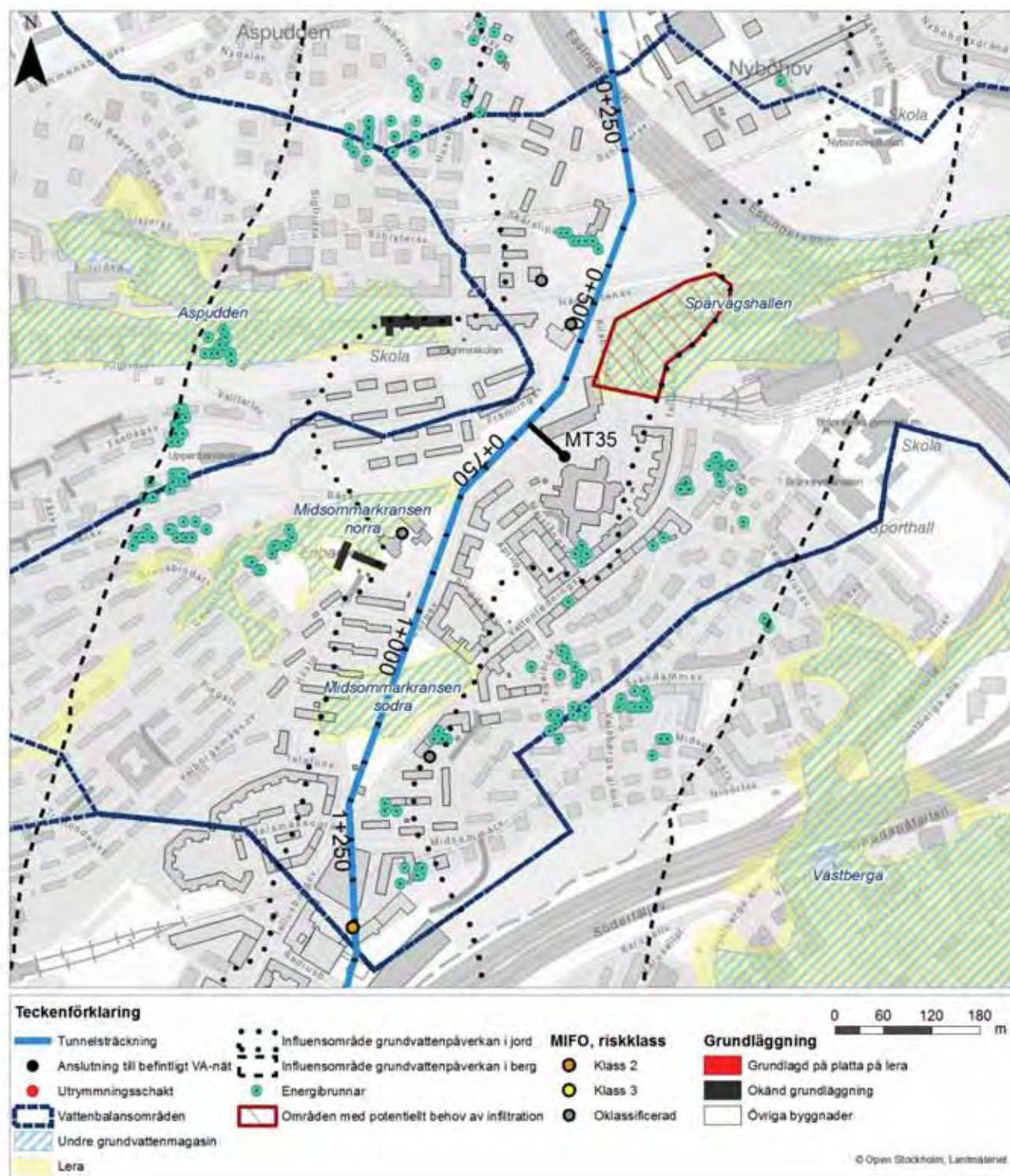
vattenbalansområdet bedöms som känsliga för vattenbalansförändringar då grundvattenbildningen begränsas av att tillrinningsområdet är litet och den del av tillrinningsområdets yta där grundvattenbildning kan ske till stor del består av högurbant område. Det finns redan många dränerande anläggningar inom området och midsommarkransen är ett av de två vattenbalansområden där vattenbalansen kommer att påverkas av både Mässtunneln och SFA-tunneln. När båda tunnarna är byggda kommer ca 80 % av grundvattenbildningen dräneras bort till undermarksanläggningar i berg (inklusive i dagsläget befintliga anläggningar). Det område som är känsligt för grundvattensänkning inom vattenbalansområdet är *Spårvägshallen*.

11.3.3 Motstående intressen

11.3.3.1 Byggnader och anläggningar

Inom grundvattenmagasin och lerområde *Spårvägshallen* finns Nybodadepån. Det bedöms finnas pågående marksättningar i området där Nybodadepån är belägen och lera är sättningsbenägen. Sättningarna beräknas efter 100 år bli som mest ca 4-5 cm i området. Spårområdet ligger cirka 60 meter från tunneln, se figur 35. Parallellt med Nybodadepån går Hägerstensvägen och Essingeleden korsar området. Vägarna bedöms inte som känsliga för sättningar då de är grundlagda på fast mark. Inga byggnader med känslig grundläggning förekommer inom området *Spårvägshallen*.

I utkanten av influensområdet i grundvattenmagasin och lerområde *Midsommarkransen norra* finns en byggnad med okänd grundläggning på lera, byggnaden ligger ca 60 meter från tunnelsträckningen. I området där byggnaden ligger är jorrdjupet och därmed också lerdjupet litet och det bedöms inte finnas något permanent undre grundvattenmagasin. Byggnaden är därmed inte känslig för en grundvattentrycksänkning. Inom område *Midsommarkransen södra* finns inga sättningskänsliga byggnader eller anläggningar.



Figur 35 Byggnader anläggningar, energibrunnar och MIFO-objekt inom vattenbalansområde 3 Midsommarkransen.

11.3.3.2 Energibrunnar

Inom influensområdet för berg finns ca 95 energibrunnar inom vattenbalansområdet. De energibrunnar som ligger närmast tunnelsträckningen finns framförallt i den norra och södra delen av vattenbalansområdet. Där den närmaste brunnen i norr ligger ca 30 meter från

tunnelsträckningen och den närmaste i söder ca 60 meter från tunnelsträckningen. De brunnar som ligger närmast tunnellen kan påverkas av en trycksänkning i berget med minskade vattennivåer och minskat energiuttag som följd.

11.3.3.3 Ledningar

Under Tellusborgsvägen som korsar lerområde och grundvattenmagasin *Midsommarkransen södra* finns en fjärrvärmeledning med dimension 1200 mm i diameter. Fjärrvärmeledningen bedöms som känslig för sättningar. Sättningarna i området beräknas efter 100 år bli max ca 5 cm. Under Kilabergsvägen som går precis i utkanten av lerområde och grundvattenmagasin *Spårvägshallen* finns två huvudvattenledningar som tillhör SVOA med dimension 1000 mm i diameter, ledningarna bedöms som känsliga för sättningar. Sättningarna i området beräknas efter 100 år bli maximalt ca 3 cm. I alla tre områdena finns servisledningar till byggnader som kan vara känsliga för sättningar.

11.3.3.4 Naturmiljö

Inga naturmiljöer som kan påverkas av en grundvattensänkning finns identifierade inom influensområdet.

11.3.3.5 Föroreningar

Det finns ett MIFO-objekt med riskklass 2 inom influensområde för grundvattenpåverkan i jord. Riskobjektet är en verksamhet för ytbehandling av metaller och ligger rakt ovan tunnelsträckningen. Inom influensområde för grundvattenpåverkan i jord finns även fyra oklassade MIFO-objekt. Inget av objekten ligger i områden med ett undre grundvattenmagasin.

11.3.4 Skyddsåtgärder

För det aktuella tunnelavsnittet kommer kontinuerlig förinjektering utföras längs hela sträckan. Injekteringsklass 1A kommer att användas delar av sträckan och i områden där det ställs högre krav på täthet kommer injekteringsklass 1B användas, se Tabell 2 kapitel 9.2 och Bilaga E Teknisk beskrivning för beskrivning av injekteringsklasser. Efterinjektering utförs för att täta läckande sprickor eller tunnelavsnitt med större inläckage. Under anläggningsskedet sker kontinuerlig uppföljning av grundvattennivåer och grundvatteninläckage till tunneln.

I område *Spårvägshallen* kommer beredskap för skyddsinfiltration att finnas. Skyddsinfiltrationen bedöms bli begränsad i tid, till framförallt byggskede och eventuellt tills skinneffekt utbildats och grundvattentrycknivån återhämtat sig så att det inte finns risk för ytterligare sättningar. Grundvattnets trycknivå och sättningar kommer att mätas och utvärderas kontinuerligt inom kontrollprogrammet. Figur 35 visar det aktuella området för ytterligare skyddsåtgärd.

11.4 Vattenbalansområde Västberga

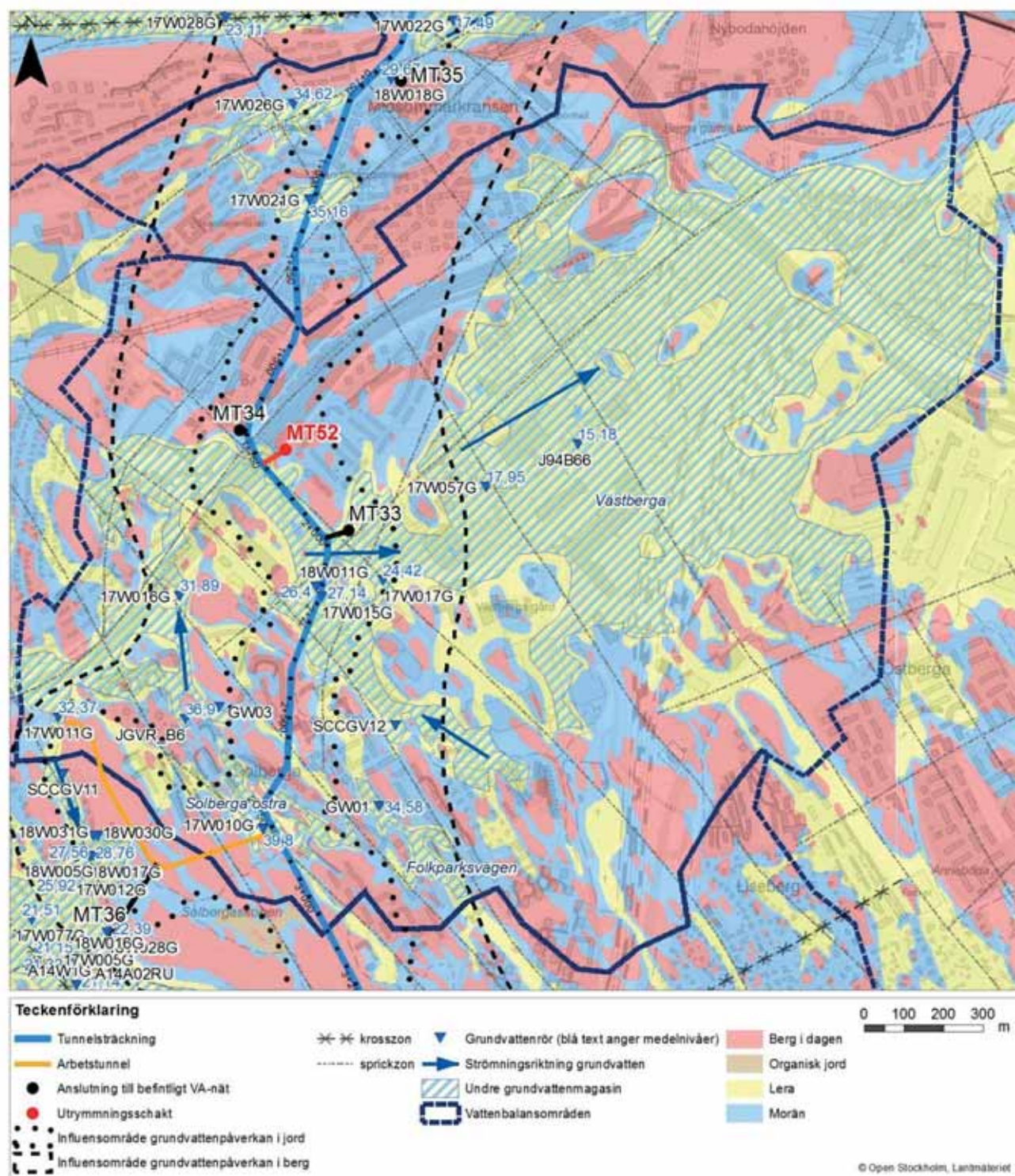
11.4.1 Anläggning Im 1 +400 – 3 +100

I figur 36 visas tunnelsträckning hydrogeologi och ytliga jordarter inom vattenbalansområde *Västberga*. I vattenbalansområdets norra del mellan Im 1 +400 och 1 +750 går tunneln under en bergrygg med en maximal höjd om ca +50. Vid Im 1 +690 kommer en ca 20 meter lång nisch anläggas som ansluter till VA-nätet via anslutningspunkt MT34 Mikrofonvägen.

Tunneln fortsätter mellan Im 1 +750 och 2 +300 under ett större lerområde, med benämningen *Västberga*, där markytan ovan tunnelsträckningen är flack och varierar mellan ca +29 och +32. Vid Västbergamotet planeras en utrymningsväg till Mässtunneln via ett vertikalschakt, MT52 som ansluter till tunneln, via en ca 70 m lång nisch vid Im 1 +785. Vid Elektravägen kommer en markförlagd VA-ledning ansluta till tunneln via borrhål i berg vid längdmätning 2 +030.

Mellan Im 2 +300 och 2 +675 och går tunneln under ett område med morän och berg i dagen med höjder mellan +35 och +45. Söder om Im 2 +675 går tunneln åter under ett lerområde med benämningen *Solberga östra*, som sträcker sig fram till Im 2 +900 där tunneln går in under ett större område med höga berglägen med en maximal höjd om ca +50.

Vid Im 2 +815 ansluter arbetstunneln som mynnar i Solberga. Arbetstunnelns längd är ca 750 meter, varav tunnelns första 150 m från påslaget och tunnelns sista 180 meter ligger inom vattenbalansområde Västberga. Nedan beskrivs de lerområden och grundvattenmagasin som tunneln passerar mer ingående.



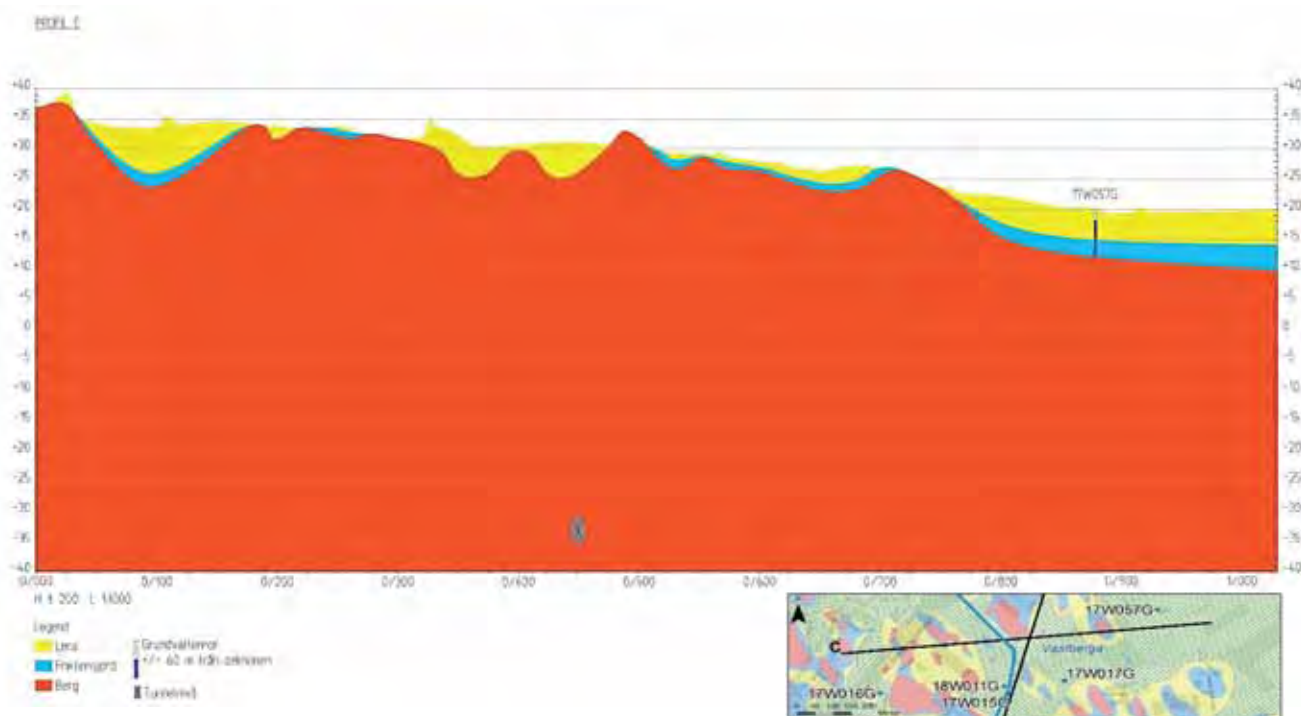
Figur 36 Mässtunneln och anläggningsdelar, ytliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde inom Vattenbalansområde 4 Västberga.

11.4.2 Områdesbeskrivning

Inom vattenbalansområde 4 Västberga finns tre undre grundvattenmagasin som sammanfaller med tre lerområden, varav ett större även det betecknat Västberga.

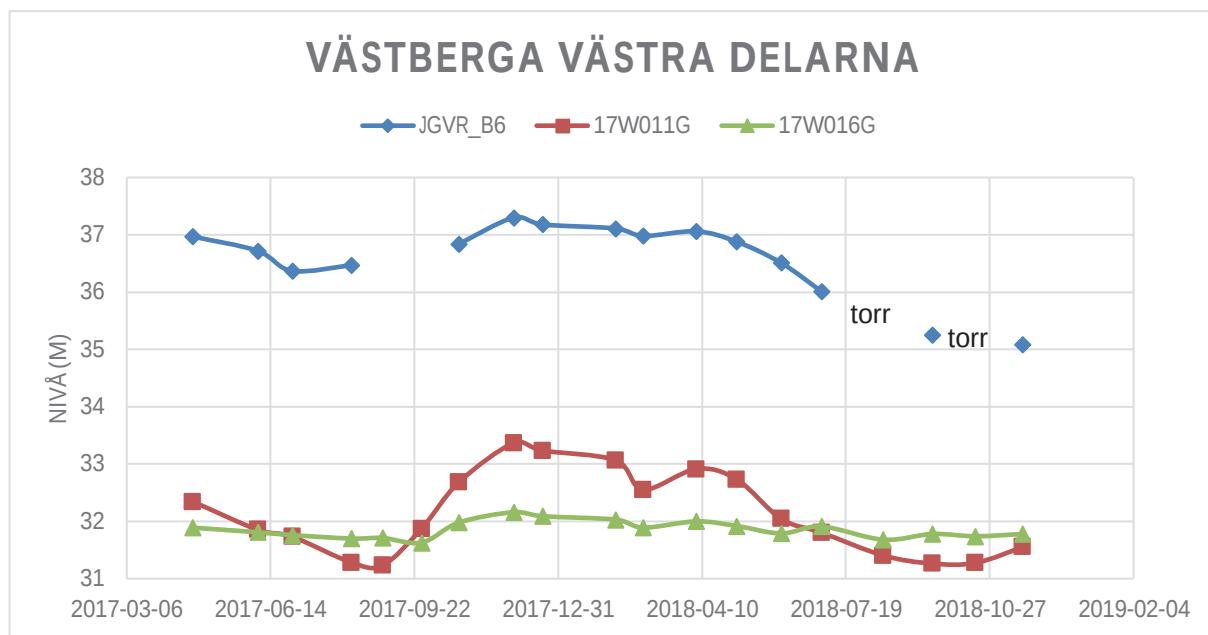
Västberga

Markytan i lerområdets västra del ligger på ca +35 och sluttar ner mot öst där markytan ligger på ca +20, se figur 37 som visar en geologisk profil från väst till öst över lerområde Västberga. Lerområdet sträcker sig öster om tunnelsträckningen mot Östberga och fortsätter österut mot Enskede. Jorddjupet inom detta område är uppskattat till 1-14 meter och ökar österut mot Enskede. Ett antal svaghetszoner finns under lerområdet framförallt i nord-sydlig riktning och sydväst-nordöstlig riktning, se figur 36.

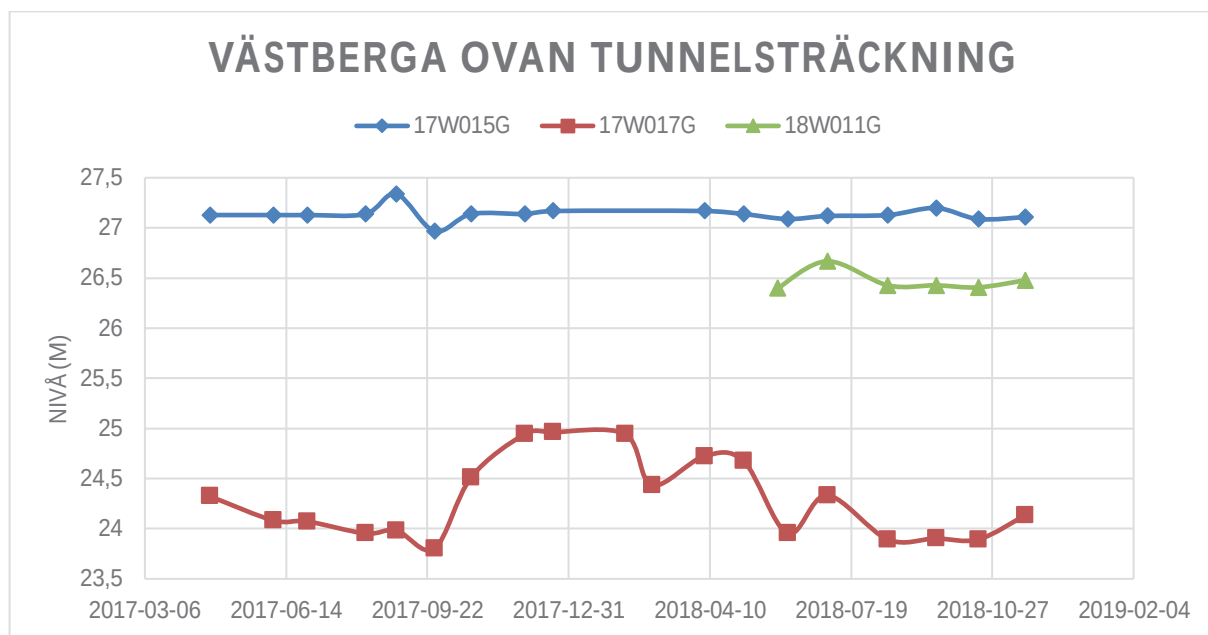


Figur 37 Geologisk profil från väst till öst i lerområdet Västberga.

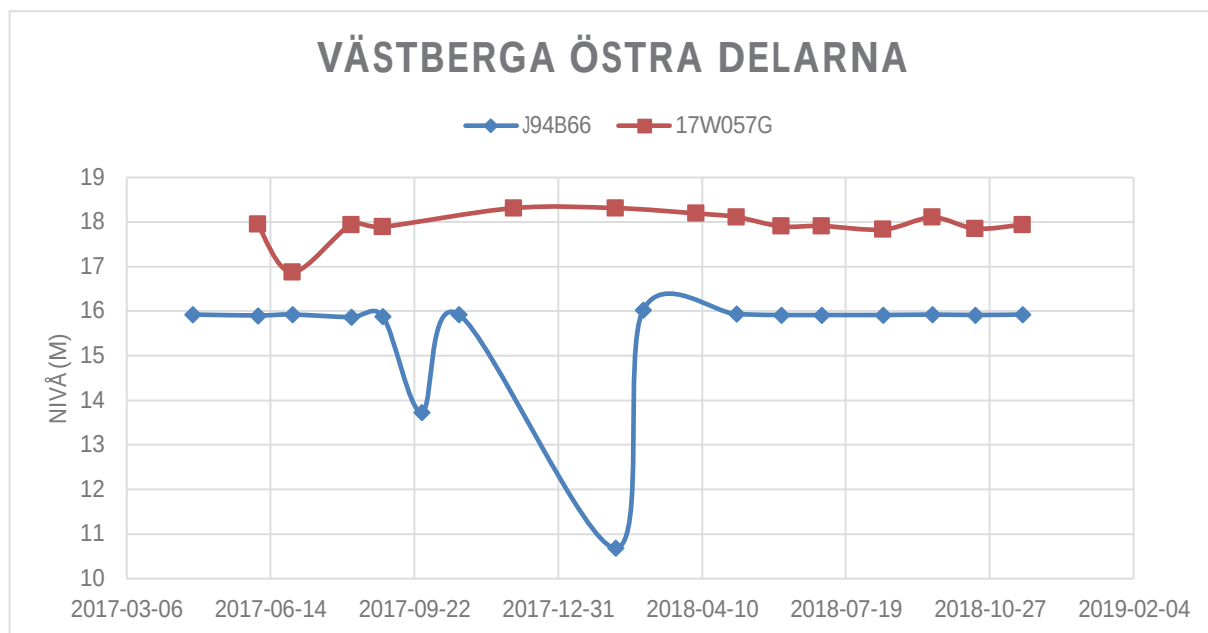
I grundvattenmagasin *Västberga* finns sex grundvattenrör installerade inom projektet. Ytterligare sex rör finns installerade sedan tidigare i andra projekt. Grundvattnet strömmar i det undre magasinet från sydväst till nordöst mot Årstaviken (Mälaren), se figur 36. Norr och söder om lersvackan finns högre berglägen med morän och ytligt berg. Grundvattennivån i rören väster om tunnelsträckningen ligger runt +37 - +31 med årstidsvariationer på ca 2 m, se figur 38. Grundvattentrycknivån i den delen av magasinet som ligger ovan tunnelsträckningen ligger på runt +24 - +27, se figur 39. Grundvattennivån i rören öster om tunnelsträckningen ligger runt + 18 - + 25,5 med variationer på ca 1 meter, se figur 40. Grundvattentrycksänkningen i området bedöms som mest bli ca 3 meter rakt ovan tunnelsträckningen för att snabbt avta mot kanterna av influensområdet.



Figur 38 Grundvattentrycknivå i de västra delarna av grundvattenmagasin Västberga.



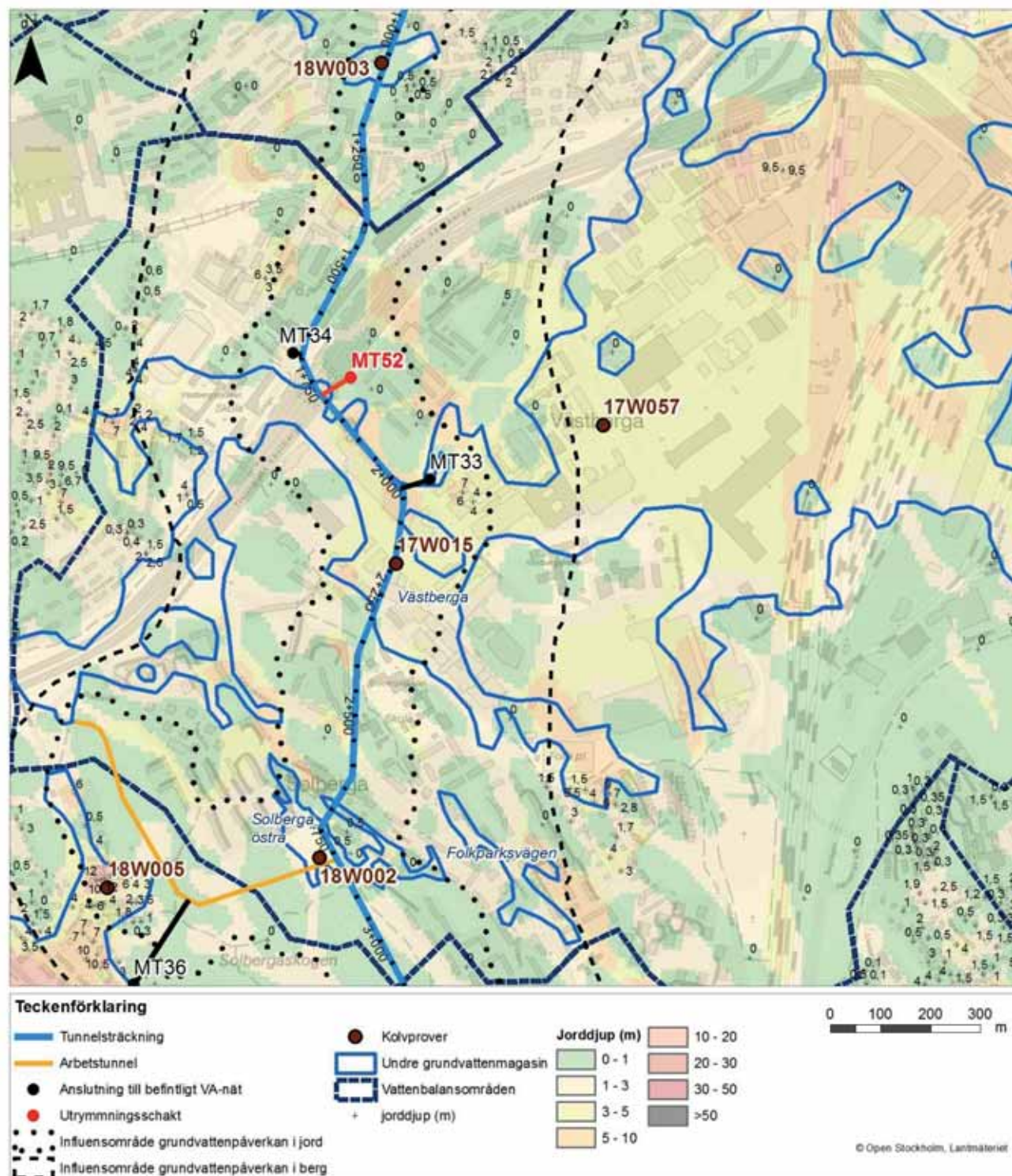
Figur 39 Grundvattentrycknivå ovan tunnelsträckningen i grundvattenmagasin Västberga.



Figur 40 Grundvattentrycknivå i de östra delarna av grundvattenmagasin Västberga.

I undersökningspunkt 17W015 som ligger rakt ovan tunnelsträckningen består jorden av 1,5 meter fyllning och 2,5 meter torrskorpelera ovan 4,5 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i två punkter, 17W015 och 17W057. Provtagningspunkt 17W057 ligger utanför influensområdet och bedöms inte ha jordegenskaper representativa för området.

Leran i området i anslutning till undersökningspunkter 17W015, bedöms vara normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar pågår på grund av krypsättningar och leran bedöms vara sättningsbenägen vid grundvattensänkning. Sättningarna i området beräknas efter 100 år bli som mest ca 12 cm. Detta är dock inte troligt eftersom skinneffekten med tiden kommer att minska inläckaget (se kapitel 8.4.2) och därmed minska trycksänkningen. En mer sannolik sättning efter 100 år kan beräknas till 6 cm. Sättningarna utbildas snabbt och redan efter 1 år beräknas de bli ca 6 cm.

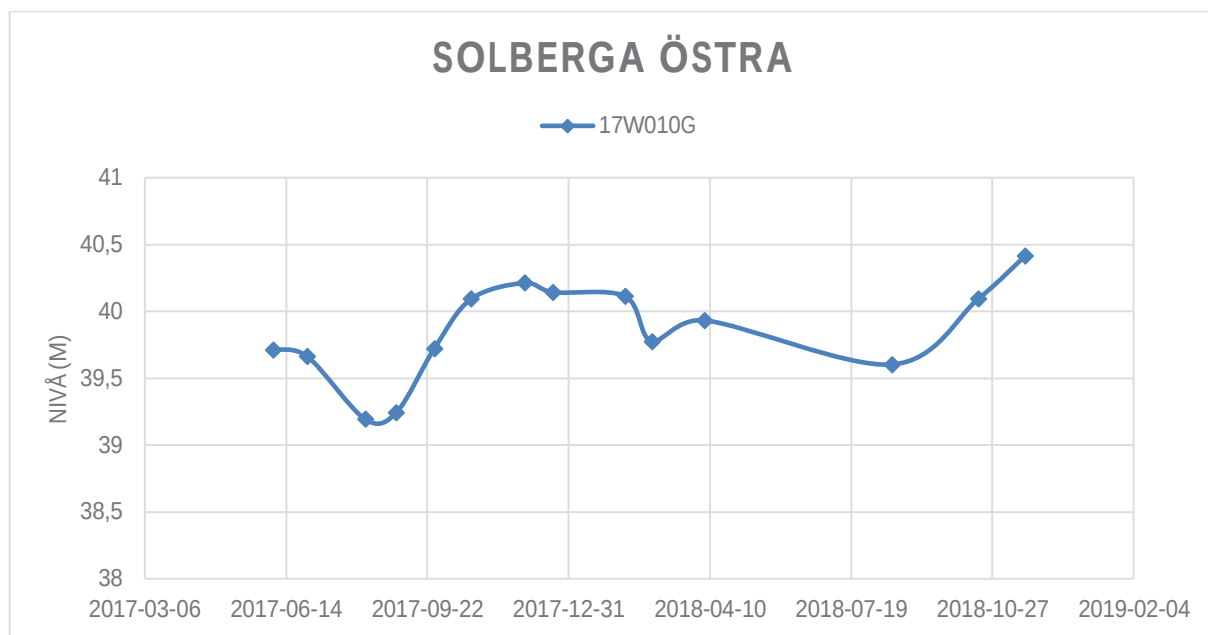


Figur 41 Mässtunneln, anläggningsdelar, jorddjup, kolvprover och influensområde inom vattenbalansområde 4 Västberga.

Solberga östra och Folkparksvägen

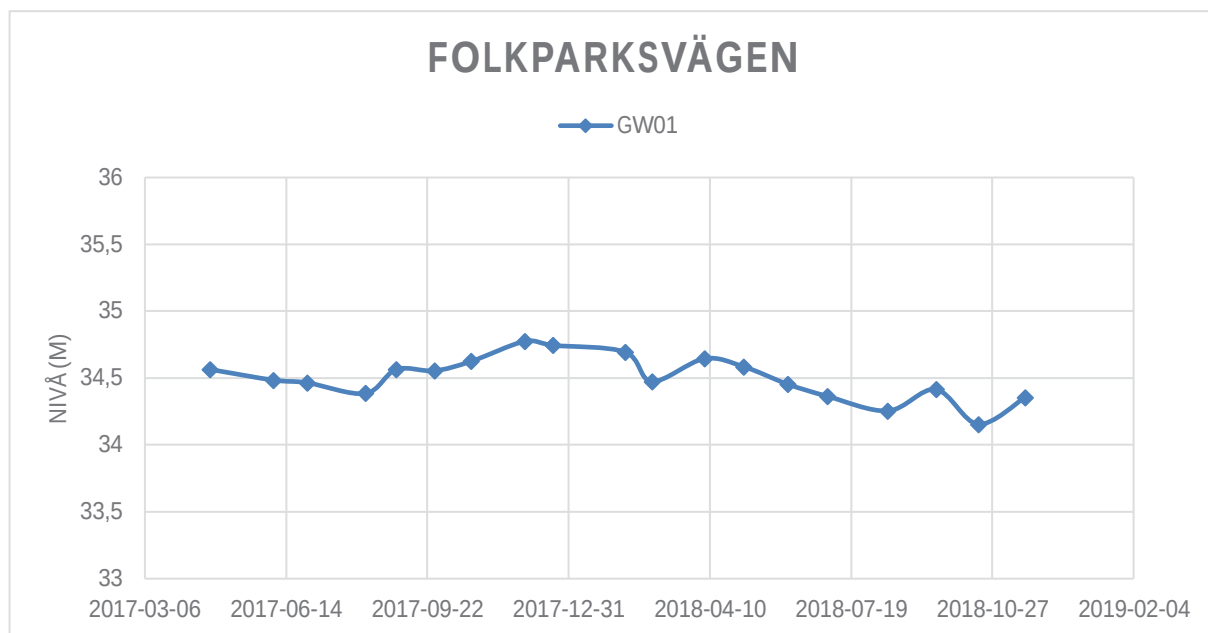
Inom vattenbalansområdet finns utöver lerområde *Västberga* två mindre lerområden, *Solberga östra* och *Folkparksvägen*, se figur 44. *Solberga östra* ligger ovan tunnelsträckningen i det område där arbetstunneln ansluter till Mässtunneln. Lerområdet är flack med en markyta mellan +40 och +42 inom området finns också ett undre grundvattenmagasin med samma benämning.

Grundvattennivån i grundvattenrör 17W010G som sitter i grundvattenmagasin *Solberga östra* ligger runt +40 med variationer på ca 1 m, se figur 42. I undersökningspunkt 18W002 består jorden av cirka 0,9 meter fyllning på 2,1 meter torrskorpelera ovan 1,7 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Grundvattentrycksänkningen i området bedöms som mest bli ca 3 meter rakt ovan tunnelsträckningen (lokalt 3,5 meter). Vid en grundvattensänkning på 3 meter beräknas sättningarna efter 100 år som mest bli ca 1 cm. Inga skadeområden finns identifierade ännu.



Figur 42 Grundvattentrycknivå i grundvattenmagasin Solberga östra.

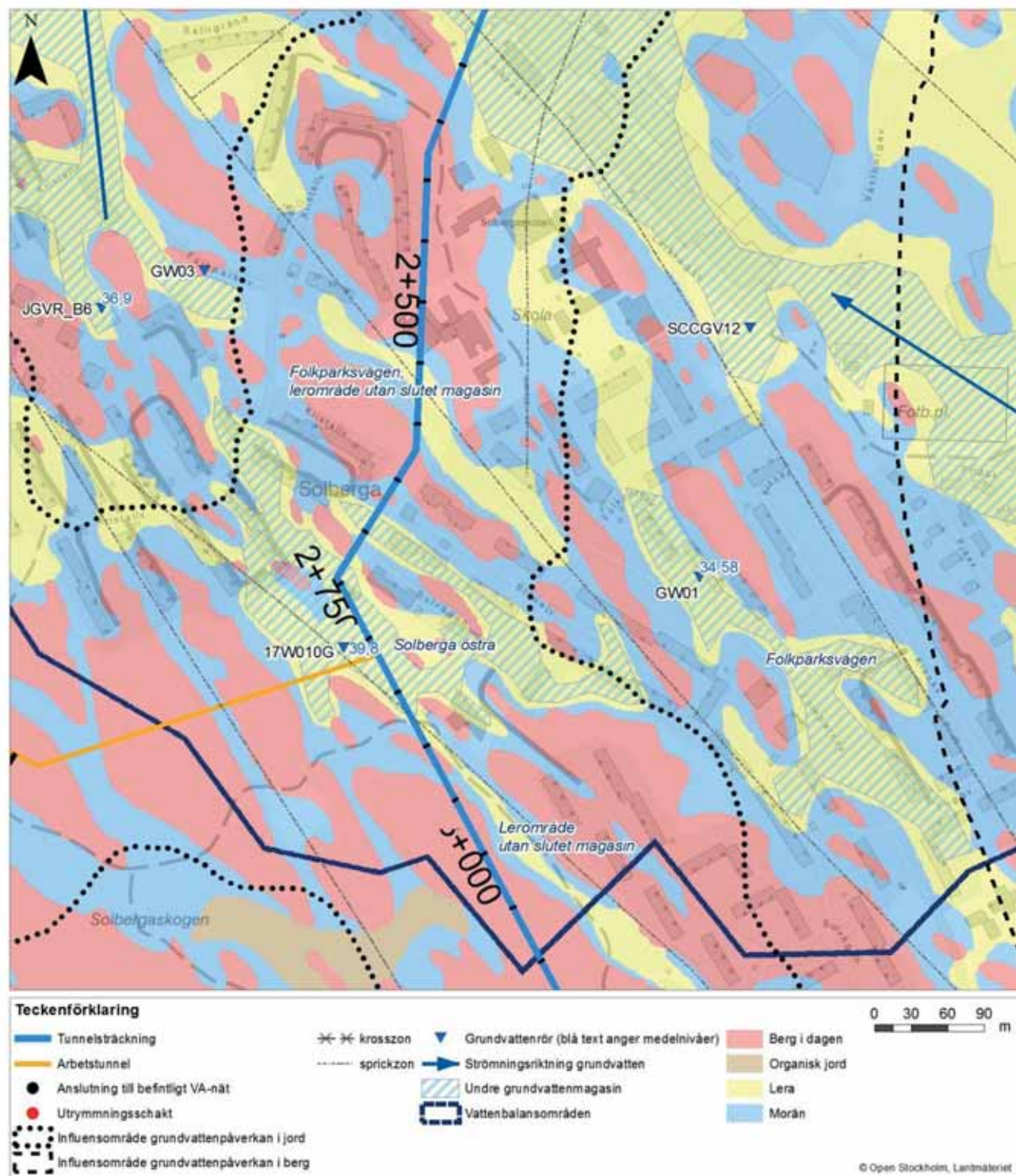
Område *Folkparksvägen* består av två flacka lerområden varav det ena ligger rakt ovan tunnelsträckningen och det andra öster om tunnelsträckningen, utanför influensområdet för jord. Lerområdet rakt ovan tunnelsträckningen har ett jorddjup på maximalt ca 3 m och jordlagren är sannolikt torra hela eller merparten av året, inget slutet magasin bedöms förekomma i detta område, vilket bekräftas av geotekniska undersökningar. Lerområdet öster om tunnelsträckningen har ett jorddjup på 3-10 och sammanfaller med ett undre grundvattenmagasin med benämningen *Folkparksvägen*. Nivån i grundvattenrör GW01 (GV0306) som sitter i grundvattenmagasin *Folkparksvägen* ligger runt +34,5 med variationer på ca 0,6 meter, se figur 43.



Figur 43 Grundvattentrycknivå i grundvattenmagasin Folkparksvägen.

Vattenbalans

Den beräknade bortledningen av grundvatten via Mässtunneln har beräknats till ca 24 % av grundvattenbildningen i området. Vattenbalansberäkningarna uppskattar att utflödet från det undre grundvattenmagasinet till Mälaren är ca 570 L/min innan byggandet av Mässtunneln och 425 L/min efter. Grundvattenmagasinen i vattenbalansområdet bedöms som mindre känsliga för vattenbalansförändringar då det finns ett överskott av vatten (utflöde till Mälaren) efter byggandet av Mässtunneln. Tillrinningsområdet är stort och den del av tillrinningsområdets yta där grundvattenbildning kan ske består till stor del av medelurbant område. De dränerande anläggningar som finns inom området beräknas endast leda bort ca 7% av grundvattenbildningen.



Figur 44 Mässtunneln och anläggningsdelar, ytliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde inom områdena Solberga östra och Folkparksvägen.

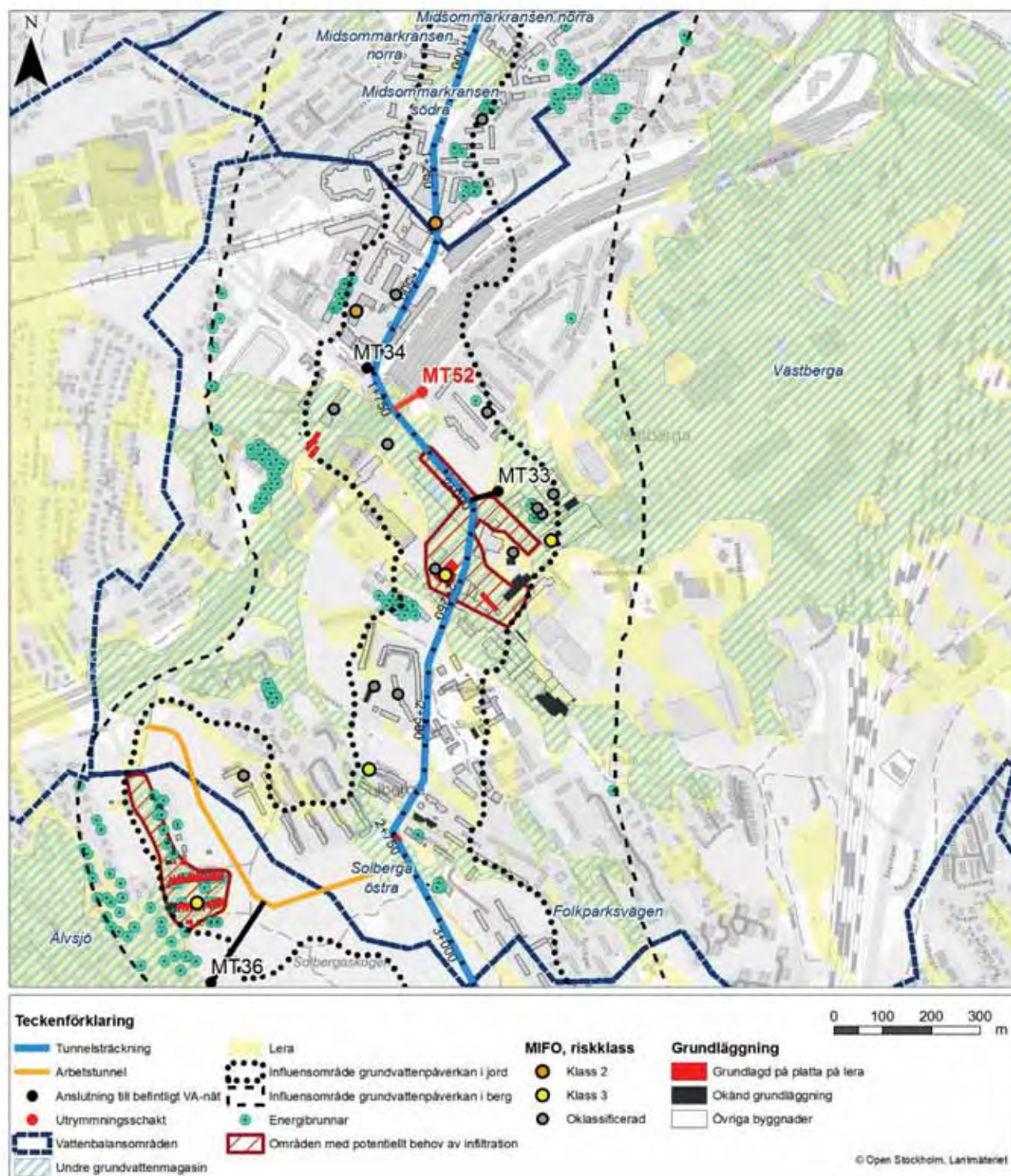
11.4.3 Motstående intressen

11.4.3.1 Byggnader och anläggningar

Inom område *Västberga* finns fyra byggnader grundlagda på lera. Två av byggnaderna ligger nära tunnelsträckningen, den närmaste 12 meter nordväst om tunnelsträckningen. De andra två byggnaderna ligger i utkanten av influensområdet. Trycksänkningen av grundvattennivån i området där de närmaste två byggnaderna ligger bedöms bli 1-4 m. Leran bedöms vara sättningsbenägen vid grundvattennivåtrycksänkning. Vid en trycksänkning av grundvattennivån på 3 meter beräknas sättningarna i området efter 100 år bli som mest ca 12 cm. Detta är dock inte troligt eftersom skinneffekten med tiden kommer att minska inläckaget (se kapitel 8.4.2) och därmed minska trycksänkningen. En mer sannolik sättning efter 100 år kan beräknas till 6 cm. Sättningarna utbildas snabbt och redan efter 1 år beräknas de bli ca 6 cm.

De andra två byggnaderna grundlagda på lera ligger ca 150 meter från tunnellen där trycksänkningen av grundvattennivån beräknas bli ca 0,3-1 meter. Vid en trycksänkning av grundvattennivån på 1 m beräknas sättningarna i området efter 100 år bli 0 cm, vilket innebär att byggnaderna inte påverkas av en grundvattensänkning. Det finns också två byggnader med okänd grundläggning inom område *Västberga* varav den närmaste ligger ca 80 meter öst om tunnelsträckningen. Trycksänkningen av grundvattennivån i området där byggnaderna ligger bedöms bli 0,3-1 meter. Vid en trycksänkning av grundvattennivån på 1 meter beräknas sättningarna i området efter 100 år bli som mest ca 3 cm. Elektravägen och Västbergavägen går rakt ovan tunnelsträckningen där sättningarna efter 100 år beräknas bli som mest ca 12 cm men även här gäller samma resonemang som ovan.

Inom område *Solberga östra* finns en byggnad grundlagd på lera rakt ovan den planerade tunnelsträckningen, där arbetstunneln ansluter. Trycksänkningen av grundvattennivån i området där byggnaden ligger bedöms bli ca 3 meter. Vid en grundvattensänkning på 3 meter beräknas sättningarna efter 100 år som mest bli ca 1 cm. Det finns också en byggnad med okänd grundläggning ca 20 meter öster om den planerade tunnelsträckningen. Byggnaden ligger i utkanten av lerområdet där jordlagren sannolikt är torra hela eller merparten av året. Sättningarna i området beräknas efter 100 år bli 0 cm.



Figur 45 Byggnader energibrunnar och MIFO-objekt inom vattenbalansområde 4 Västberga.

11.4.3.2 Energibrunnar

Fem energibrunnar finns inom 50 meter från tunnelsträckningen, den närmaste ligger ca 20 meter från tunnelsträckningen. Dessa brunnar kan påverkas av en trycksänkning i berget med minskade vattennivåer och minskat energiuttag som följd. Inom vattenbalansområdet finns ca 150 brunnar totalt.

11.4.3.3 Ledningar

Under Elektravägen och Västbergavägen som båda korsar lerområde och grundvattenmagasin *Västberga* finns dagvattenledningar med dimension 1400 mm i diameter (SVOAs). Ledningarna bedöms som känsliga för sättningar. Sättningarna i områdena beräknas efter 100 år bli som mest ca 12 cm om inläckaget är detsamma över tiden men även här gäller samma resonemang som ovan. I alla tre lerområden finns servisledningar till byggnader som kan vara känsliga för sättningar.

11.4.3.4 Naturmiljö

Delar av Solbergaskogen ligger inom vattenbalansområde *Västberga*. Solbergaskogen ligger inom ett område med berg i dagen och morän. Växtligheten tar således sitt vatten från ytligt markvatten, vilket varierar med årstid samt torr- och nederbördsperioder. Eventuell avsänkning av grundvattennivåer i Solbergaskogen från Mässtunneln kommer således inte att påverka det växttillgängliga vattnet.

11.4.3.5 Föroreningar

Det finns ett MIFO-objekt med riskklass 2, 4 MIFO-objekt med riskklass 3 och 12 oklassade MIFO-objekt inom influensområde för grundvattenpåverkan i jord. Åtta av objekten ligger i områden där det bedöms förekomma ett permanent undre grundvattenmagasin.

11.4.4 Skyddsåtgärder

För det aktuella tunnelavsnittet kommer kontinuerlig förinjektering utföras längs hela sträckan. Injekteringsklass 1A kommer att användas delar av sträckan och i områden där det ställs högre krav på täthet kommer injekteringsklass 1B användas, se Tabell 2 kapitel 9.2 och Bilaga E Teknisk beskrivning för beskrivning av injekteringsklasser. Efterinjektering utförs för att täta läckande sprickor eller tunnelavsnitt med större inläckage. Under anläggningsskedet sker kontinuerlig uppföljning av grundvattennivåer och grundvatteninläckage till tunneln.

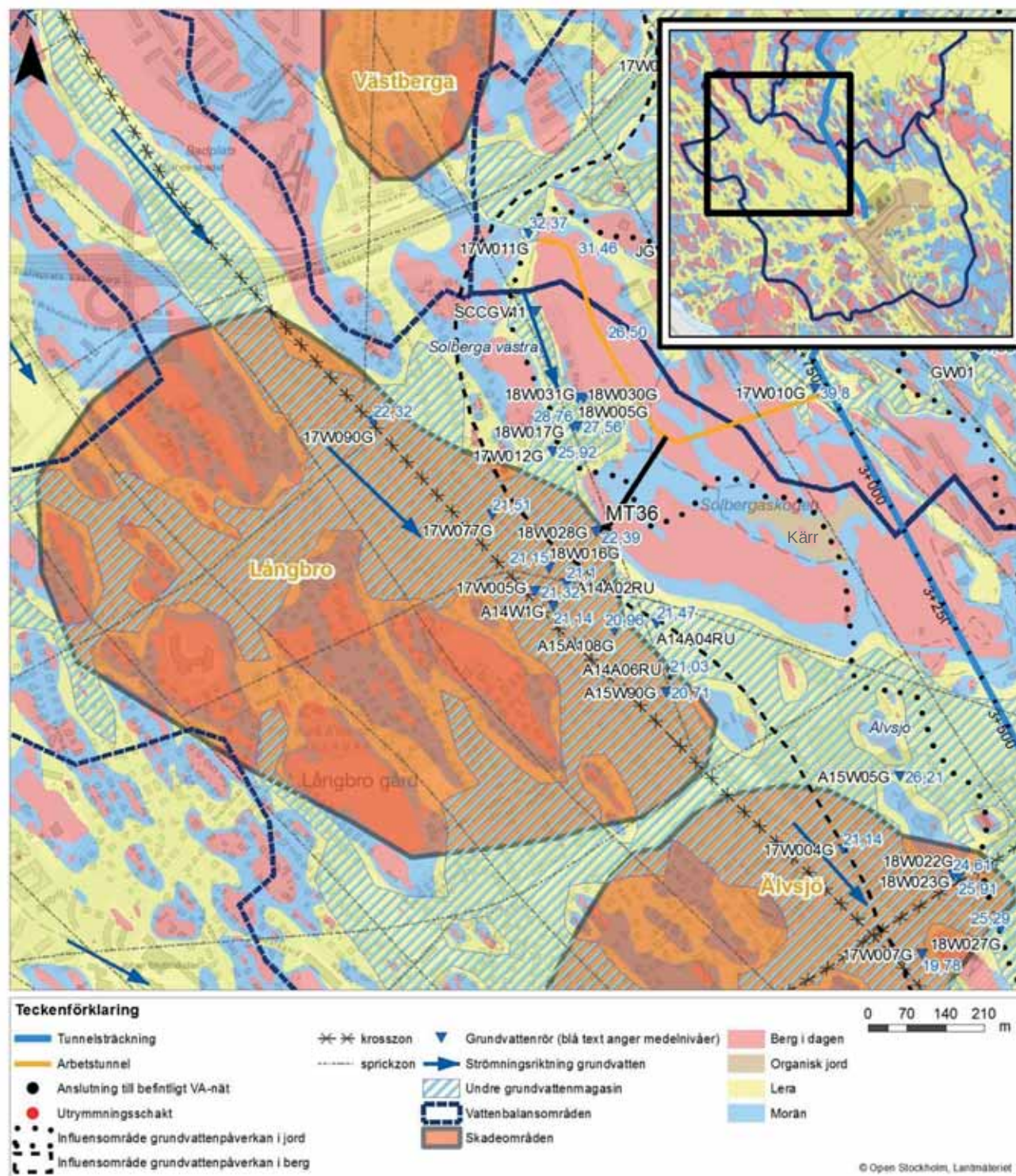
Inom område *Västberga* och *Solberga östra* kommer beredskap för eventuell skyddsinfiltration finnas. Skyddsinfiltrationen bedöms bli begränsad i tid, till framförallt byggskede och eventuellt tills skineffekt utbildats och grundvattentrycknivån återhämtat sig så att det inte finns risk för ytterligare sättningar. Grundvattnets trycknivå och sättningar kommer att mätas och utvärderas kontinuerligt inom kontrollprogrammet. Figur 45 visar det aktuella området för ytterligare skyddsåtgärd.

11.5 Vattenbalansområde Älvsjö

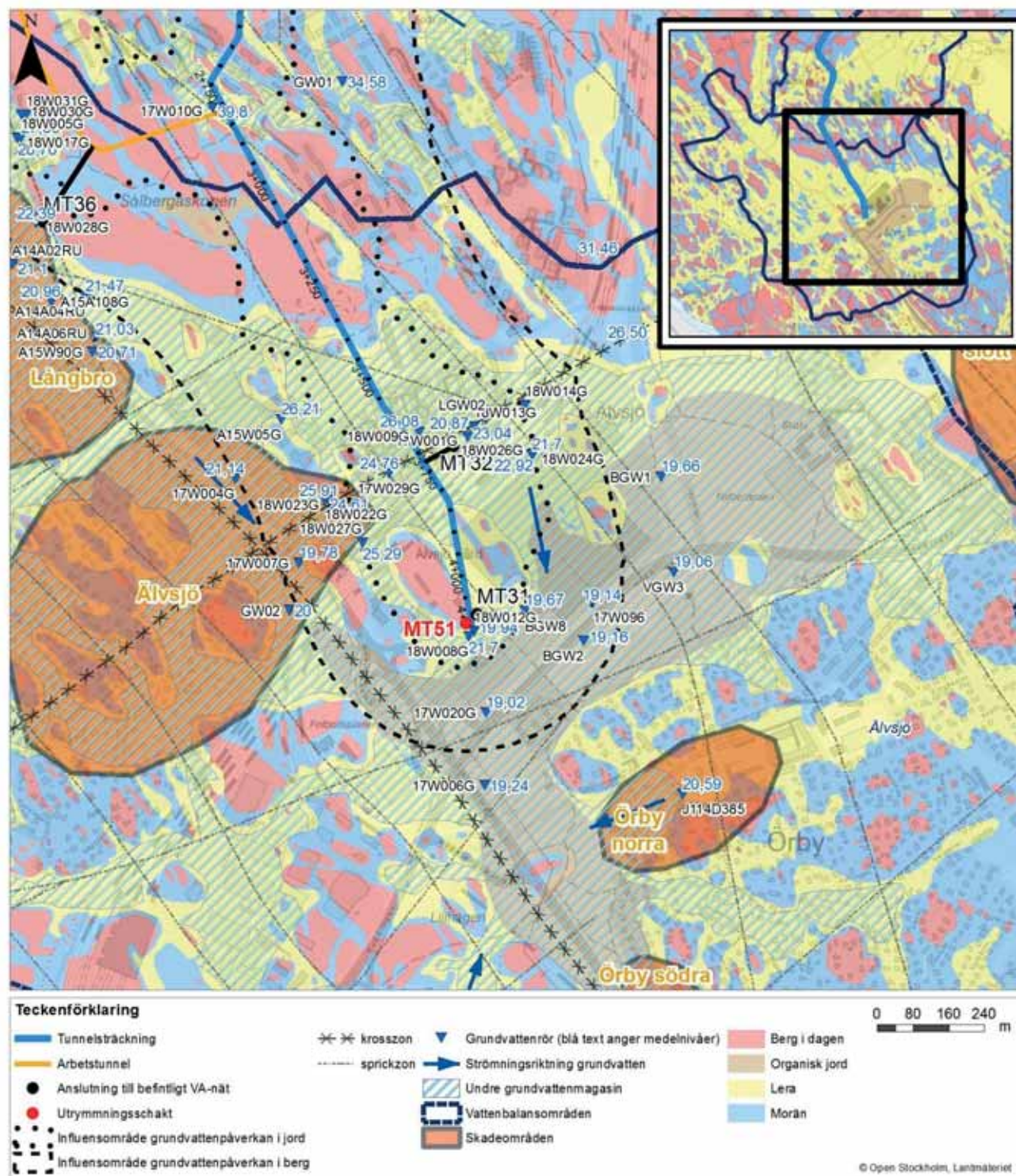
11.5.1 Anläggning lm 3 +100 – 4 +105

I figur 46 och figur 47 visas tunnelsträckning med anläggningsdelar och längdmätning, influensområde, vattenbalansområde, undre grundvattenmagasin, grundvattennivåer och strömningsriktning inom vattenbalansområde Älvsjö.

Tunneln går från lm 3 +100 till 3 +450 under ett område med morän och berg i dagen. Tunneln fortsätter mellan lm 3 +450 och 3 +750 under ett större lerområde med benämningen Älvsjö. Vid längdmätning 4 +090 finns en anslutningspunkt till VA-nätet, anslutningspunkt MT31. Vid tunnelns slut vid längdmätning 4 +105 planeras en utrymningsväg till Mässtunneln via ett vertikalschakt (MT51) som ansluter till tunneln via en ca 8 m lång nisch. Delar av arbetstunneln kommer, vid Solberga, att gå genom vattenbalansområde Älvsjö.



Figur 46 Mässtunneln och anläggningsdelar, ytliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde inom den nordöstra delen av Vattenbalansområde 5 Älvsjö.



Figur 47 Mässtunneln och anläggningsdelar, ytliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde inom den södra delen av Vattenbalansområde 5 Älvsjö.

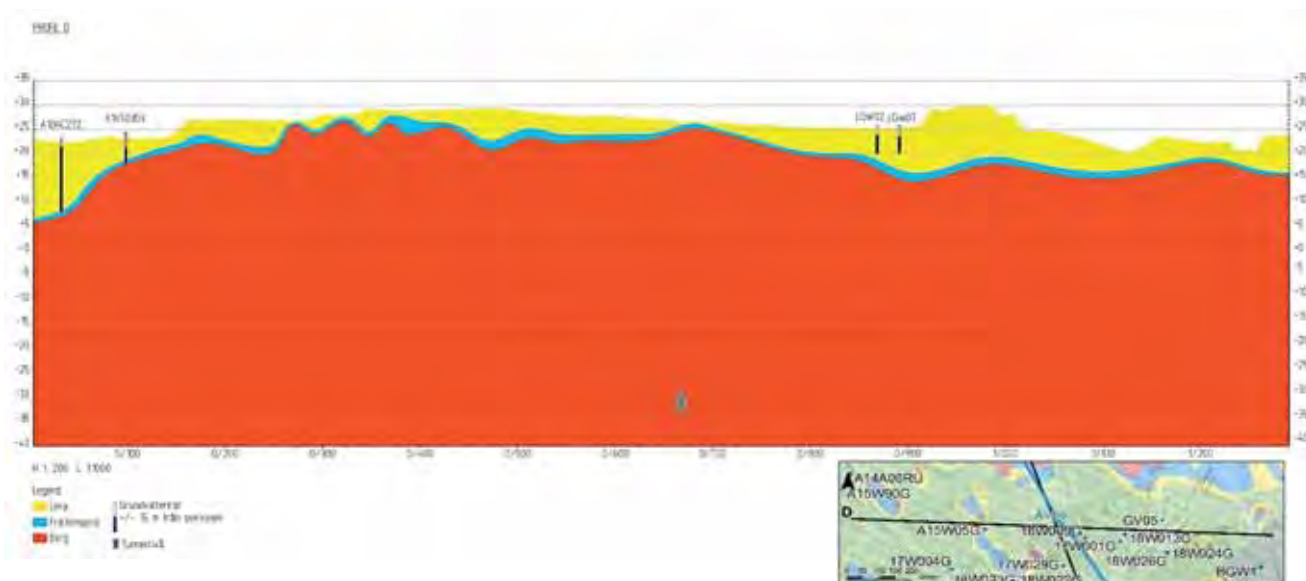
11.5.2 Områdesbeskrivning

Vid längdmätning Im 3+700 i Älvsjö finns en svaghetszon markerad på den byggnadsgeologiska kartan, se figur 47. Kartering av berghällar samt en sprickkartering i en befintlig tunnel som är belägen väster om den planerade Mässtunneln har gjorts för att hitta svaghetszonen men ingen av undersökningarna har kunnat bekräfta dess existens, därför råder osäkerhet om denna svaghetszon verkligen existerar.

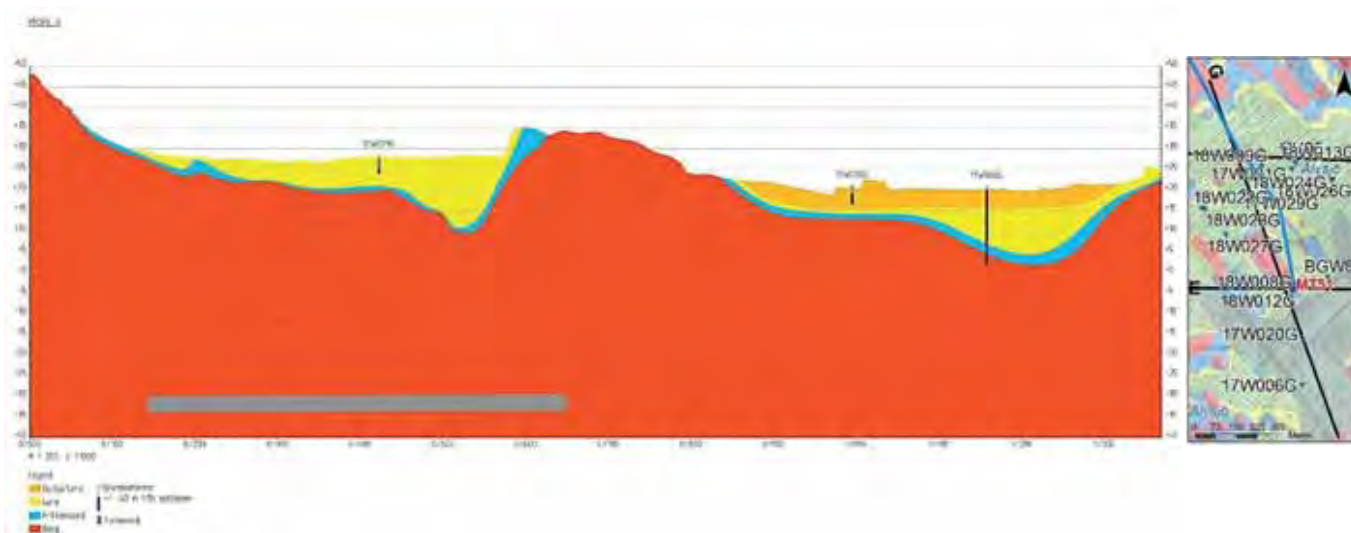
Inom vattenbalansområde Älvsjö finns ett stort sammanhängande lerområde och grundvattenmagasin även det benämnt Älvsjö med förgreningar i svackor. I grundvattenmagasin Älvsjö finns 23 grundvattenrör installerade inom projektet. Ytterligare 14 rör finns installerade sedan tidigare i andra projekt. Grundvattnet strömmar i det undre magasinet mot en lågpunkt vid Älvsjömässan, se figur 46 och figur 47. Grundvattnets trycknivå skiljer sig mycket inom magasinet eftersom det är ett magasin med stor utbredning. I de nordvästra rören ligger trycknivån på ca +32 och i området söder om Älvsjömässan på ca +20. Grundvattnets strömningsriktning och grundvattennivåerna i området söder om Älvsjömässan är påverkade av befintliga undermarksanläggningar och området är dränerat. Troligen har medveten dränering för parkeringar mm utförts. Underlag från geoarkivet baserat på längre mätserier från befintliga grundvattenrör bekräftar detta. Leran i området bedöms vara sättningsbenägen. Väster om tunnellen finns skadeområde Älvsjö som tidigare haft marksättningar med påföljande skador på byggnader som ej är grundlagda till berg.

Norra och östra delarna av område Älvsjö

I den norra delen av området Älvsjö är markytan flack ovan tunnellen och ligger på nivå +25 till +27. I undersökningspunkter 17W001, 17W003 och 18W027, består jorden av cirka 1,6-2,3 meter fyllning som underlagras av 0,7-1,5 meter torrskorpelera och därefter 2-3,5 meter lera över friktionsjord följt av berg, se figur 48 som visar en geologisk profil från väst till öst i den norra delen av lerområdet Älvsjö. Den norra och södra delen av lerområde Älvsjö separeras, ovan tunnelsträckningen, av ett område med ytligt berg, se figur 49 som visar en geologisk profil från norr till söder. Mot öster vid stambanan ökar lerdjupet och i undersökningspunkt 18W024 består jorden av cirka 1 meter fyllning på 10 meter lera över friktionsjord och berg.



Figur 48 Geologisk profil från väst till öst i den norra delen av lerområdet Älvsjö.

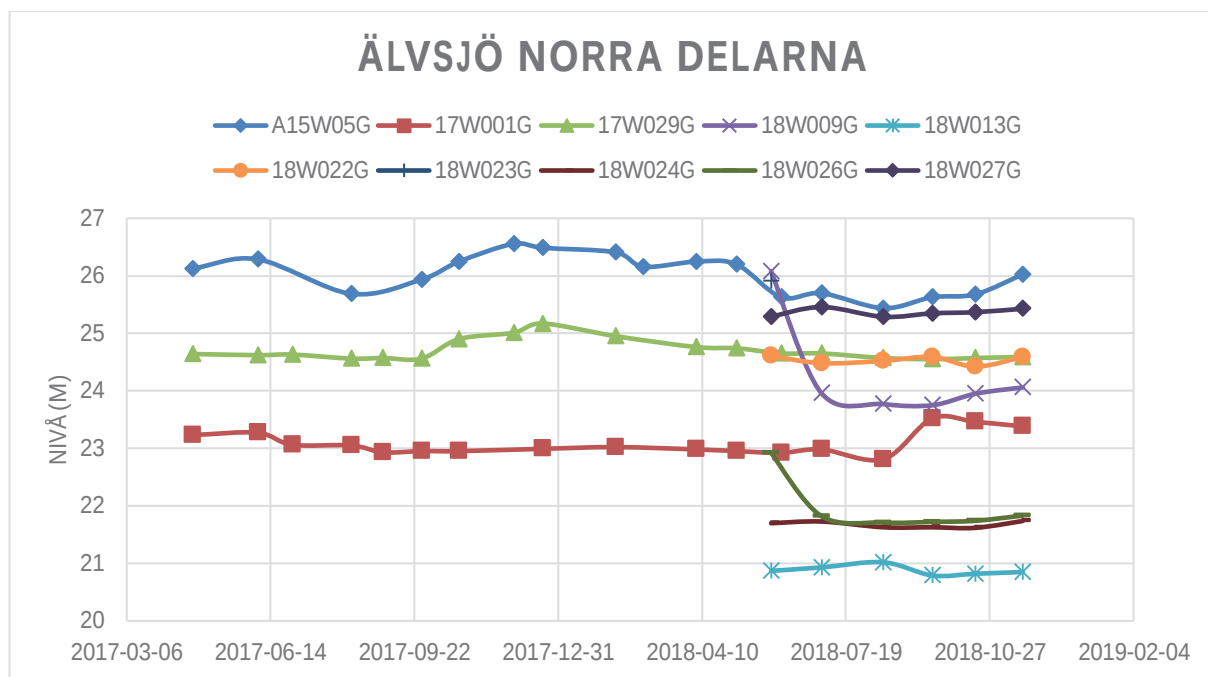


Figur 49 Geologisk profil från norr till söder inom lerområdet Älvsjö.

Grundvattnets trycknivå ligger i de norra delarna av område Älvsjö på +21 till +27, se figur 50. Grundvattentrycksänkningen i området bedöms som mest uppgå till ca 3 meter rakt ovan tunnelsträckningen och avta mot influensområdets kanter. Leran i området, i anslutning till undersökningspunkterna 17W001, 17W003 och 18W027, bedöms vara sättningbenägen vid grundvattensänkning. I områdets nordvästra del vid 17W003 beräknas sättningarna efter 100 år bli maximalt ca 19 cm. Vid punkt 17W001 beräknas sättningarna efter 100 år bli 3-7 cm beroende på avstånd till tunnellen och lerans mäktighet. Vid punkt 17W027 beräknas sättningarna efter 100 år bli som mest ca 1 cm.

I områdets östra del, vid punkt 18W024 bedöms leran vara normalkonsoliderad ned till ca 6,5 meters djup för jordens rådande spänningssituation. Under ca 6,5 m djup bedöms jorden ej ännu vara konsoliderad vilket medför att marksättningar pågår inom området.

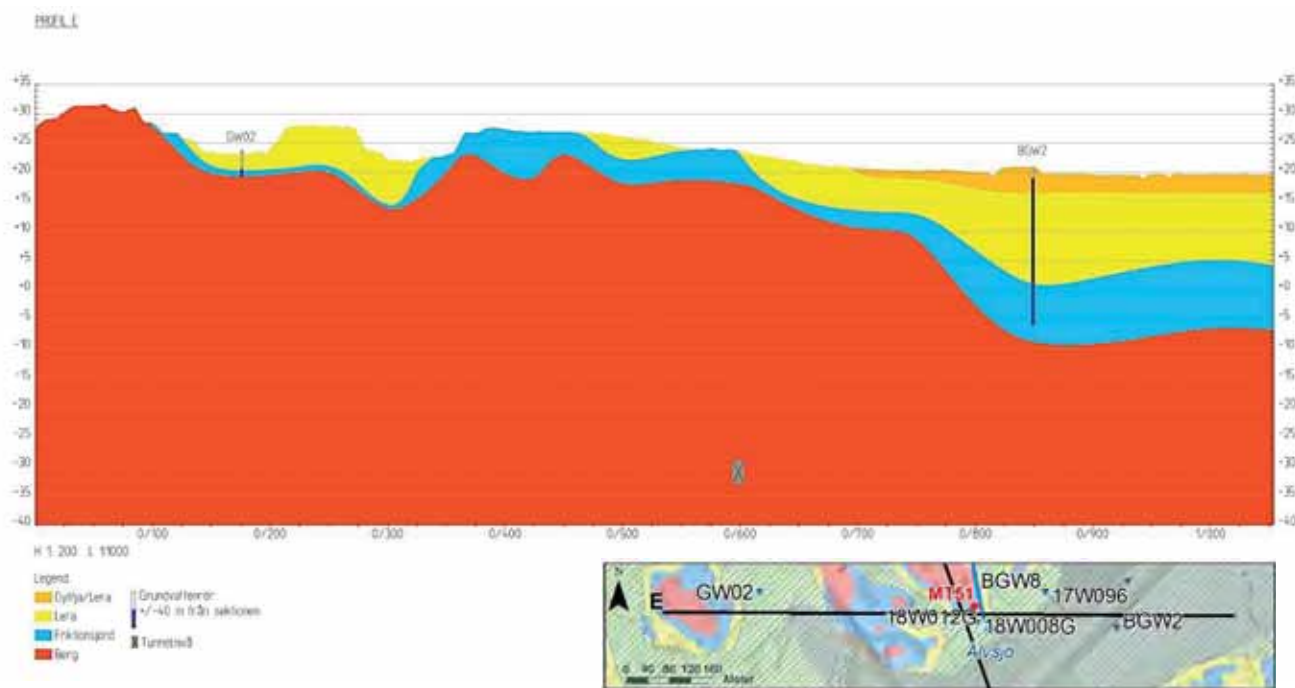
Krypsättningar bedöms kunna pågå. Sättningarna beräknas efter 100 år bli som mest 61 cm. Sättningarna utbildas relativt snabbt och efter 10 år beräknas de bli ca 28 cm. Detta är dock inte troligt eftersom skineffekten med tiden kommer att minska inläckaget (se kapitel 8.4.2) och vidare sättningarna begränsas då med ca 25%.



Figur 50 Grundvattentrycknivå i de norra delarna av grundvattenmagasin Älvsjö.

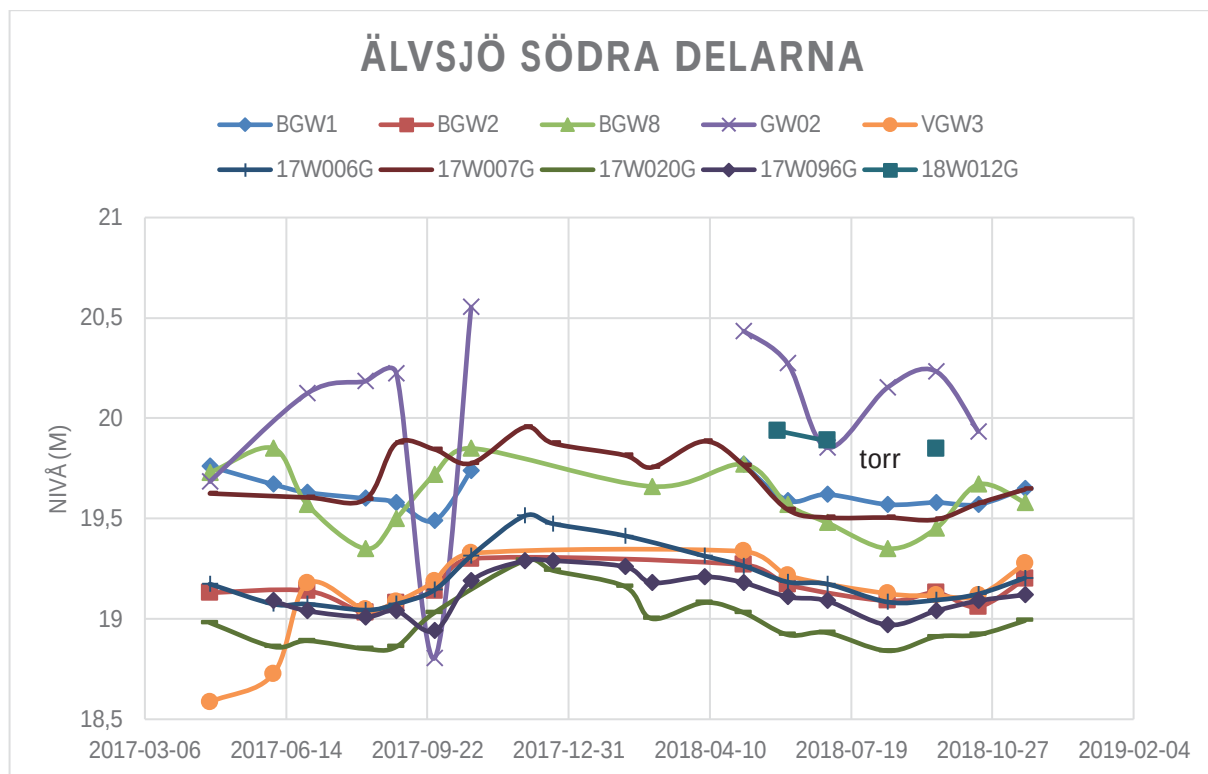
Södra delarna av område Älvsjö

I de södra delarna av området är markytan flack på nivå ca +24 ovan tunnellen och jordlagerföljden består av friktionsjord ovan berg, se figur 51 som visar en geologisk profil från väst till öst i den södra delen av lerområde Älvsjö. Öster om tunnellen består jordlagerföljden av organiskt material ovan lera av varierande mäktighet som vilar på friktionsjord ovan berg. Väster om tunnellen består jordlagerföljden av mindre mäktig lera som vilar på ett tunt lager av friktionsjord ovan berg.



Figur 51 Geologisk profil från väst till öst i den södra delen av lerområdet Älvsjö.

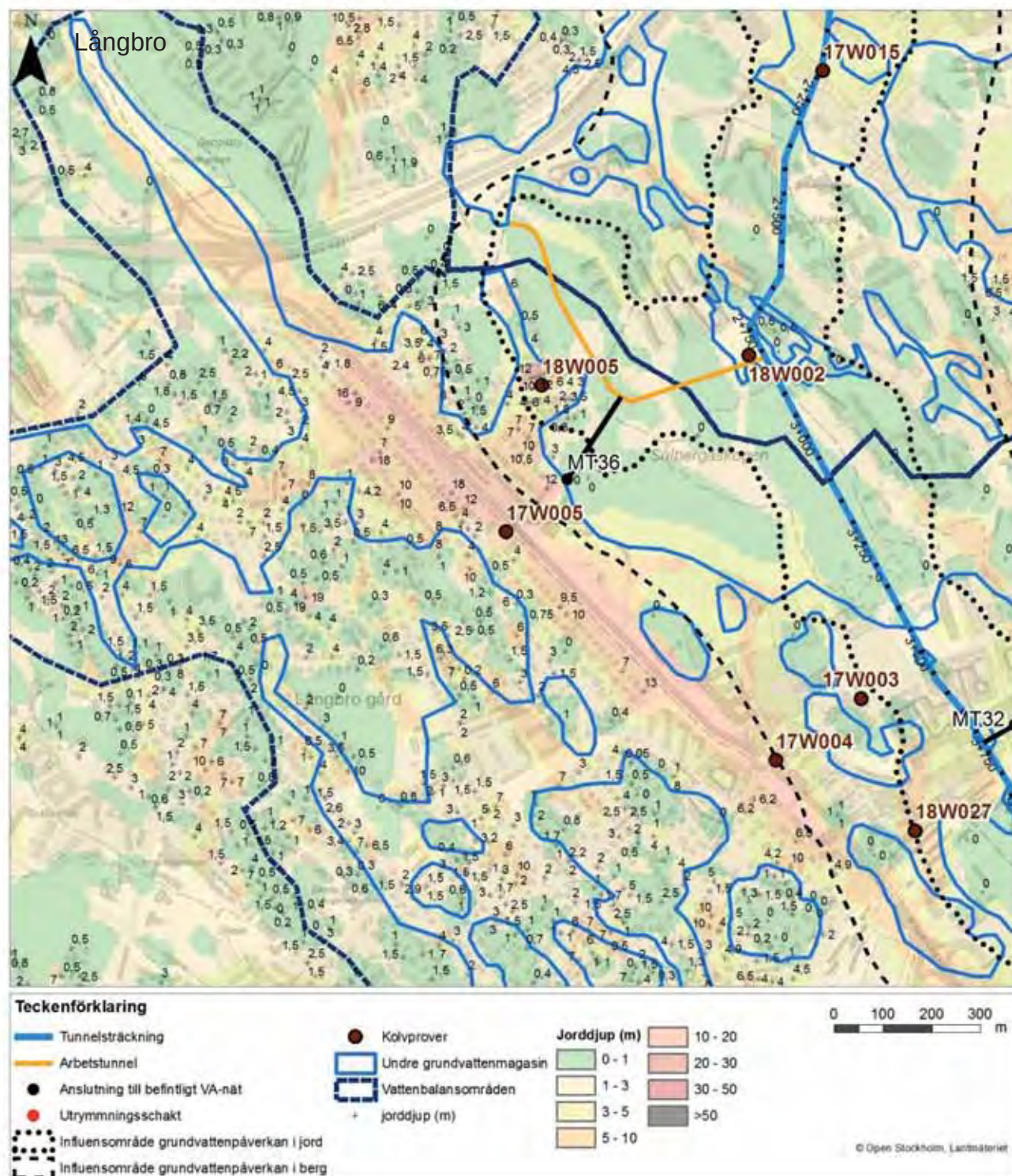
Grundvattnets trycknivå ligger i södra delarna av område Älvsjö +18 till +21, se Grundvattentrycksänkningen i området bedöms som mest bli ca 1-3 meter och där avsänkningen bedöms som störst är lerdjupet som minst. Sättningarna i området beräknas efter 100 år bli mellan 8 cm och 25 cm beroende på lerdjup.



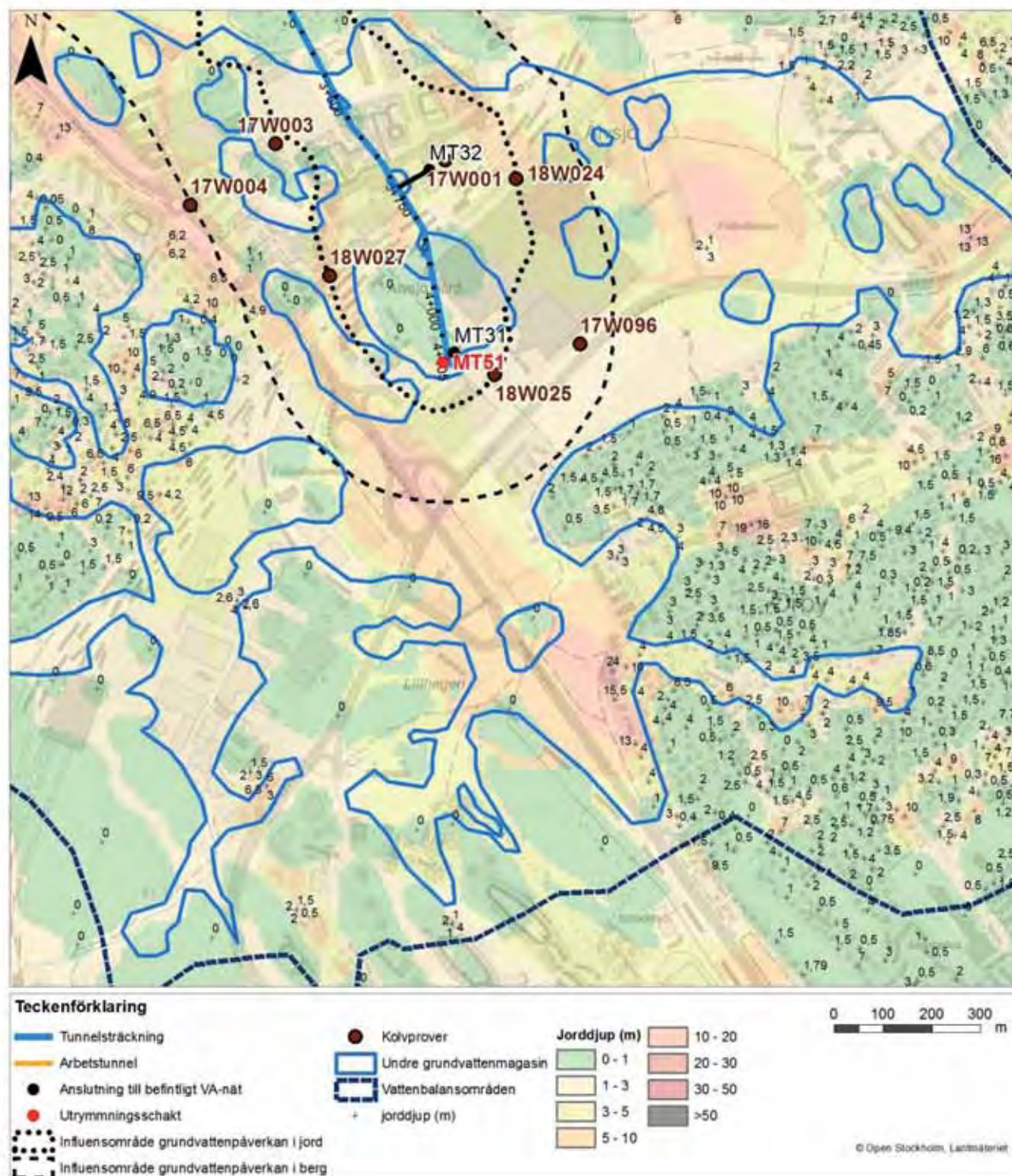
Figur 52 Grundvattentrycknivå i de södra delarna av grundvattenmagasin Älvsjö.

I den västra delen av vattenbalansområdet finns en stor lerfylld sänka, som sträcker sig från Hagsätra i söder till Långbro i norr. Jorddjupet i sänkan uppskattas variera mellan 10 meter och 20 meter, se figur 53. Österut utbreder sig sänkan mot Örby med ett jorddjup varierande mellan 1 meter och 20 meter. Mellan Örby och Hagsätra finns ett stort område med organisk jord som överlagrar leran.

Inom vattenbalansområdet finns fyra skadeområden identifierade; Långbro, Älvsjö, Örby norra och Örby södra, se figur 46 och figur 47. Av dessa fyra är det endast en liten del av skadeområde Älvsjö som ligger inom influensområde för jord. Det bör poängteras att utbredningen för skadeområdena är ungefärlig och uppskattad utifrån gamla pappersritningar men det ger ändå en indikation på vilka områden som är extra känsliga för ytterligare sättningar. Lerområdet Älvsjö ligger ovan två större deformationszoner den ena i nord-sydlig riktning och den andra i öst-västlig riktning.



Figur 53 Mässtunneln, anläggningsdelar, jorddjup, kolvprovtagning och influensområde inom den nordvästra delen av vattenbalansområde 5 Älvsjö.



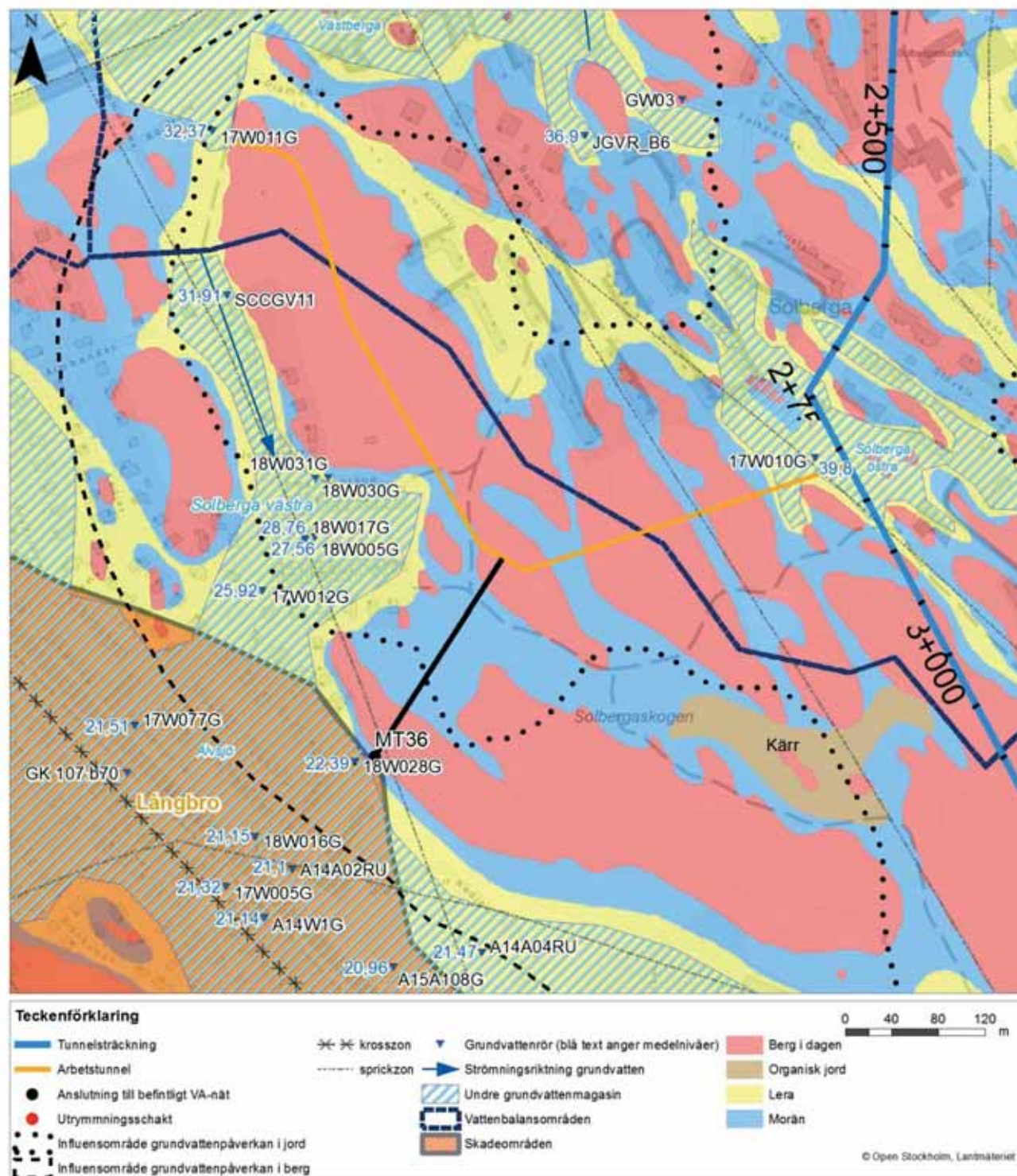
Figur 54 Mässtunneln, anläggningsdelar, jorddjup, kolvprovtagning och influensområde inom den södra delen av vattenbalansområde 5 Älvsjö.

Solberga västra

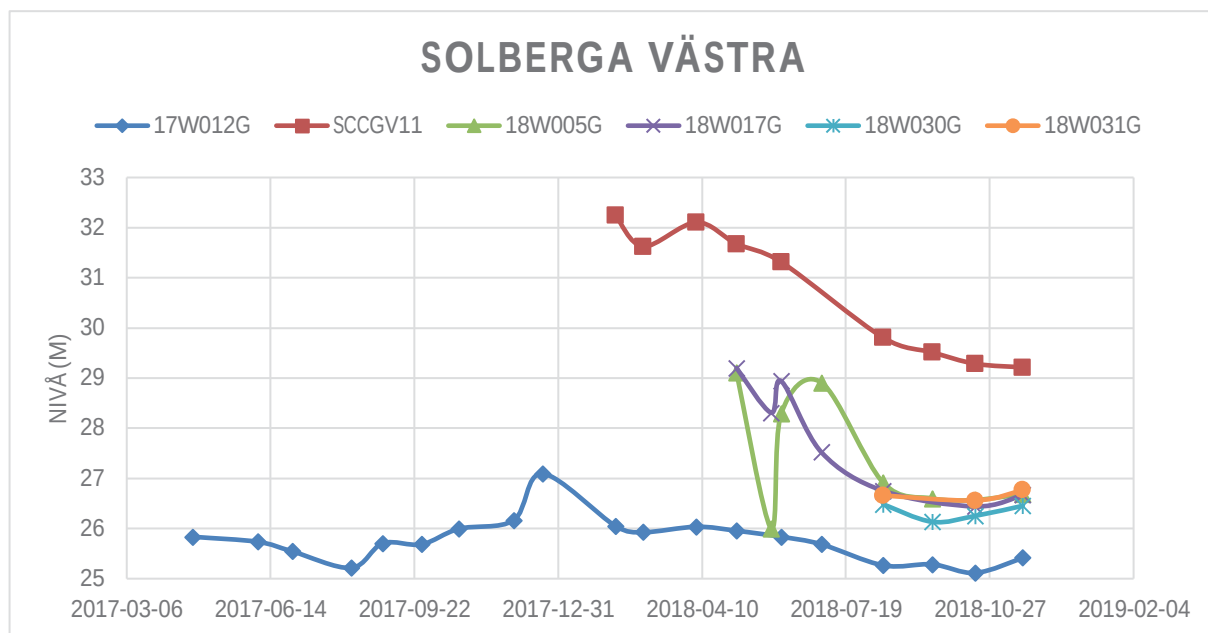
Det undre grundvattenmagasinet *Solberga västra* är en förgrening av det stora sammanhängande undre magasinet *Älvsjö*. Magasinet *Solberga västra* sammanfaller med en lersvacka med något större utbredning än själva magasinet. Väster och öster om lersvackan finns höga berglägen med morän och ytligt berg. Lersvackan går i söder in i tidigare identifierat skadeområde, se figur 55. Markytan i lerområdets norra del ligger på ca +34 och sluttar mot söder där markytan ligger på ca +29. Lersvackan ligger ovan en sprickzon, se figur 55. Jorddjupet i den norra delen av lersvackan är ca 4-5 meter och jordlagerföljden består av 3-5 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg eller direkt på berg. I den södra delen är jorddjupet större, ca 7-8 meter. Jordlagerföljden i söder består av ca 0,5-1,5 meter fyllning och 2-6 meter lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Friktionsjordens mäktighet varierar inom området, närmare områdena med höga berglägen och morän är friktionsjordens mäktighet ca 2-3 meter och i mitten av lersvackan i söder endast några dm.

I grundvattenmagasin *Solberga västra* finns fem grundvattenrör installerade inom projektet. Ytterligare ett rör finns installerat sedan tidigare i andra projekt. Grundvattnets trycknivå ligger i den norra delen av *Solberga västra* på ca +31 och grundvattnet strömmar söder ut där grundvattnets trycknivå ligger på ca +26, se figur 56. Grundvattnets trycknivå är större i mitten av lersvackan än ut mot kanterna. I mitten av lersvackan bedöms avsänkningen av grundvattnets trycknivå bli ca 1 meter. Grundvattnets trycknivå ligger i punkt 18W005 ca tre meter under markytan och i punkt 18W017 ca två meter under markytan, dvs ca 1,5 meter ner i leran. Marksättningar pågår i området och leran bedöms vara sättningsbenägen.

Sättningarna i området beräknas efter 100 år bli som mest ca 11 cm. Sättningarna utbildas relativt snabbt, efter 1 år beräknas de bli ca 4 cm och efter 2 år ca 6 cm. Vid beaktande av skineffekt enligt kapitel 8.4.2 beräknas dock en mer sannolik sättning efter 100 år bli ca 5 cm. Inga skadeområden finns identifierade i området sedan tidigare. I Solbergaskogen finns ett kärr i som delvis ligger inom influensområde för jord, se figur 55.



Figur 55 Mässtunneln och anläggningsdelar, ytliga jordarter, grundvattenmagasin, grundvattnets medelnivå och strömningsriktning samt influensområde inom området Solberga västra i den nordvästra delen av Vattenbalansområde 5 Ålvsjö.



Figur 56 Grundvattentrycknivå i grundvattenmagasin Solberga västra.

Vattenbalans

Bortledningen av grundvatten via Mässtunneln har beräknats till ca 8 % av grundvattenbildningen i området. Totalt beräknas ca 30 % av grundvattentillgången i undre magasin i jord dräneras bort av undermarksanläggningar i berg efter att Mässtunneln är byggd, inklusive befintliga anläggningar i berg. Vattenbalansberäkningarna uppskattar att utflödet från det undre grundvattenmagasinet är ca 850 L/min innan byggandet av Mässtunneln och ca 760 L/min efter. Grundvattenmagasinen i vattenbalansområdet bedöms som mindre känsliga för vattenbalansförändringar då det fortfarande finns ett stort överskott av vatten efter byggandet av Mässtunneln. Tillrinningsområdet är stort och den del av tillrinningsområdets yta där grundvattenbildning kan ske består till stor del av lågurbant område.

11.5.3 Motstående intressen

11.5.3.1 Byggnader och anläggningar

Norra delarna av område Älvsjö

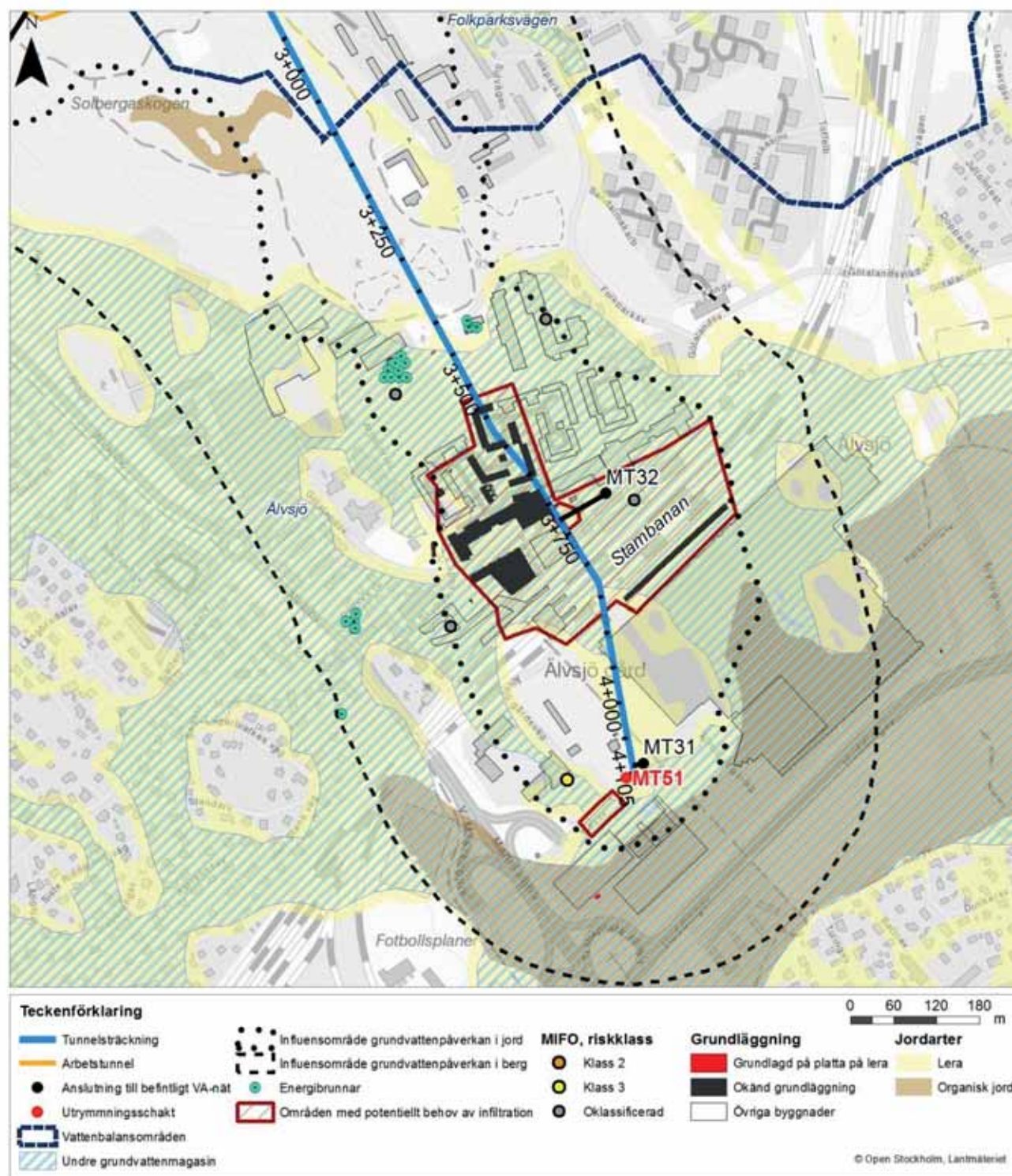
Inom de norra delarna av lerområde Älvsjö finns ett tiotal byggnader med okänd grundläggning, se figur 57. Några byggnader är belägna direkt ovan den planerade tunnelsträckningen, andra på ett avstånd upp till 100 meter väster om tunnelsträckningen. Trycksänkningen av grundvattennivån i området där byggnaderna ligger rakt ovan tunnelsträckningen bedöms bli ca 3 meter. Lermäktigheten i området bedöms vara ca 2 meter och vid en trycksänkning på 3 meter bedöms sättningarna efter 10 år bli ca 2 cm och inte bli större med tiden dvs samma efter 100 år. Trycksänkningen i området väster om tunnelsträckningen bedöms bli ca 0,3-3 meter. Lermäktigheten i området bedöms vara ca 2-4 meter och vid en trycksänkning på 3 meter bedöms sättningarna efter 100 år bli som mest

8 cm. Vid beaktande av skineffekt enligt kapitel 8.4.2 beräknas dock en mer sannolik sättning efter 100 år bli ca 6 cm. Inga skadeområden finns identifierade i området sedan tidigare. Sättningarna utbildas snabbt och redan efter 1 år beräknas sättningarna bli ca 6 cm.

Stambanan korsar lerområde *Älvsjö* och bedöms ha sättningskänslig grundläggning. Trycksänkningen av grundvattennivån i området närmast tunnelsträckningen där stambanan går bedöms uppgå till högst ca 3 meter, där är dock jordlagren mycket tunna och det bedöms ej finnas något permanent grundvattenmagasin. Längre ut mot influensområdets ytterkant i öster, under stambanans sträckning, blir lerdjupet mäktigare, upp till 7-10 meter lera, och vid en trycksänkning på 1 meter beräknas sättningarna efter 100 år bli ca 61 cm. Detta är dock inte troligt eftersom skinneffekten med tiden kommer att minska inläckaget (se kapitel 8.4.2) och därmed minska trycksänkningen. En mer sannolik sättning efter 100 år kan beräknas till 35 cm. Sättningarna utbildas relativt snabbt och efter 1 år beräknas de bli ca 7 cm och efter 5 år 19 cm. I väster är leran betydligt mindre sättningsbenägen och vid en trycksänkning på 1 meter bedöms sättningarna efter 100 år bli 1 cm.

Södra delarna av område *Älvsjö*

Inom de södra delarna av lerområde *Älvsjö* finns inga sättningskänsliga byggnader eller anläggningar.



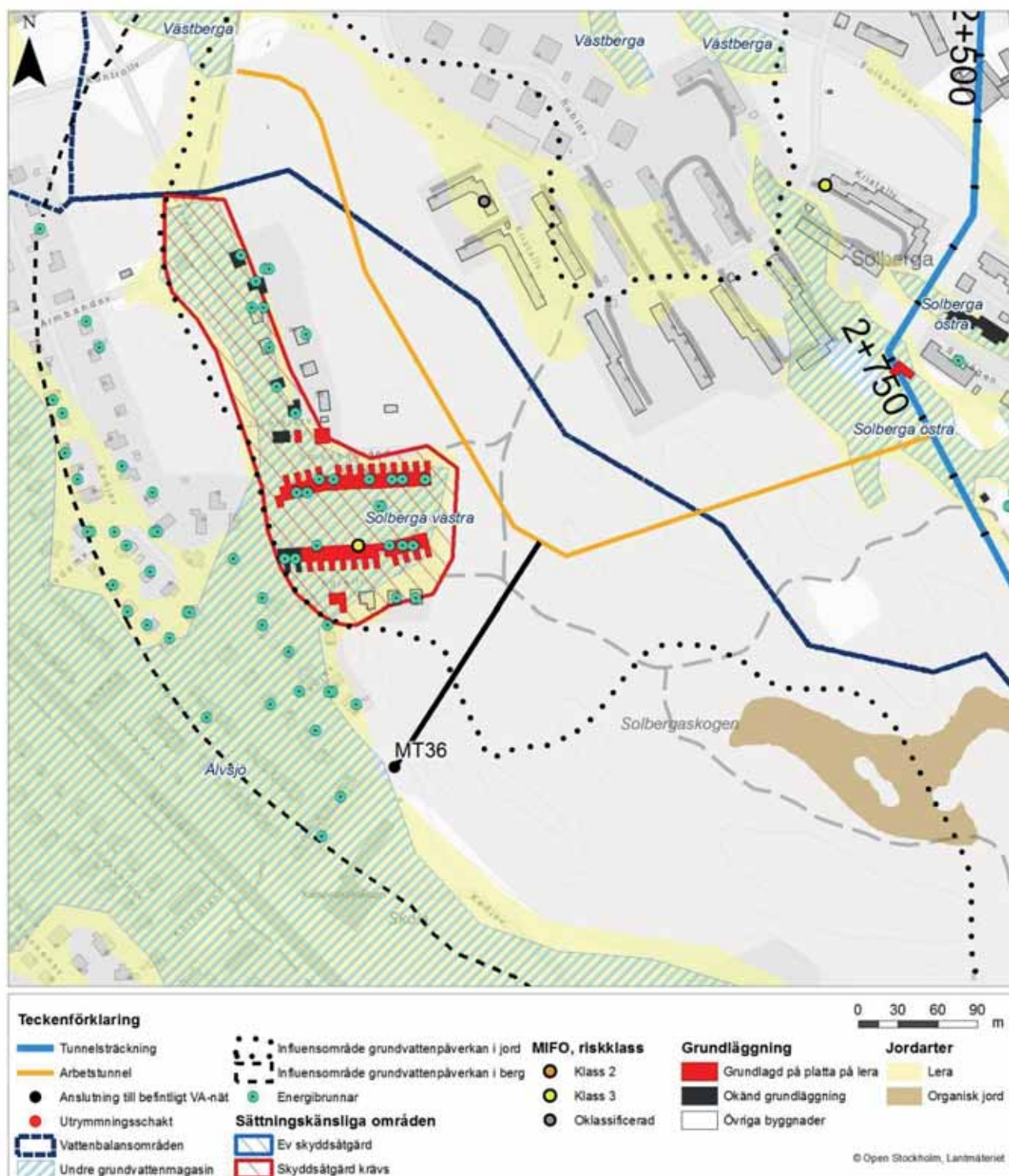
Figur 57 Byggnader, energibrunnar ,MIFO-objekt och sättningskänsliga områden inom område Älvsjö.

Solberga Västra

Vid Solberga Västra finns sju byggnader med okänd grundläggning och 27 byggnader grundlagda på platta på lera, se figur 58. Det är kedjehus och friliggande småhus i kvarteren Guldsmeden, Juveleraren och Halskedjan. Avståndet till arbetstunnel är mellan 30 och 160 meter. Trycksänkningen av grundvattennivån i området där byggnaderna ligger bedöms bli

0,3 meter närmast influensområdets gräns i väster för att öka mot arbetstunneln och som mest uppgå till 3 meter i den östligaste delen av grundvattenmagasinet. I detta område är dock lerdjupet endast 0,5 meter och inget permanent grundvattenmagasin bedöms förekomma. Längre åt väster inom influensområdet ökar lerdjupet till ca 6 meter, där bedöms trycksänkningen av grundvattennivån bli ca 0,3-1 meter. Vid en trycksänkning på 1 meter beräknas sättningarna efter 100 år bli 11 cm. Detta är dock inte troligt eftersom skinneffekten med tiden kommer att minska inläckaget (se kapitel 8.4.2) och därmed minska trycksänkningen. En mer sannolik sättning efter 100 år kan beräknas till 5 cm. Sättningarna utbildas snabbt, efter 1 år beräknas de bli ca 4 cm och efter 2 år 5 cm.

Juvelerarvägen går i nord sydlig riktning och bedöms som känslig för sättningar. Sättningarna i området där vägen går beräknas efter 100 år bli som mest 11 cm men även här gäller samma resonemang som ovan.



Figur 58 Byggnader energibrunnar och MIFO-objekt inom område Solberga västra.

11.5.3.2 Energibrunnar

Fyra energibrunnar finns ca 40 meter från tunnelsträckningen. Dessa brunnar kan påverkas av en trycksänkning i berget med minskade vattennivåer och minskat energiuttag som följd. Inom vattenbalansområdet finns ca 110 brunnar totalt.

11.5.3.3 Ledningar

Under Götalandsvägen finns ett stråk med både fjärrvärme och fjärrkyla med diameter 1100 mm. Ledningarna bedöms som känsliga för sättningar. Sättningarna i området runt Götalandsvägen beräknas som mest bli ca 3 cm efter 100 år. Det finns även servisledningarna till byggnader så som vatten- och spillvattenledningar som kan vara känsliga för sättningar och i vissa fall kan även dagvattenledningar till byggnader finnas.

Längs med Mässhallens västra kant finns ett stråk med både fjärrvärme och fjärrkyla med diameter 1600 mm. Ledningarna bedöms som känsliga för sättningar. Jorddjupet i området är dock maximalt ca 3 meter och jordlagren är sannolikt torra hela eller merparten av året, inget permanent undre magasin bedöms förekomma i detta område. Troligen är leran som eventuellt fanns i detta område uppschaktad och ersatt av fyllning när området exploaterats.

Under Mässvägen finns en fjärrvärmeledning med diameter 1700 mm. Ledningen bedöms som känslig för sättningar. Trycksänkningen av grundvattennivån i området där ledningarna ligger bedöms bli ca 1 meter. Vid en trycksänkning av grundvattennivån på 1 meter beräknas sättningarna i området efter 100 år bli som mest ca 8 cm. Sättningarna utbildas relativt snabbt, efter 1 år beräknas de bli ca 4 cm och efter 2 år ca 5 cm.

11.5.3.4 Naturmiljö

Delar av Solbergaskogen ligger inom vattenbalansområde Älvsjö. Som beskrivs ovan i kapitel 11.4 kommer en eventuell avsänkning av grundvattennivåer i Solbergaskogen från Mässtunneln inte att påverka det växttillgängliga vattnet och således inte Solbergaskogen.

Inom vattenbalansområdet finns också ett kärr i Solbergaskogen. Kärrret bedöms få sitt tillflöde från ytavrinning från omgivande områden med berg i dagen. Kärrret bedöms ha dålig hydraulisk kontakt med berget då det ligger i ett område med torv som ytjordart (karteringsdjup 0,5 meter) enligt byggnadsgeologiska kartan. Torv har vanligtvis låg hydraulisk konduktivitet vid en mäktighet över 0,5 meter. Enligt jorddjupskartan är jorddjupet vid kärrret ca 1 meter, varför en eventuell avsänkning av grundvattennivån under kärrret inte bedöms medföra någon påverkan på vattennivån i kärrret.

11.5.3.5 Föroreningar

Det finns ett MIFO-objekt med riskklass 2, ett MIFO-objekt med riskklass 3 och 4 oklassade MIFO-objekt inom influensområde för grundvattenpåverkan i jord. Samtliga objekt ligger i områden där det bedöms förekomma ett permanent undre grundvattenmagasin.

11.5.4 Skyddsåtgärder

För det aktuella tunnelavsnittet kommer kontinuerlig förinjektering utföras längs hela sträckan. Injekteringsklass 1A kommer att användas delar av sträckan och i områden där det ställs högre krav på täthet kommer injekteringsklass 1B användas, se Tabell 2 kapitel 9.2 och Bilaga E Teknisk beskrivning för beskrivning av injekteringsklasser. Efterinjektering utförs för att täta läckande sprickor eller tunnelavsnitt med större inläckage. Under anläggningsskedet sker kontinuerlig uppföljning av grundvattennivåer och grundvatteninläckage till tunneln.

I tre områden inom vattenbalansområdet, se figur 57 och figur 58, finns behov av ytterligare skyddsåtgärd för att undvika grundvattentrycksänkning som kan orsaka sättningar i leran. I de nordöstra delarna av området Älvsjö, vid stambanan, beräknas sättningarna bli som störst, upp till 61 cm i östra kanten av influensområdet. För detta område har beräkningar och simuleringar gjorts för scenarion med betonglining av tunneln med varierande längd, 50-300 meter. Resultaten visar att en linad sträcka på 200-300 meter i området under stambanan skulle ge tillräcklig effekt för att minimera skadlig trycksänkning i området. Alternativet till linning är permanent skyddsinfiltration.

Inom de andra två områdena kommer beredskap för eventuell skyddsinfiltration finnas. Skyddsinfiltrationen bedöms bli begränsad i tid, till framförallt byggskede och eventuellt tills skinneffekt utbildats och grundvattentrycknivån återhämtat sig så att det inte finns risk för ytterligare sättningar. Grundvattnets trycknivå och sättningar kommer att mätas och utvärderas kontinuerligt inom kontrollprogrammet. Infiltrationstester kommer också att utföras i dessa områden, under hösten 2018 för att säkerställa att skyddsinfiltrering är möjlig och extra injektering kommer att finnas i beredskap vid tunneldrivningen. Vid färdigställandet av sträckan under stambanan kommer beslut tas avseende behov av betonglining av delar av sträckan. Betonglining kan rent tekniskt göras i efterhand och beslutet kommer att baseras på aktuellt kontroll av inläckage, grundvattennivåer och avvägning av sättningsdubb.

11.6 Sammanställning av motstående intressen

11.6.1 Motstående intressen jord

En sammanställning över de motstående intressen som kan påverkas av en grundvattentrycksänkning i jord har sammanställts och redovisas tillsammans med sättningsarnas beräknade storlek i tabell 5.

Tabell 5 Beräknad storlek på sättningar och förslag på skyddsåtgärder vid skyddsobjekt.

Vattenbalansområde <i>Grundvattenmagasin</i>	Motstående intressen jord	Maximal storlek på sättningar vid skyddsobjekt	Skyddsåtgärd och motivering
Blommensbergsvägen			
<i>Blommensbergsvägen</i>	Nej		
Aspudden			
<i>Aspudden</i>	5 byggnader med okänd grundläggning, i lerområdets östra del.	efter 100 år 2 cm	Nej pga liten risk
<i>Aspudden</i>	Vatten- och spillvattenledningar, dagvattenledningar till byggnader.	efter 100 år 1 cm	Nej pga liten risk
Midsommarkransen			
<i>Midsommarkransen norra</i>	Nej		
<i>Midsommarkransen södra</i>	Fjärrvärmeledning med dimension 1200 mm i diameter	efter 100 år ca 1 cm	Nej pga liten risk
<i>Spårvägshallen</i>	Nybodadepån	Efter 100 år ca 5 cm	Ja skyddsinfiltration
Västberga			
<i>Västberga</i>	2 byggnader grundlagda på lera	efter 100 år ca 12 cm	Ja skyddsinfiltration
<i>Västberga</i>	2 byggnader med okänd grundläggning	efter 100 år ca 3 cm	Ja skyddsinfiltration
<i>Västberga</i>	Elektravägen och Västbergavägen	efter 100 år ca 12 cm	Ja skyddsinfiltration
<i>Västberga</i>	Dagvattenledningar med dimension 1400 mm i diameter (SVOAs) (under Elektravägen och Västbergavägen)	efter 100 år ca 12 cm	Ja skyddsinfiltration
<i>Folkparksvägen</i>	Nej		
<i>Solberga östra</i>	1 byggnad grundlagd på lera	saknas beräkning för 4 m lera	
Älvsjö			
<i>Norra delarna av Älvsjö</i>	Tiotal byggnader med okänd grundläggning	efter 100 år ca 7 cm	Ja skyddsinfiltration eller lining pga stambanan
<i>Norra delarna av Älvsjö</i>	Östra delen av Stambanan	efter 100 år ca 61 cm	Ja skyddsinfiltration eller lining
<i>Norra delarna av Älvsjö</i>	Stråk med både fjärrvärme och fjärrkyla Götalandsvägen	efter 100 år ca 3 cm	Ja pga byggnader se ovan
<i>Södra delarna av Älvsjö</i>	Fjärrvärmeledning med diameter 1700 mm, under Mässvägen	efter 100 år ca 8 cm	Ja skyddsinfiltration
<i>Solberga västra</i>	Juvelerarvägen	efter 100 år ca 10 cm.	Ja skyddsinfiltration
<i>Solberga västra</i>	5 byggnader med okänd grundläggning och 26 byggnader grundlagda på platta på lera	Efter 100 år ca 11 cm.	Ja skyddsinfiltration

11.6.2 Motstående intressen berg

De energibrunnar som påverkas är de som ligger närmast tunnellen. Ca 70 brunnar beräknas få en påverkan på energiuttaget av icke obetydlig omfattning. De energibrunnar som kan komma att påverkas av Mässtunneln finns redovisade i Bilaga H Förutsebar skada på energibrunnar.

12. Kontrollprogram

Ett kontrollprogram som dokumenterar nuvarande förhållande och kontrollerar eventuell påverkan från bygg- och driftskedet av bergtunneln ska upprättas. Kontrollprogrammet som delvis påbörjats kommer att tas fram i samråd med länsstyrelsen och följande delar föreslås ingå:

Före byggskedet:

- Mätning av grundvattennivåer i rör i jord (se Bilaga 3). Mätningar pågår sedan april 2017 med mätfrekvens 1 gång/månad. I anslutning till byggstart kan mätfrekvensen komma att öka.
- Portrycksmätningar i lera.
- Sättningsmätningar på utvalda platser i form av bl.a. avvägda markpegel. Detta ska påbörjas före byggstart.

Under byggskedet:

- Flödesmätning av inläckande grundvatten till tunneln.
- Provtagning och analys av länshållningsvattnen. Analys sker bl.a. av pH, suspenderande ämnen, totalkväve, oljeindex och tungmetaller.
- Mätning av grundvattennivåer i rör i jord (se Bilaga 3). Mätningar pågår sedan april 2017 med mätfrekvens 1 gång/månad. I anslutning till byggstart kan mätfrekvensen komma att öka.
- Portrycksmätningar i lera.
- Sättningsmätningar på utvalda platser i form av bl.a. avvägda markpegel. Detta ska påbörjas före byggstart.

Driftskedet:

- Mätning av grundvattennivåer i utvalda rör i jord.
- Sättningsmätningar av utvalda markpegel och dubb.

I driftskedet bör kontrollprogrammet fortsätta men med en reducerad mätfrekvens och omfattning. Hur länge kontrollprogrammet bör fortgå bestäms i samråd med tillsynsmyndighet.

Under driftskedet kommer inläckande grundvatten tillsammans med det avloppsvatten som rinner i tunneln ledas bort för rening till Henriksdals reningsverk. Mätning av inläckage kommer inte att vara möjlig då det inläckande grundvattnet utgör en så liten del av det totala flödet i tunneln, men detta bedöms inte heller vara nödvändigt. Tillräcklig kunskap om tunnelns täthet kommer att erhållas under byggskedet och inläckaget till tunneln kommer att minska med tiden.

13. Referenser

- [1] Brantberger M., Dalmalm T., Eriksson M., och Stille H. (1998). Styrande faktorer för tätheten kring en förinjekterad tunnel. Avd. för Jord- och bergmekanik, Inst. för Anläggning och miljö, Kungliga Tekniska Högskolan. Rapport 3049.
- [2] Lissel, P. (2018). Bolmentunneln; Samband mellan inläckage och omgivningspåverkan, en notering om skineffekt. WSP Sverige AB.
- [3] Ramböll Sverige AB (2016) Akt 130-133 Bemötande av kommentarer från Hans Lindquist, Unr 1320012172



Teckenförklaring

- Tunnelsträckning
- Arbetstunnel
- Utrymningsschakt
- Anslutning till VA-nät
- Utredningsområde

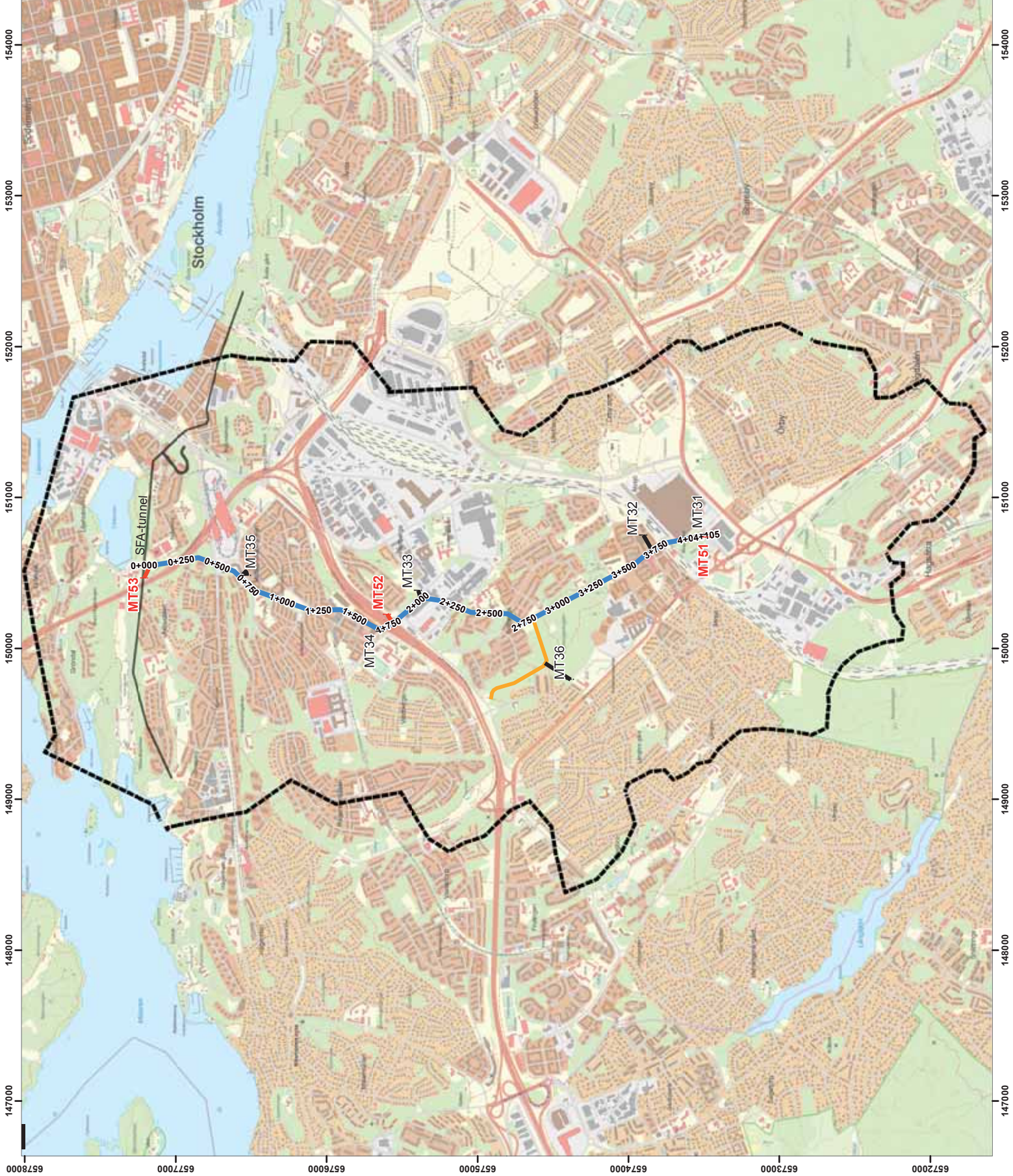
Projekt: Mästartunneln Bilaga G1 Översikt

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, Lantmäteriet
Datum: 2019-01-10
A3, Skala: 1:23 000
Koordinatsystem: Svered 99 18 00

0 200 400 600 800 1 000
Meter



WSP Sverige
Avdelning Mark och Vatten



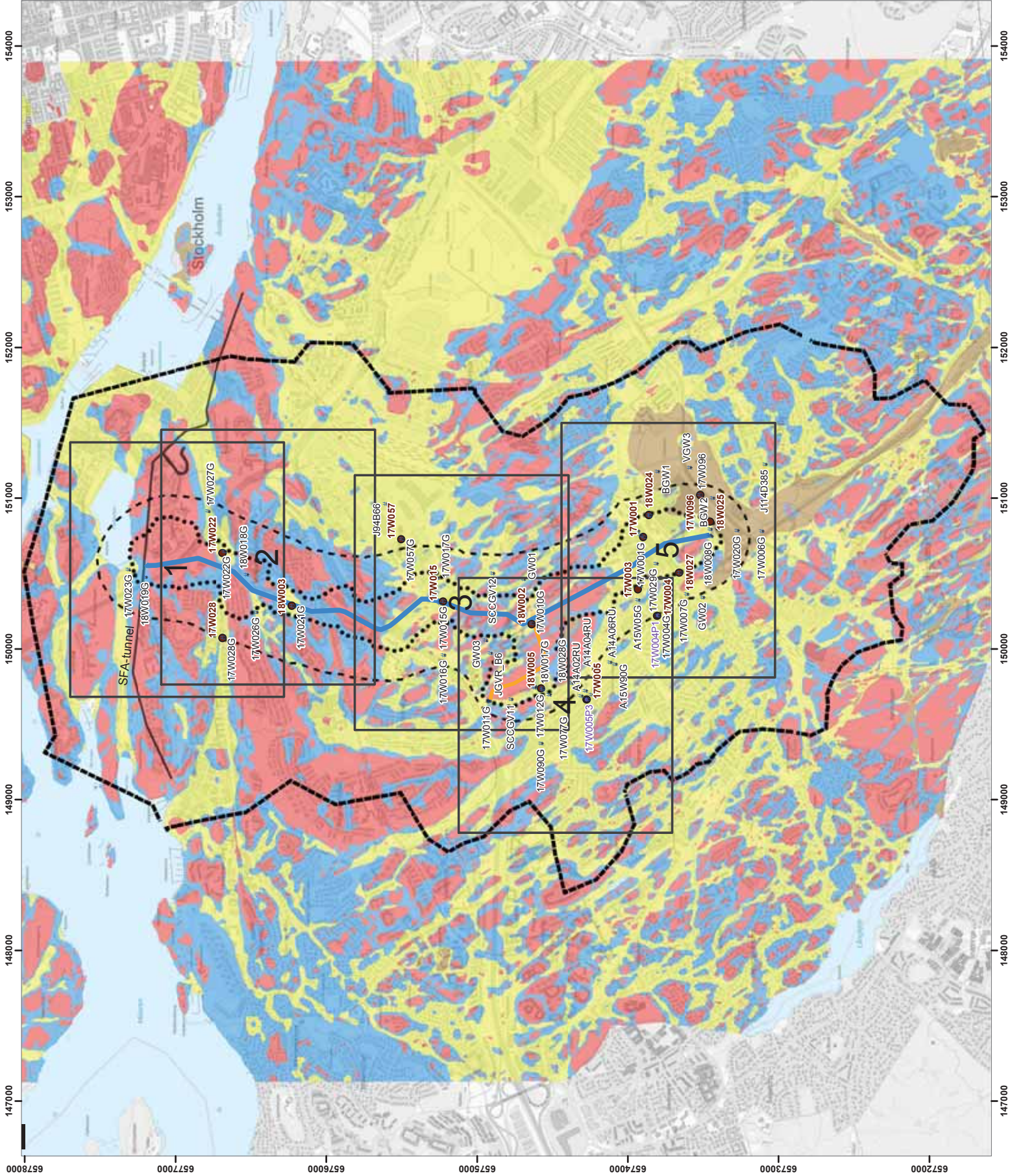


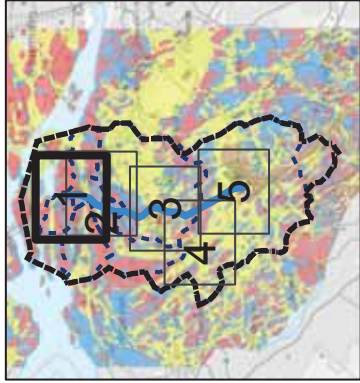
Teckenförklaring

- # Grundvattenrör (svart text)
- Porttrycksmätare (lila text)
- Kolvprover (brun text)
- Tunnelsträckning
- Arbetstunnel
- Uträdningsområde
- Influensområde grundvattenpåverkan i jord
- Influensområde grundvattenpåverkan i berg
- JORDART
- Berg i dagen
- Organisk jord
- Lera
- Moran

Projekt: Mästartunneln
Bilaga G2
Utförda undersökningar

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, Lantmäteriet
Datum: 2019-01-10
A3, Skala: 1:23 000
Koordinatsystem: Sverd 99 18 00
0 200 400 600 800 1 000
Meter





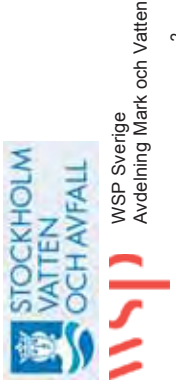
Teckenförklaring

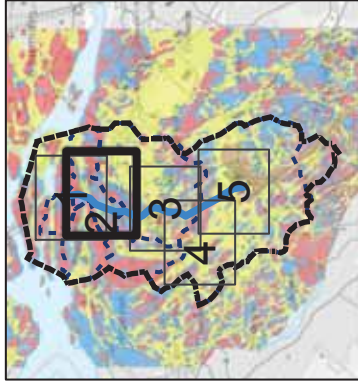
#	Grundvattenrör (svart text) medelhå (blå text)
●	Porttrycksmätare (lila text)
●	Kolvprover (brun text)
—	Utrymningschakt
—	Anslutning till VA-nät
—	Tunnelsträckning
—	Arbetstunnel
---	Utredningsområde
---	Influensområde grundvattenpåverkan i jord
---	Influensområde grundvattenpåverkan i berg
→	Strömningsriktning
▨	Grundvattenmagasin
▨	Vattendelare

JORDART

■	Berg i dagen
■	Organisk jord
■	Lera
■	Mörån

Projekt: Mästartunneln
Bilaga G2:1
Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, Lantmateriet
Datum: 2019-02-05
A3, Skala: 1:5 070
Koordinatsystem: Sverref 99 18 00
0 40 80 120 160 200 Meter





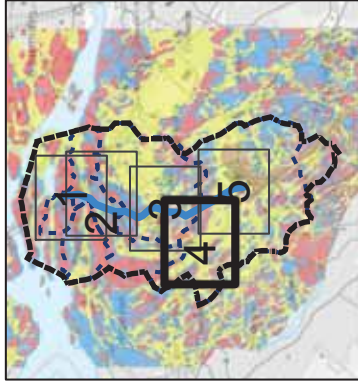
Teckenförklaring

- # Grundvattenrör (svart text) medelhå (blå text)
- Pottrycksmätare (lila text)
- Kolvprover (brun text)
- Utgravningsgrop
- Anslutning till VA-nät
- Tunnelsträckning
- Arbetstunnel
- Utredningsområde
- Influensområde grundvattenpåverkan i jord
- Influensområde grundvattenpåverkan i berg
- Strömningsriktning
- Grundvattenmagasin
- Vattendelare
- JORDART
- Berg i dagen
- Organisk jord
- Lera
- Morän

Projekt: Mästartunneln
Bilaga G2:2

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, Lantmateriet
Datum: 2019-02-05
A3, Skala: 1:5 070
Koordinatsystem: Sverref 99 18 00
0 40 80 120 160 200 Meter





Teckenförklaring

Grundvattenrör (svart text) medelhå (blå text)

● Portrycksmätare (lila text)

● Kolvprover (brun text)

— Utrymningsgsschakt

— Anslutning till VA-nät

— Tunnelsträckning

— Arbetstunnel

— Utredningsområde

— Influensområde grundvattenpåverkan i jord

— Influensområde grundvattenpåverkan i berg

— Strömningsriktning

— Grundvattenmagasin

— Vattendelare

JORDART

Berg i dagen

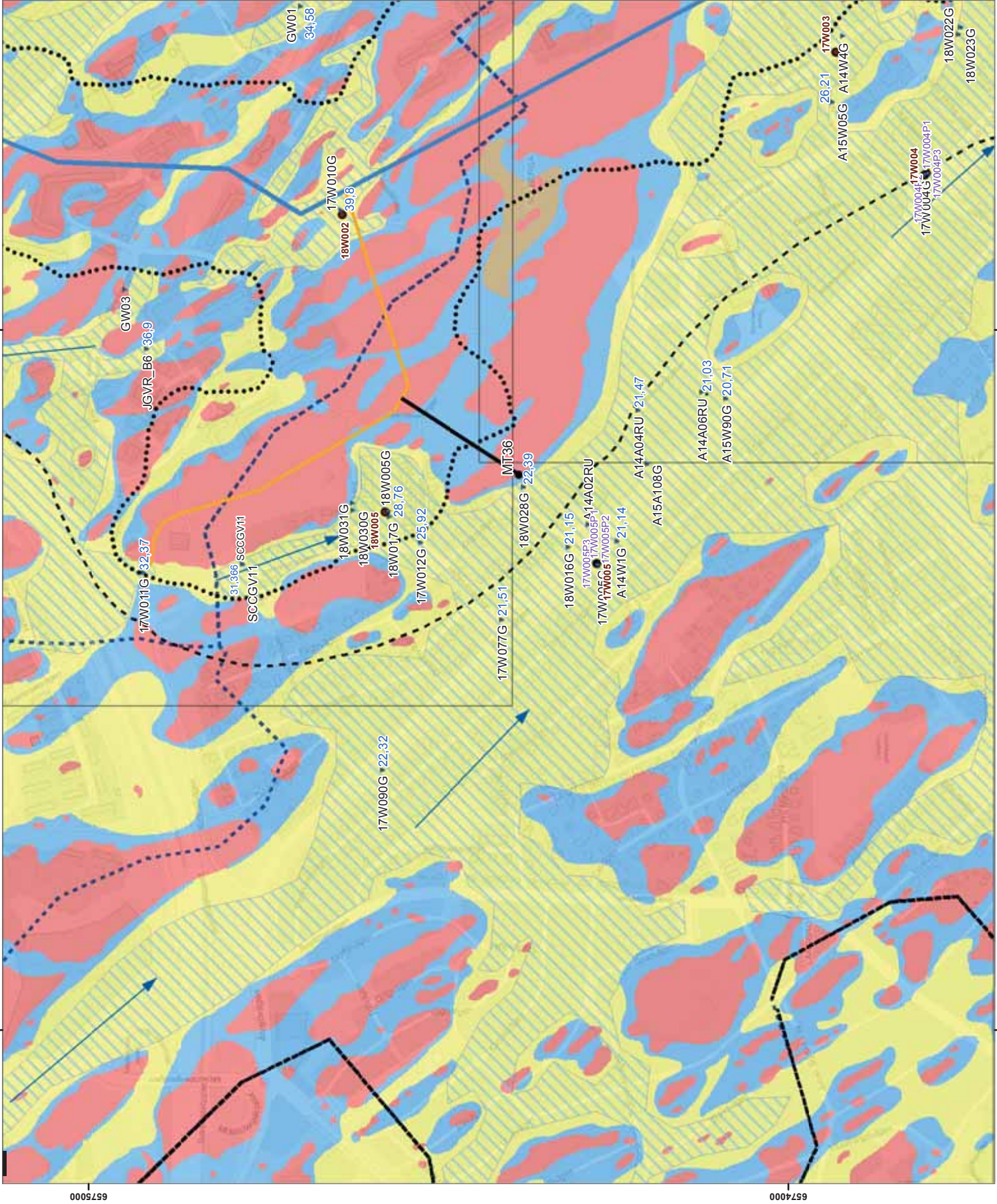
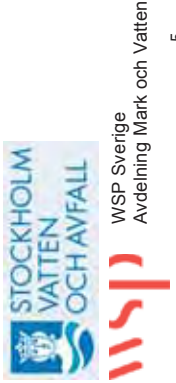
Organisk jord

Lera

Morän

Projekt: Mästartunneln
Bilaga G2:4

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, Lantmateriet
Datum: 2019-02-05
A3, Skala: 1:5 070
Koordinatsystem: Sverref 99 18 00
0 40 80 120 160 200 Meter



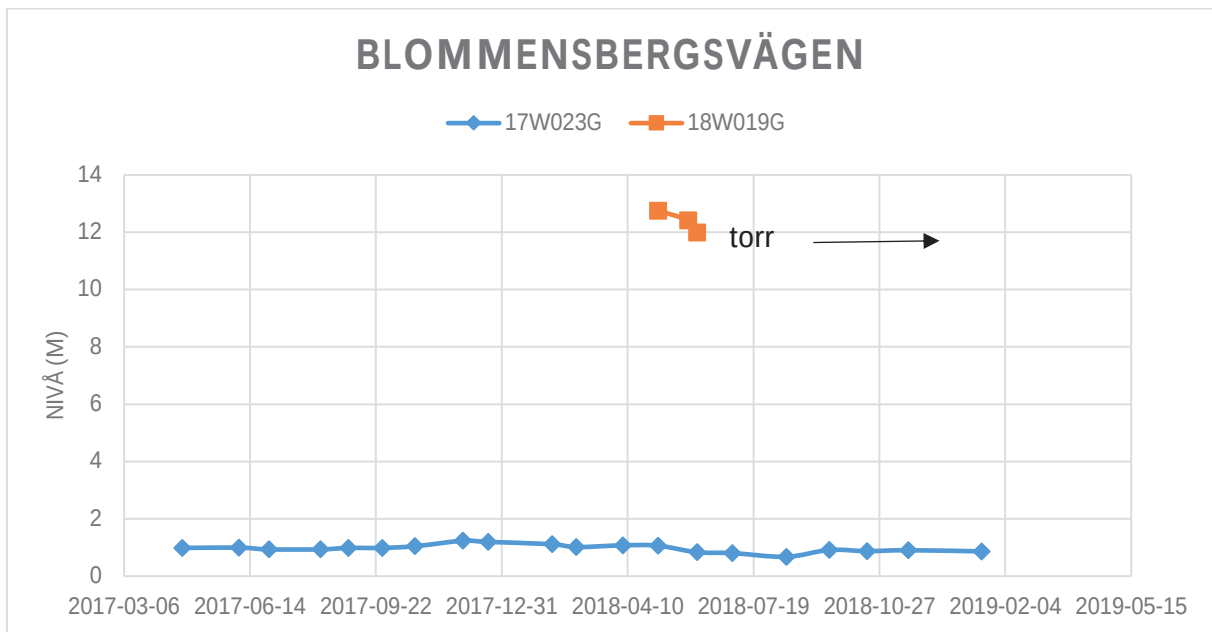
Bilaga G2 Grundvattendata

RörID	x	y	Z_my_RH20 00	Z_rök_RH20 00	Spetsnivå	Dimensi on	Gv nivå_min	Gv nivå_ma x	Gv nivå_me del	Gv nivå_me dian	Lägsta 10- percentilen	Antal mätvärden
A14A02RU	6574285,3	149721,3	23,19	24,34	17,84	1"	20,60	21,38	21,07	21,06	20,86	16
A14A04RU	6574213,3	149884,0	23,16	24,12	13,62	1"	21,19	21,81	21,47	21,53	21,19	5
A14A06RU	6574116,5	149907,5	22,99	24,03	12,53	1"	20,43	21,72	21,03	20,82	20,43	9
A14W1G	6574243,5	149697,3	23,57	24,75	14,25	1"	20,78	21,50	21,11	21,11	20,82	16
A15A108G	6574200,8	149807,6	22,78	23,88	15,38	1"	20,68	21,21	20,96	20,99	20,76	5
A15W05G	6573936,3	150323,7	28,61	29,50	23,00	1"	25,44	26,56	26,08	26,18	25,65	14
A15W90G	6574088,1	149900,6	22,63	23,57	11,57	1"	20,34	21,02	20,71	20,67	20,51	8
BGW1	6573807,6	151175,1	20,64	21,62	5,87	1"	19,49	19,77	19,64	19,62	19,57	11
BGW2	6573440,5	151002,2	19,80	20,93	-6,82	1"	19,03	19,30	19,15	19,14	19,07	9
BGW8	6573506,8	150870,6	21,14	22,05	14,30	1"	19,35	19,85	19,62	19,62	19,36	12
GW01	6574695,8	150460,3	37,01	38,02	29,99	1"	34,26	34,78	34,54	34,56	34,38	16
GW02	6573507,5	150341,8	22,73	23,40		1"	18,80	20,55	20,03	20,17	19,60	10
J114D385	6573095,4	151224,4	25,37	27,43	19,96	1"	20,39	20,89	20,65	20,70	20,40	8
J13E14G	6577604,0	150827,3	6,59	7,71		1"	1,78	1,91	1,84	1,84	1,79	2
J94B66	6575609,8	150962,3	18,21	18,99	7,85	1"	10,69	16,03	15,35	15,92	14,16	13
JGVR_B6	6574916,1	149972,0	38,97	39,57	34,57	1"	36,01	37,30	36,80	36,88	36,39	13
VGW3	6573593,1	151204,4	19,74	21,07		1"	18,59	19,34	19,08	19,15	18,71	10
17W001G	6573897,2	150741,4	25,82	25,68	18,74	2"	22,81	23,27	23,01	22,98	22,93	14
17W004G	6573803,3	150220,9	24,40	24,30	14,80	1"	20,85	21,38	21,10	21,06	20,91	15
17W005G	6574270,2	149664,2	23,10	24,09	13,59	1"	20,97	21,67	21,28	21,20	21,10	16
17W006G	6573115,5	150780,2	20,41	21,38	1,88	1"	19,04	19,51	19,22	19,17	19,07	15
17W007G	6573613,3	150363,5	24,20	25,38	17,88	1"	19,51	19,96	19,73	19,77	19,52	15
17W010G	6574638,7	150169,7	40,92	41,52	35,52	2"	39,19	40,21	39,78	39,75	39,28	12
17W011G	6574920,5	149652,5	33,90	34,32	27,82	1"	31,23	33,36	32,26	32,19	31,34	16
17W012G	6574524,6	149695,6	28,61	29,67	23,17	1"	25,22	27,10	25,86	25,84	25,41	16
17W015G	6575224,4	150317,0	30,45	30,33	21,33	2"	26,97	27,34	27,14	27,13	27,10	14
17W016G	6575227,2	149959,6	33,95	34,86	23,98	2"	31,63	32,16	31,87	31,89	31,69	16
17W017G	6575265,8	150470,5	28,42	29,26	21,76	1"	23,80	24,96	24,35	24,33	23,92	16
17W020G	6573279,2	150783,1	20,31	21,11	16,61	2"	18,84	19,29	19,00	18,98	18,86	15
17W021G	6576227,7	150285,2	36,46	37,61	29,61	2"	34,69	35,50	35,13	35,12	34,81	16
17W022G	6576687,3	150638,1	20,51	20,51	10,51	2"	17,27	17,71	17,54	17,62	17,27	10

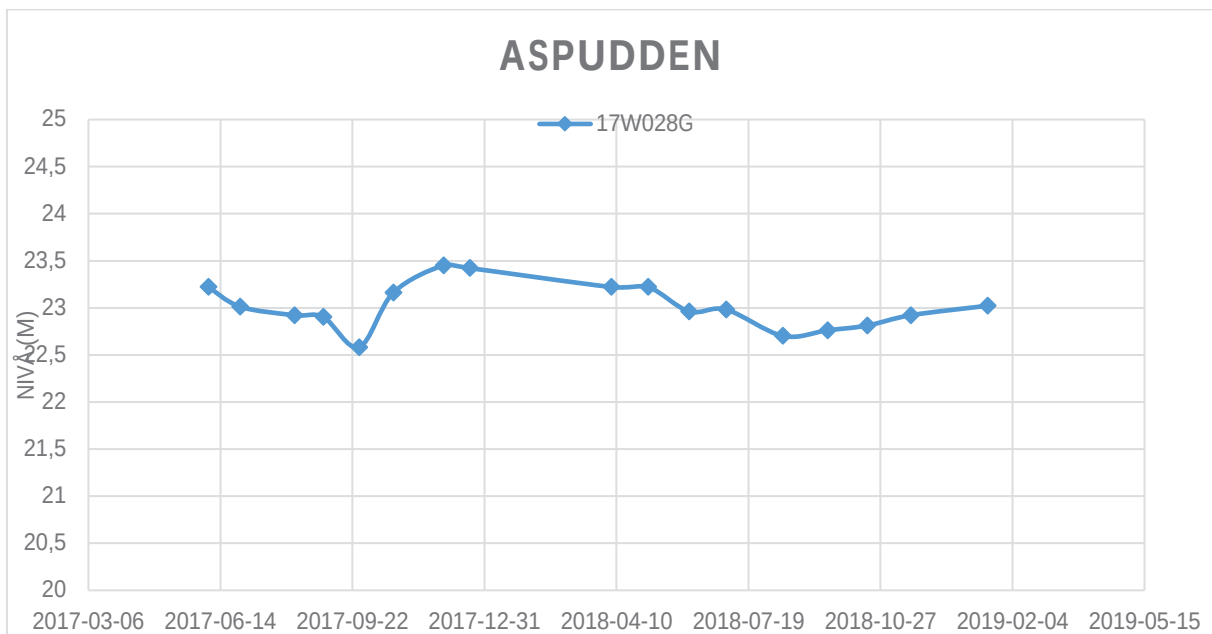
Bilaga G2 Grundvattendata

RörID	x	y	Z_my_RH20 00	Z_rök_RH20 00	Spetsnivå	Dimensi on	Gv nivå_min	Gv nivå_ma x	Gv nivå_me del	Gv nivå_me dian	Lägsta 10- percentilen	Antal mätvärden
17W023G	6577314,3	150525,8	3,02	3,41	-5,40	1"	0,68	1,24	0,99	0,99	0,82	16
17W026G	6576470,2	150244,5	36,74	37,79	31,29	2"	34,29	35,56	34,56	34,53	34,34	15
17W027G	6576786,6	150912,8	21,74	22,74	12,24	1"	15,53	16,66	16,05	15,90	15,65	12
17W028G	6576688,0	150073,5	25,18	25,18	15,68	1"	22,58	23,45	23,06	23,01	22,74	13
17W029G	6573814,4	150565,9	27,83	27,73	23,83	1"	24,56	25,17	24,73	24,65	24,57	15
17W057G	6575501,2	150730,2	18,91	18,91	10,31	1"	16,87	18,31	17,93	17,94	17,83	11
17W077G	6574408,8	149585,7	23,72	23,67	17,17	1"	21,46	21,58	21,51	21,51	21,46	12
17W090G	6574578,9	149371,0	24,31	25,32	14,82	1"	22,00	22,60	22,28	22,24	22,07	15
17W096G	6573518,7	151021,0	19,74	20,74	7,74	2"	18,94	19,29	19,13	19,11	18,99	15
GW03						1"	-3,73	-2,42	-2,91	-2,65	-3,63	7
SCCGV11	149664,7	6574779,4	33,57	34,57	28,07	1"	29,81	32,25	31,46	31,65	30,56	6
18W005G	6574570,3	149740,6	30,61	30,53	23,00	2"	26,00	29,11	27,84	28,29	26,36	8
18W008G	6573449,8	150743,8	23,72	24,67	21,17	1"	21,70	21,70	21,70	21,70	21,70	1
18W009G	6573908,1	150633,5	26,32	27,28	21,83	1"	23,77	26,08	24,60	23,96	23,81	6
18W011G	6575248,7	150302,2	30,50	30,40	20,90	1"	26,40	26,67	26,50	26,43	26,40	6
18W012G	6573461,1	150755,8	23,70	23,65	19,85	2"	19,89	19,94	19,91	19,91	19,89	3
18W013G	6573919,7	150756,7	25,41	25,89	19,39	2"	20,87	21,02	20,94	20,93	20,88	6
18W016G	6574313,0	149689,1	22,84	23,78	17,28	1"	20,98	21,21	21,08	21,08	21,01	8
18W017G	6574569,1	149732,6	30,37	30,28	22,90	1"	26,75	29,20	28,14	28,31	27,06	7
18W018G	6576532,0	150491,1	33,44	33,34	28,84	1"	29,67	29,67	29,67	29,67	29,67	3
18W019G	6577204,9	150476,7	16,36	17,59	11,99	1"	11,99	12,75	12,39	12,41	12,08	3
18W022G	6573756,0	150420,3	27,10	27,72	23,72	2"	24,48	24,61	24,54	24,52	24,49	6
18W023G	6573752,8	150430,2	26,97	27,69	24,19	1"	25,91	25,91	25,91	25,91	25,91	1
18W024G	6573857,2	150886,0	23,29	23,20	11,20	2"	21,63	21,73	21,68	21,70	21,64	6
18W026G	6573859,0	150889,2	23,31	23,21	11,71	1"	21,71	22,92	22,15	21,82	21,73	6
18W027G	6573659,4	150506,6	28,26	28,26	20,76	1"	25,29	25,46	25,34	25,29	25,29	6
18W028G	6574376,9	149774,5	22,80	22,70	10,20	1"	21,90	22,39	22,16	22,20	21,96	6
18W030G	6574621,0	149741,3	31,53	31,38	23,84	1"	26,48	26,48	26,48	26,48	26,48	4
18W031G	6574621,7	149751,8	31,76	31,71	24,71	2"	26,66	26,66	26,66	26,66	26,66	3

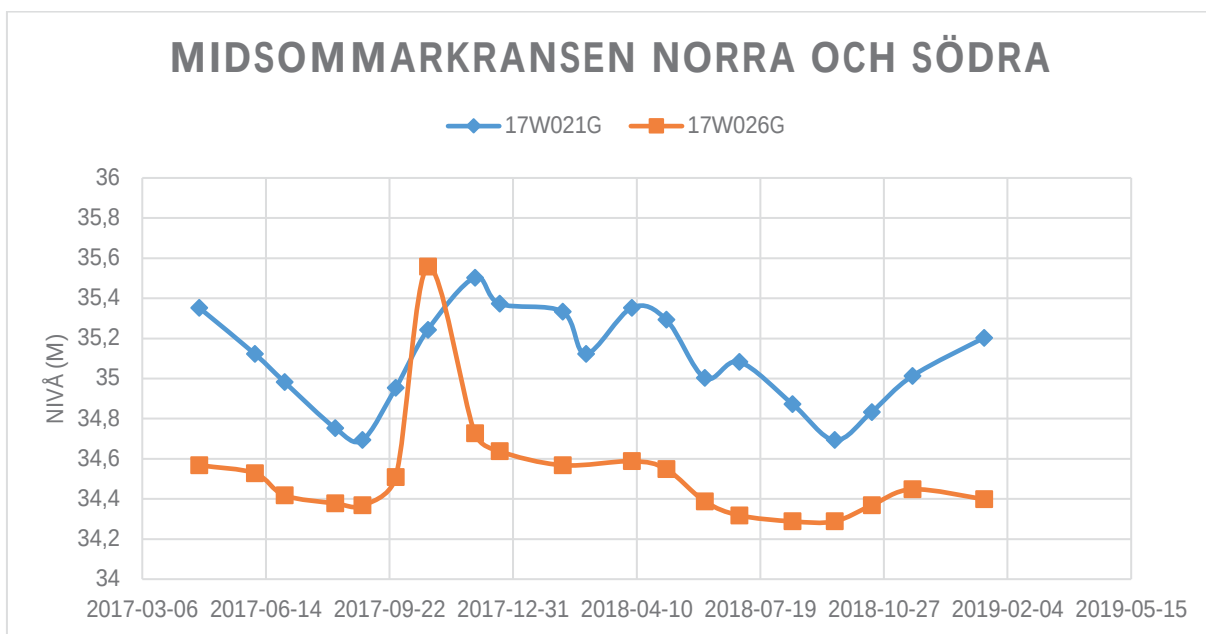
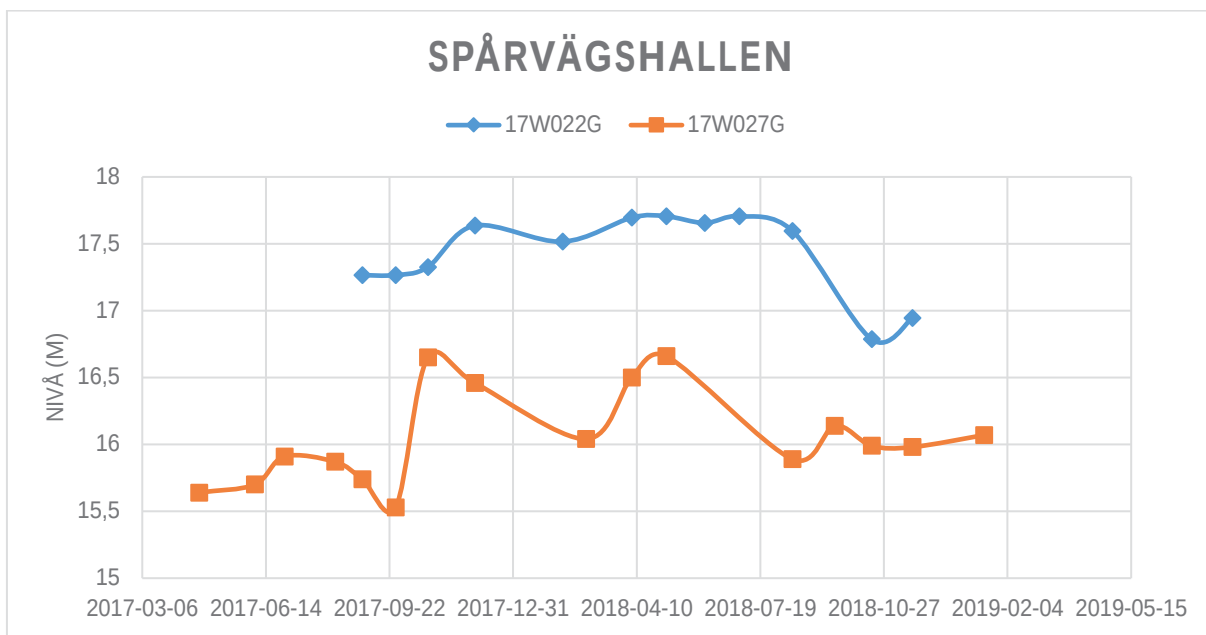
Vattenbalansområde Blommensbergsvägen



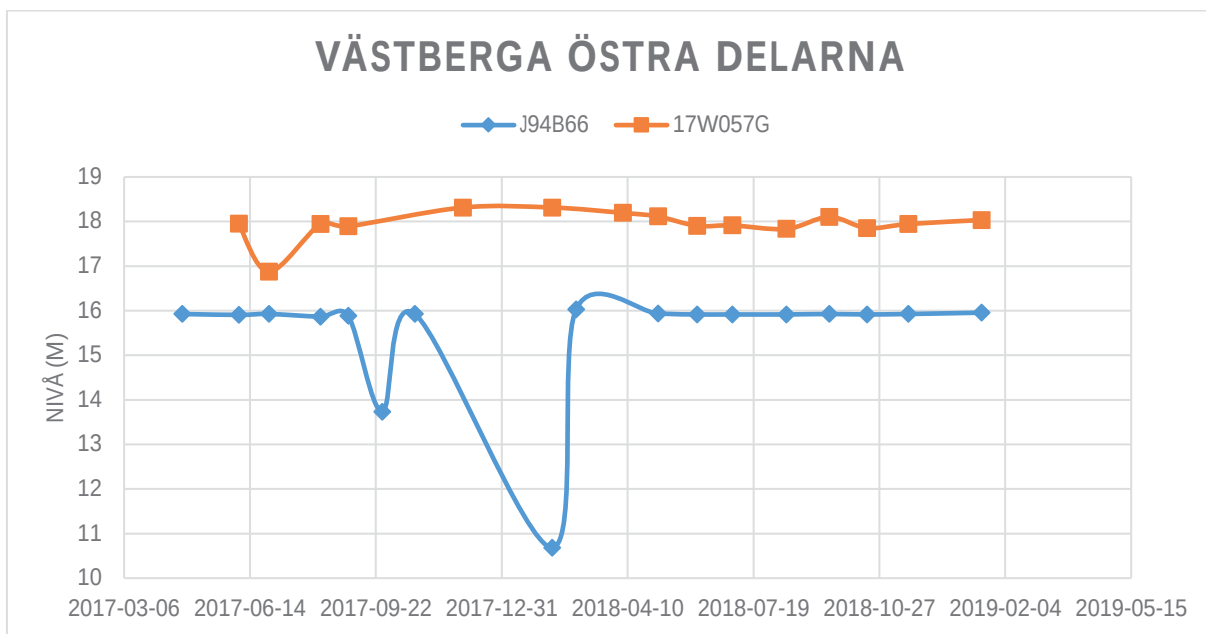
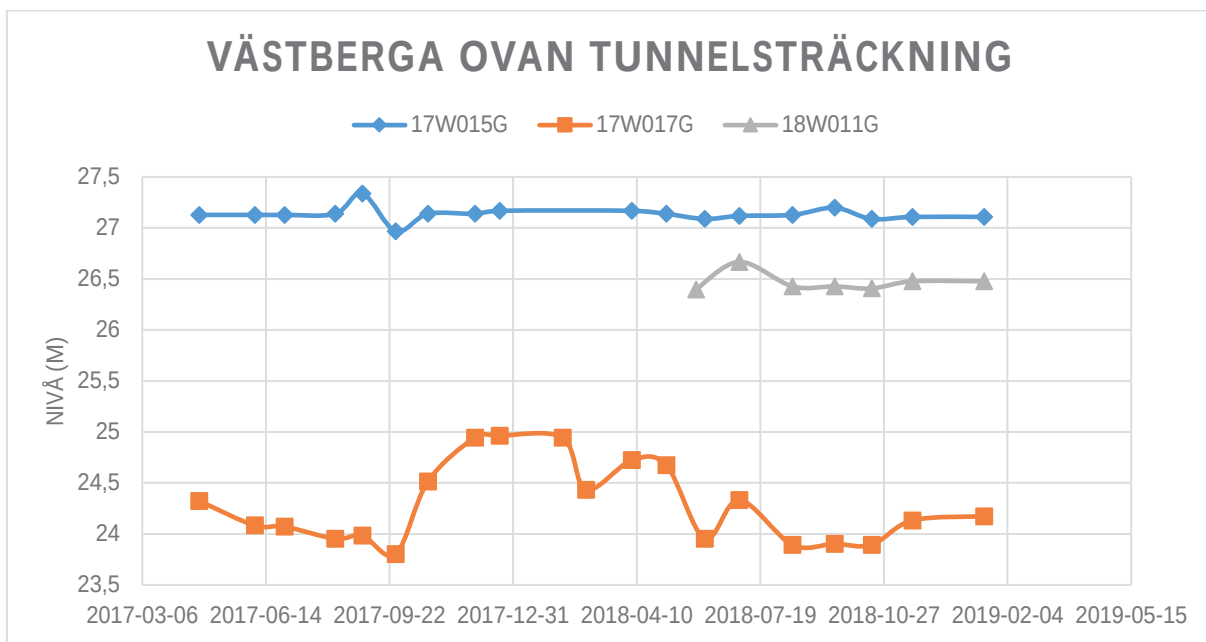
Vattenbalansområde Aspudden

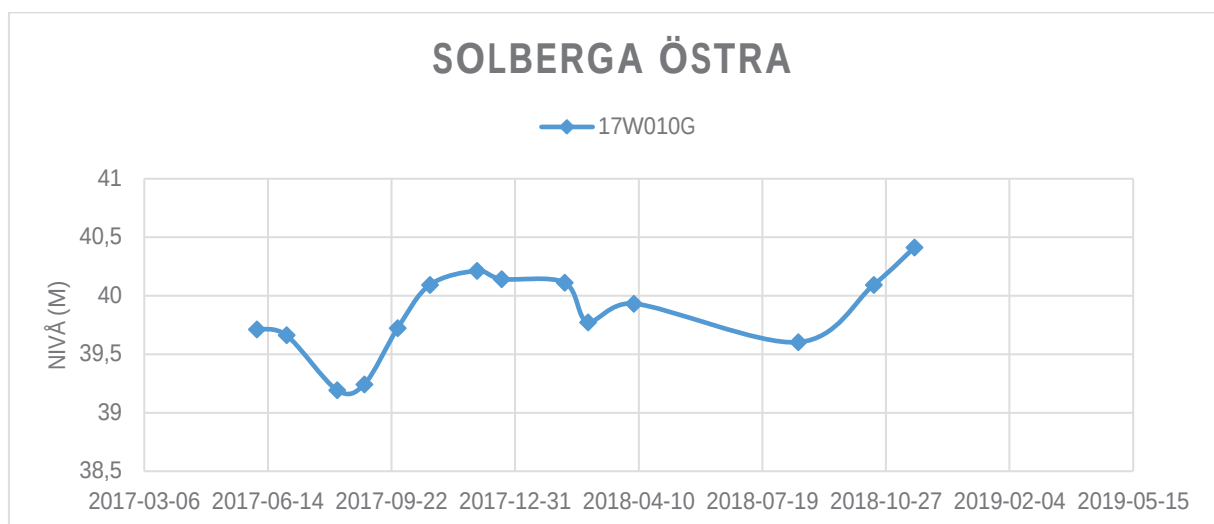
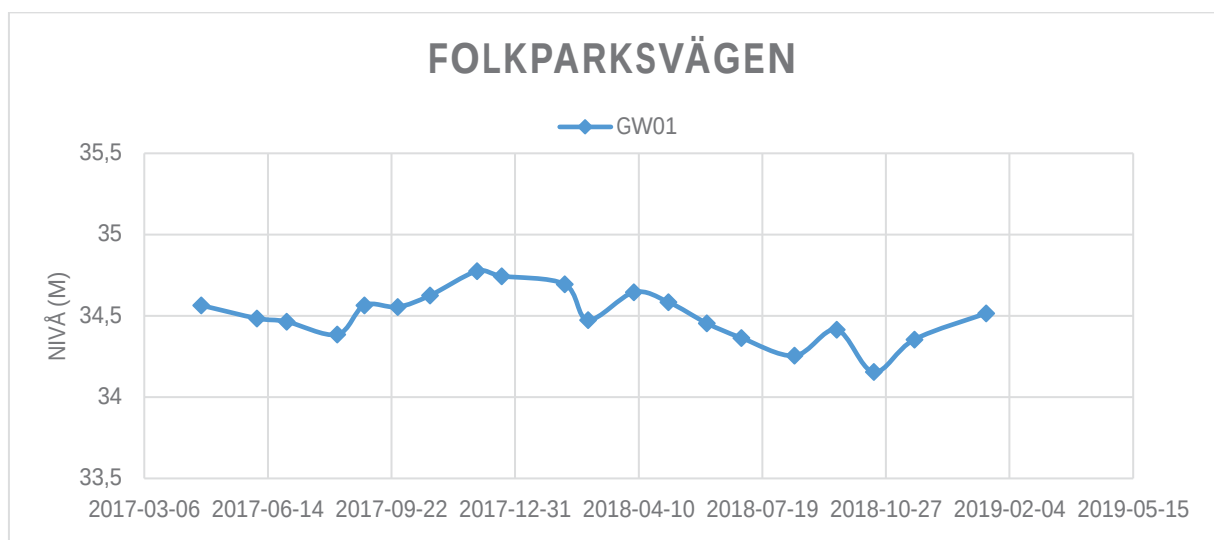
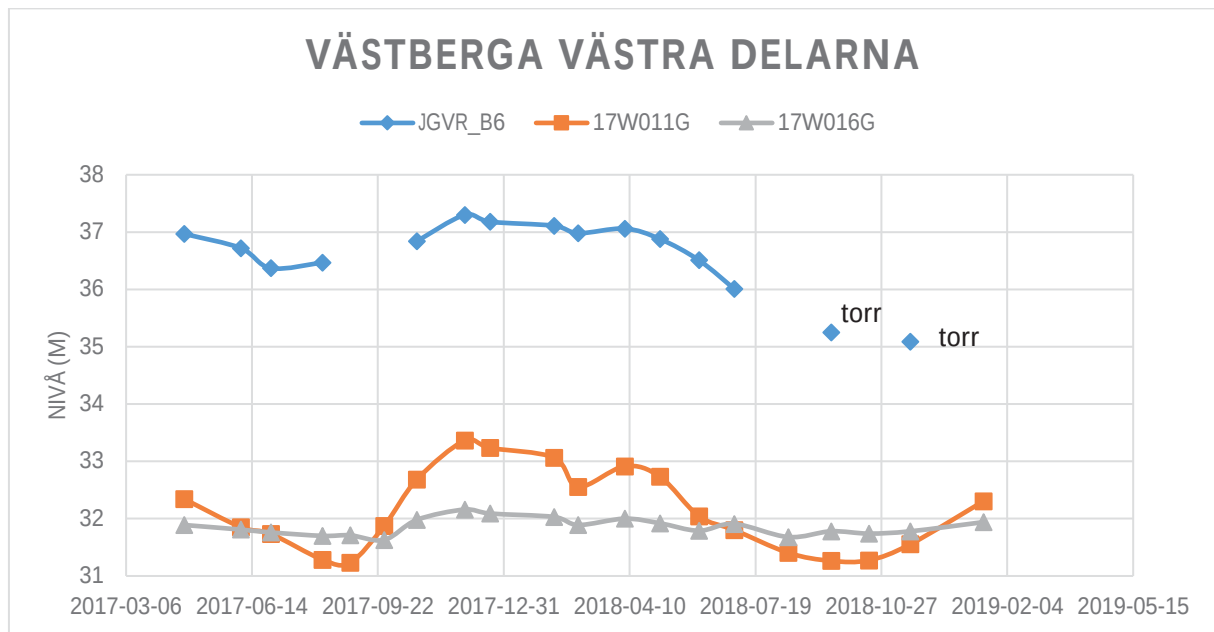


Vattenbalansområde Midsommarkransen

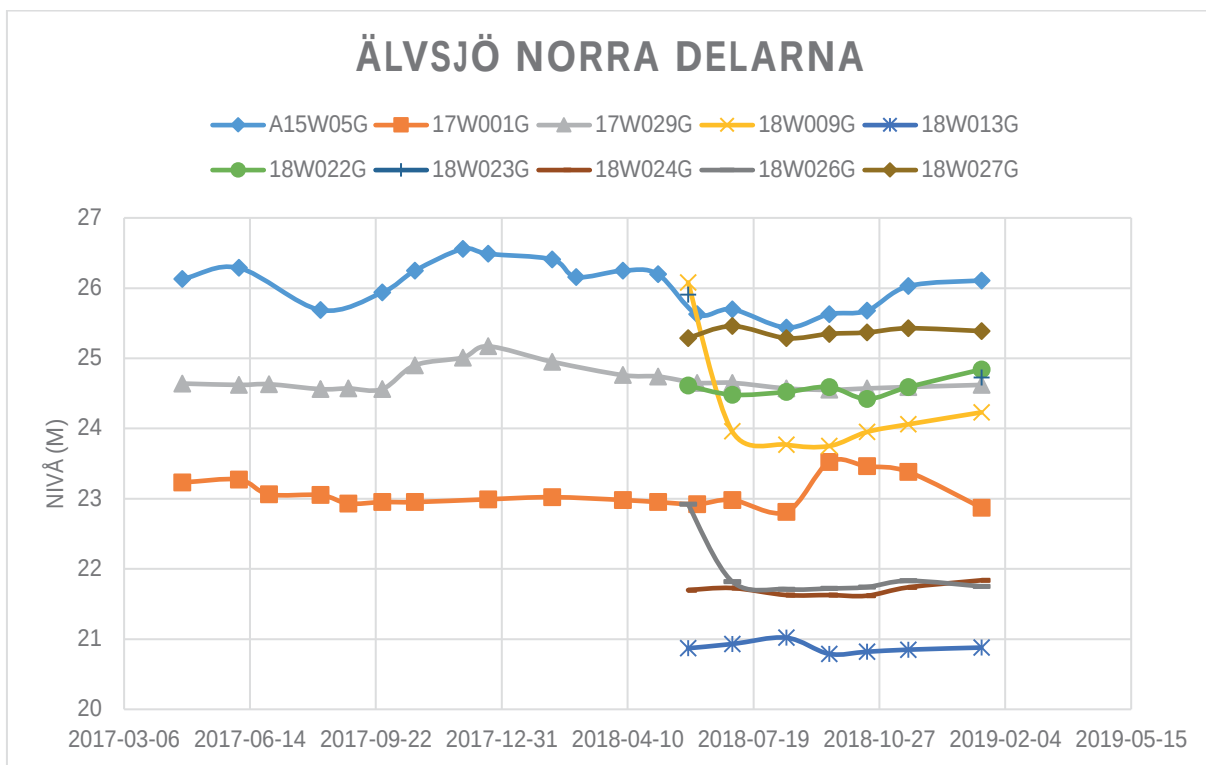
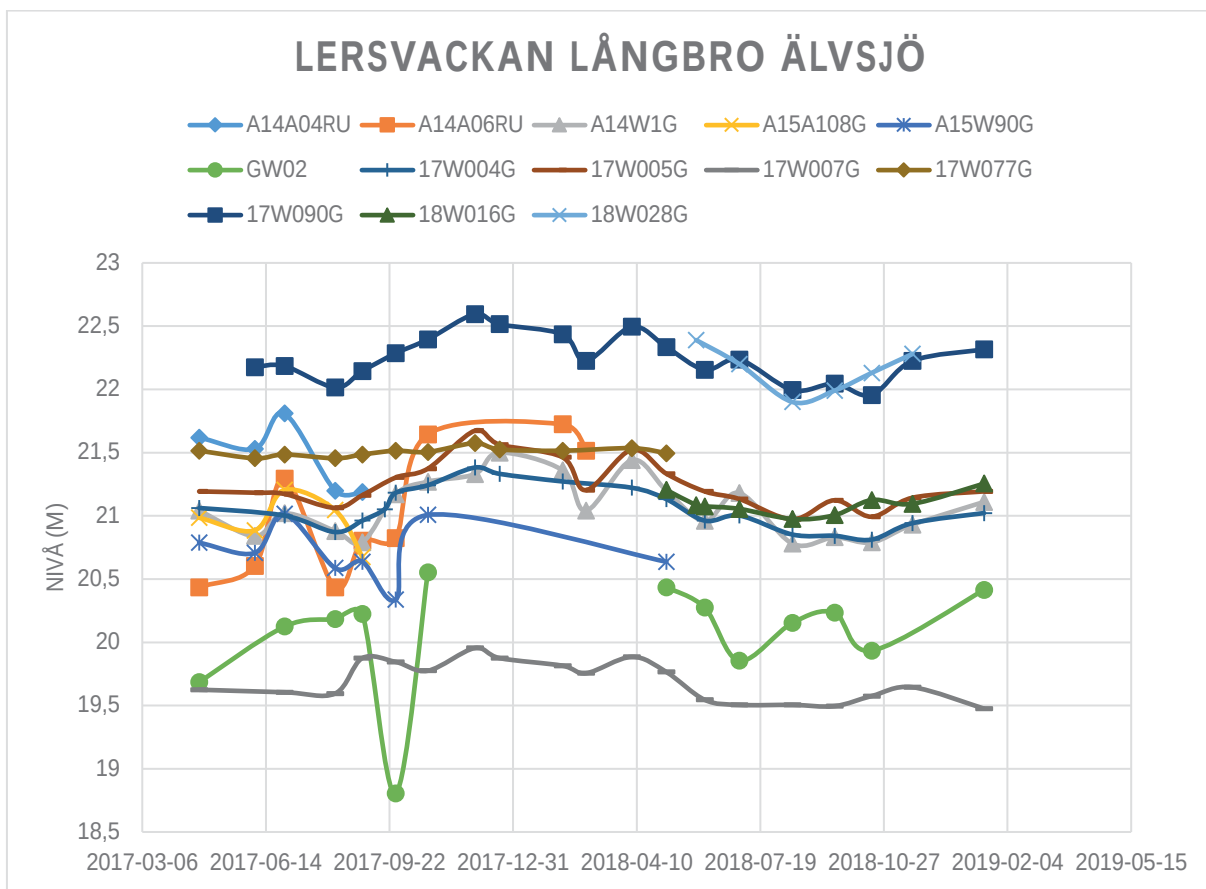


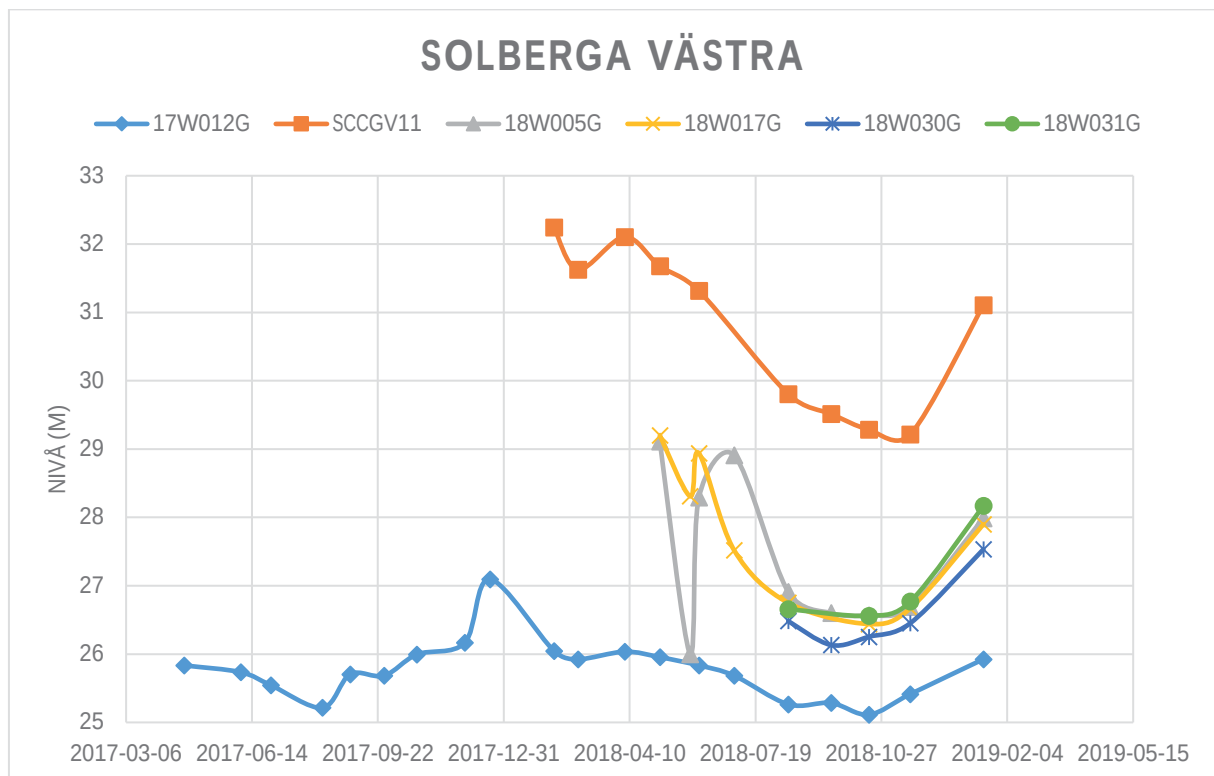
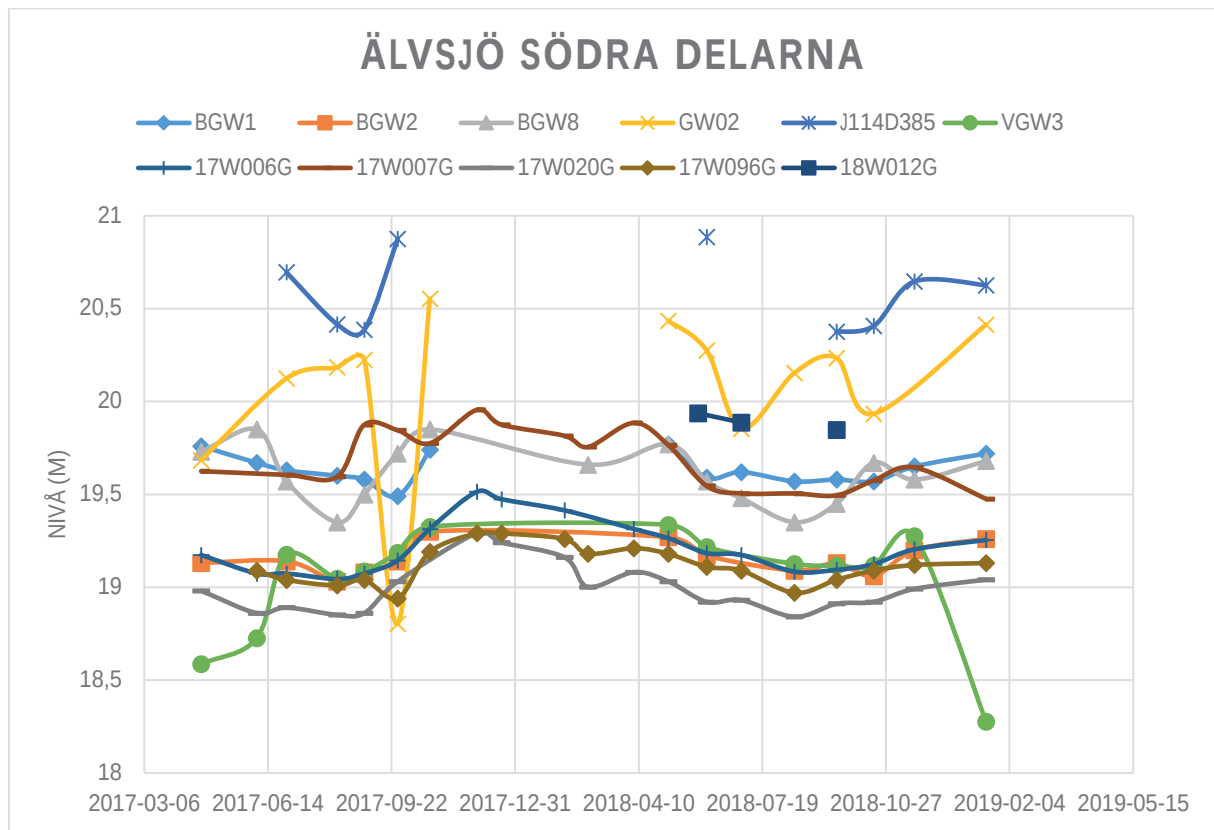
Vattenbalansområde Västberga





Vattenbalansområde Älvsjö







Teckenförklaring

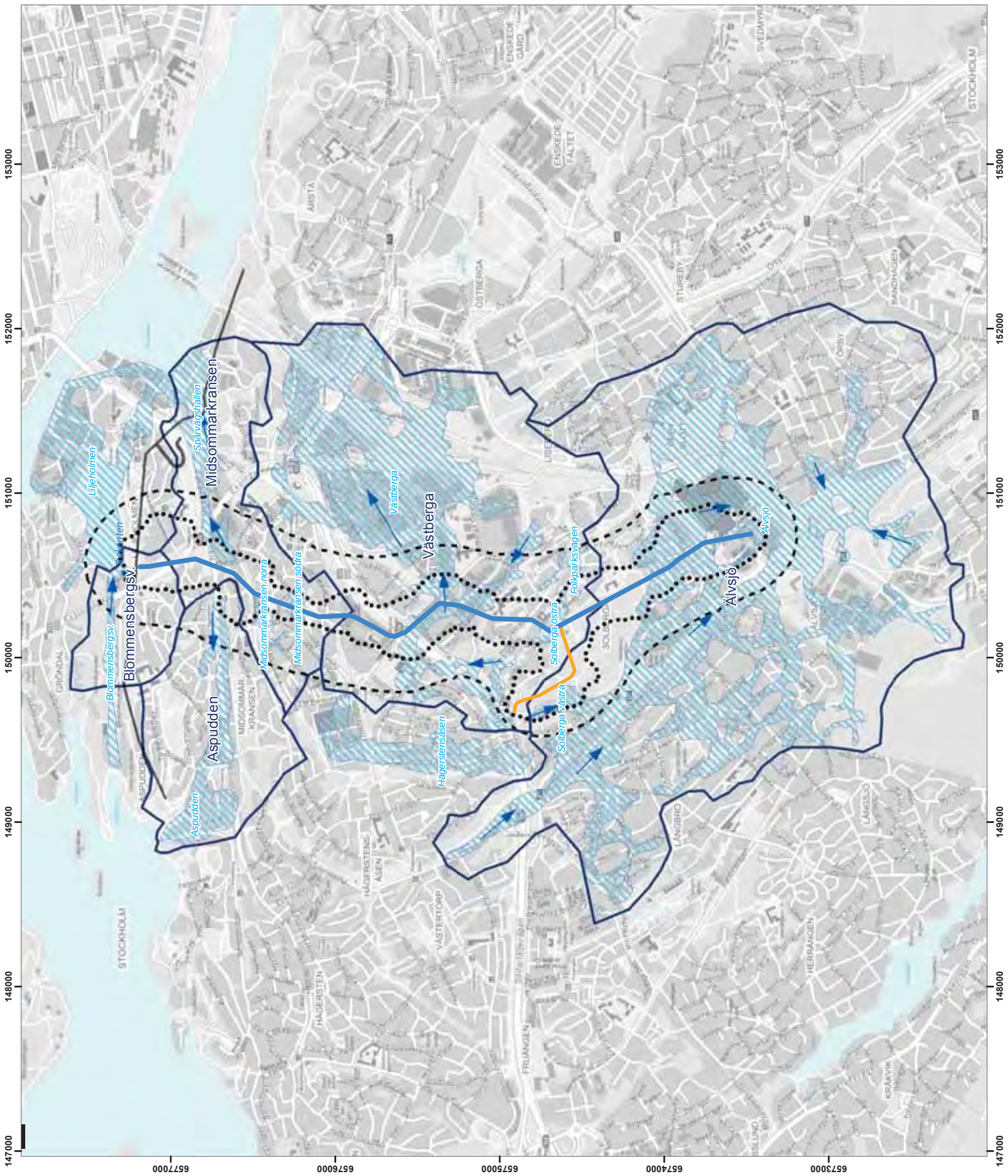
- Tunnelsträckning
- Arbetstunnel
- Vattendelare
- Strömningsriktning
- Influensområde grundvattenpåverkan i jord
- Influensområde grundvattenpåverkan i berg
- Undre grundvattenmagasin

Projekt: Mästartunneln
Bilaga G3
Vattenbalansområden

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, Lantmateriet
Datum: 2019-01-10
A3, Skala: 1:21 000
Koordinatsystem: Sverref 99 18 00
0 180 360 540 720 900
Meter



WSP Sverige
Avdelning Mark och Vatten





Teckenförklaring

- # Grundvattenrör (svart text)
- Kolvprover (brun text)
- Energrunnar

MFO, riskklass

- Klass 2
- Klass 3
- Oklassificerad
- ▨ Områden med potentiellt behov av infiltration
- ▨ Grundlagt på platta på lera
- ▨ Ökänd grundläggning
- ▨ Övriga byggnader
- ▨ Tunnelsträckning
- ▨ Arbetstunnel
- ▨ Utredningsområde
- ▨ Influensområde grundvattenpåverkan i berg
- ▨ Influensområde grundvattenpåverkan i jord
- ▨ Befintliga skadeområden

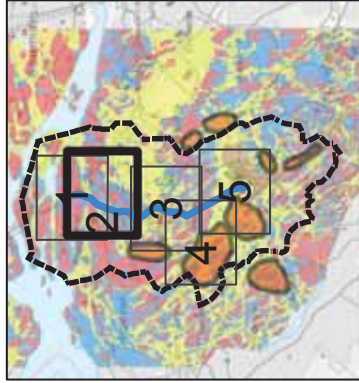
JORDART

- ▨ Berg i dagen
- ▨ Organisk jord
- ▨ Lera
- ▨ Morän

Projekt: Mässtunneln Bilaga G4

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, Lantmäteriet
Datum: 2019-01-10
A3, Skala: 1:502 955
Koordinatsystem: Sverd 99 18 00





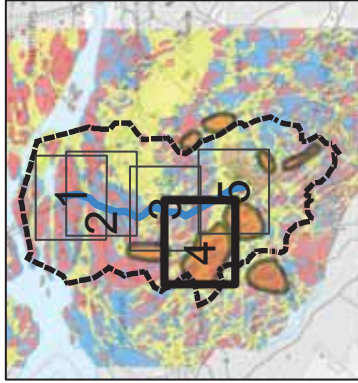
Teckenförklaring

- Grundvattenrör (svart text)
- Polycentralt område (lila text)
- Kolprover (brun text)
- MIFO, riskklass
- Klass 2
- Klass 3
- Oklassificerad
- Energibrunnar
- Områden med potentiellt behov av infiltration
- Grundlag på platta på lera
- Ök och grundläggning
- Övriga byggnader
- Tunnels träckning
- Arbetsområde
- Upprätthållande
- Anslutning till VA-nät
- Utsäddningsområde
- Influensområde grundvattenpåverkan i jord
- Influensområde grundvattenpåverkan i berg
- Stadsområden
- Grundvattenmagasin
- JORDART
- Berg i dagen
- Organisk jord
- Lera
- Moran

Projekt: Mässhallen
Bilaga G4:2

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, SGU, Lantmäteriet
Datum: 2019-01-10
A3, Skala: 1:5 071
Koordinatsystem: Sverref 99 18 00





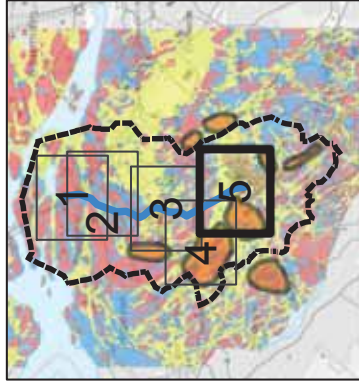
Teckenförklaring

- # Grundvattenör (svart text)
- Polycykliska (lila text)
- Kolprover (brun text)
- MFO, riskklass**
- Klass 2
- Klass 3
- Oklassificerad
- Energibrunnar
- Områden med potentiellt behov av infiltration
- Grundlags på platå på lera
- Ökänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Tunnelsträckning
- Arbets tunnel
- Utrymningssträkt
- Anslutning till VA-nät
- Utredningsområde
- Influensområde grundvattenpårverkan i jord
- Influensområde grundvattenpårverkan i berg
- Stadsområden
- Grundvattenmagasin
- JORDART**
- Berg i dagen
- Organisk jord
- Lera
- Morän

Projekt: Mässtunneln
Bilaga G4:4

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, SGU, Lantmäteriet
Datum: 2019-01-10
A3, Skala: 1:5 071
Koordinatsystem: Sverref 99 18 00



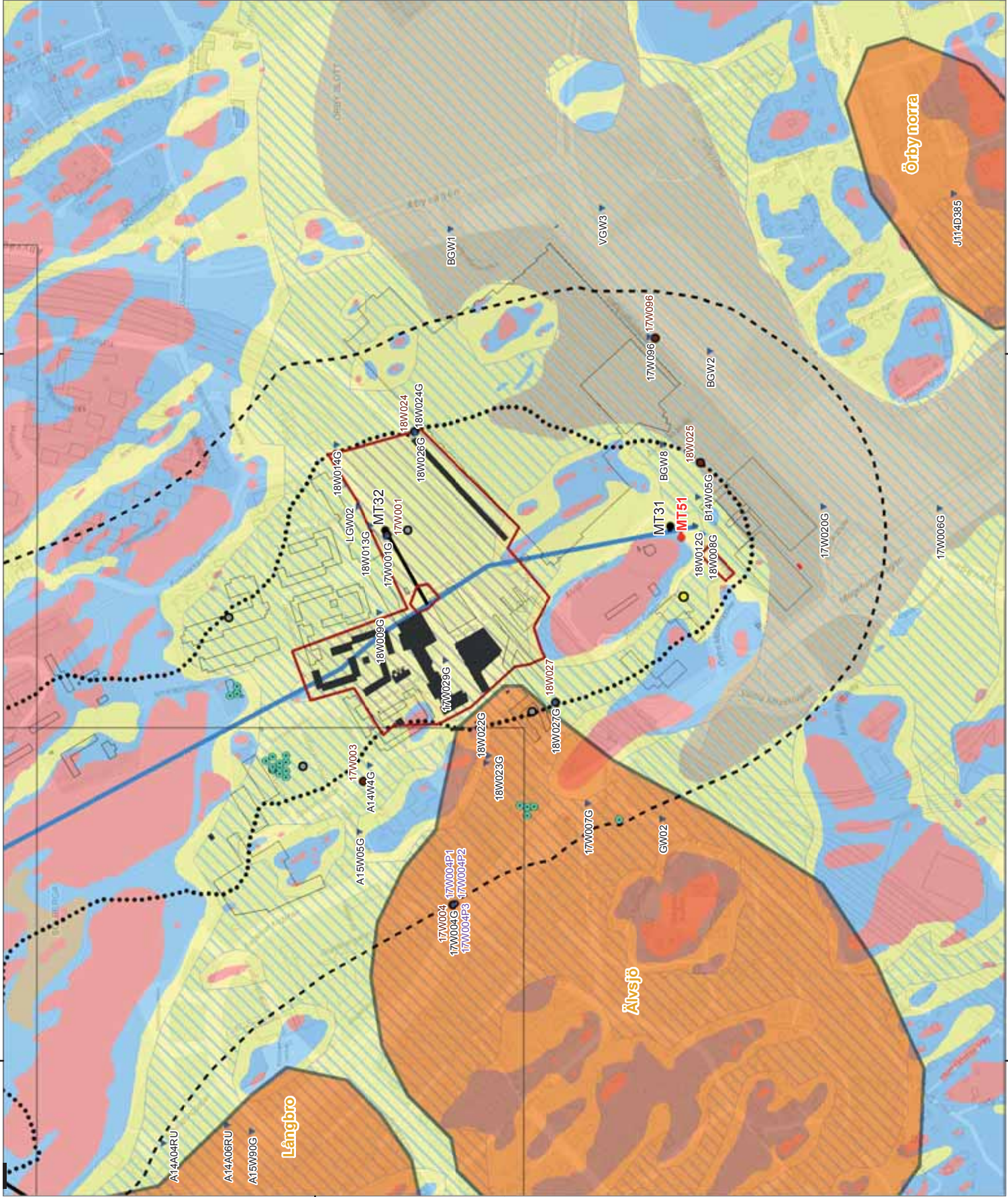


Teckenförklaring

- Grundvattenför (svart text)
- Polycentralt (lila text)
- Kolprover (brun text)
- MIFO, riskklass
- Klass 2
- Klass 3
- Klassificerad
- Energibrunnar
- Områden med potentiellt behov av infiltration
- Grundlägg på platta på lera
- Ökänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Tunnels träkning
- Arbetsstunnel
- Utrymningssträkt
- Anslutning till VA-nät
- Utsedningsområde
- Influensområde grundvattenpänkan i jord
- Influensområde grundvattenpänkan i berg
- Stadsområden
- Grundvattenmagasin
- JORDART
- Berg i dagen
- Organisk jord
- Lera
- Moran

Projekt: Mässtunneln
Bilaga G4:5

Uppdragsnr: 10246445
Ritad av: Linnea Maldonado
Granskad av: Mattias von Brömssen
© Open Stockholm, SGU, Lantmäteriet
Datum: 2019-01-10
A3, Skala: 1:5 071
Koordinatsystem: Sweref 99 18 00



Namn	Dokumenttitel PM Sättningar		Version 1.0
Författare Mattias Lindgren	Ansvarig Tomas Hård	Handlingsstatus/Läge GÄLLANDE	Datum 2019-01-10
Projektnamn MÄSSTUNNELN		Projektnummer 361903	Diarienummer 16SV816



MÄSSTUNNELN

Bilaga G5 PM Sättningar Tillståndsansökan Mässtunneln

Stockholm Vatten AB

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
0.1	2018-09-12	För granskning
0.2	2018-11-09	För granskning
1.0	2019-01-10	Slutversion

Sammanfattning

Denna PM beskriver översiktligt markförhållanden och jordförhållanden längs med utredningsområdet för planerad Mässtunnel. För att klarlägga riskbilden har områden med lera undersökts och bedömts med avseende på sättningskänslighet dels vid dagens förhållanden och dels om en grundvattenavsänkning skulle inträffa.

Innehållsförteckning

1.	Inledning och syfte	4
2.	Allmänna förutsättningar	5
2.1	Urval av områden	5
2.2	Grundvattennivåförändring i tid ("skineffekt")	7
2.3	Marksättningsars utbildande	7
2.4	Beteckningar och höjdsystem.....	9
3.	Beräkningsförutsättningar	10
3.1	Beräkningsgång och programvara	10
3.2	Grundvatten och portryck	10
3.3	Jordlagerförhållanden.....	10
3.4	Redovisning	12
4.	Resultat.....	13
4.1	Älvsjö	14
4.2	Solberga Västra	37
4.3	Solberga Östra	44
4.4	Västberga	49
4.5	Midsommarkransen södra, Svandammsparken.....	56
4.6	Spårvägshallen	63
4.7	Aspudden.....	70
5.	Sammanfattning av beräkningar	76
6.	Referenser	77

Bilagor

Bilaga	Dokumentnummer	Titel
1		Översiktskarta med punkternas placering och grundvattenrör

1. Inledning och syfte

Stockholm Vatten planerar bygga ny avloppstunnel, benämnd Mässtunneln, mellan Liljeholmen och den framtida stadsdelen Älvsjö Örby. Mässtunneln planeras vid Liljeholmen ansluta till avloppstunneln som ska byggas mellan Bromma och Henriksdal, SFA-tunneln (Stockholms Framtida Avloppsrening).

Syftet med Mässtunneln är att den ska avlasta befintligt avloppssystem inom Älvsjö och Örby så områdena kan bebyggas utan risk för källaröversvämningar i VA-systemet nedströms. Mässtunneln ersätter även SFA-tunnelns tidigare planerade grentunnel genom Årsta för att avlasta en bräddpunkt i Bägersta byväg. Mässtunneln ska dessutom avlasta kända hydrauliska flaskhalsar i ledningssystemet.

Inför byggnation av Mässtunneln analyseras risken för marksättningar orsakade av grundvattensänkningar inom lerområden längs tunnelsträckan. Syftet med denna PM är att beskriva och bedöma hur lerområden påverkas samt att kvantifiera sättningarnas storlek till följd av den grundvattenbortledning som kan uppkomma vid byggnation och drift av den nya tunneln. Detta görs huvudsakligen genom teoretiskt beräknade sättningar orsakade av antagna förändrade grundvattentryck inom influensområdet för grundvatten. Inverkan av lermäktighet och s.k. "skineffekt" på sättningarnas storlek har även beräknats.

2. Allmänna förutsättningar

Detta dokument behandlar markrörelser, som kan uppkomma genom konsolidering av kohesionsjordar, orsakade av grundvattennivåsänkning vid byggnation och drift av avloppsanläggningen. Då konsolideringsförloppen är tidsmässigt utdragna kan även tidigare eventuella grundvattennivåförändringar eller markuppfyllnader fortfarande orsaka pågående sättningar.

Inventering av tidigare utförda geotekniska undersökningar och provtagningar inom områden som bedöms kunna påverkas av grundvattennivåsänkning har utförts. Utifrån inventeringen har sedan kompletterande undersökningar och provtagningar utförts inom utvalda områden.

Utförda sättningsberäkningar baseras på resultat från inventerade och kompletterande undersökningar. Detaljerade resultat från geotekniska undersökningar, provtagningar och laboratorieanalyser på ostörda lerprover redovisas i Markteknisk undersökningsrapport [1].

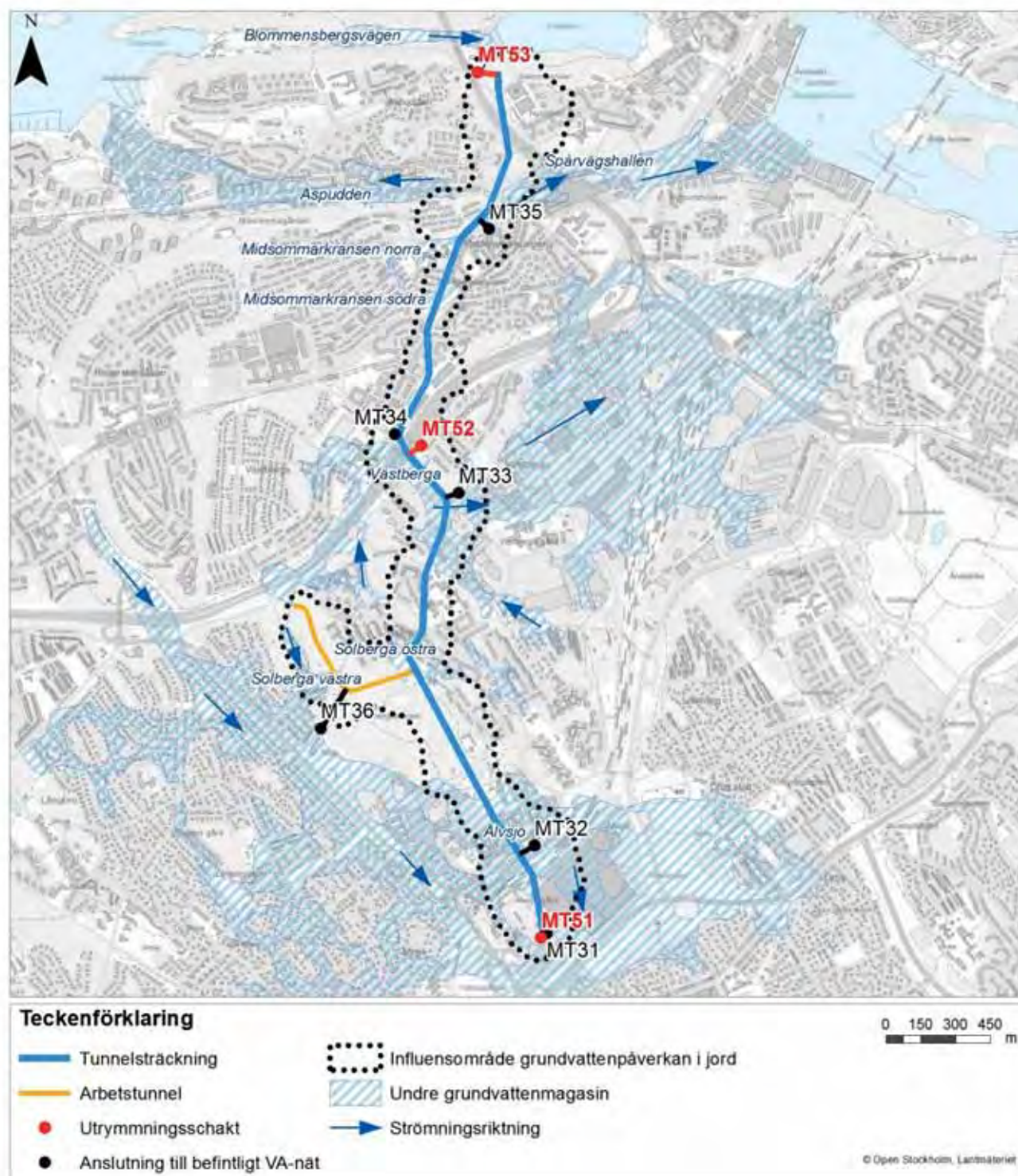
Vid grundvattennivåsänkning kan sättningar uppstå i den lösa leran. Storleken och tidsförloppet på sättningarnas utbildande styrs dock av lerans deformationsegenskaper, dränerande skikt i jorden samt grundvattensänkningens storlek och varighet.

2.1 Urval av områden

De teoretiska beräkningarna avser marksättning eller markrörelse till följd av en antagen grundvattensänkning inom områden med sättningsbenägen lera. Efter bedömning och indelning av geologiska och hydrogeologiska områden har ostörda prover av lera tagits upp genom kolvprovtagning i utvalda områden. Proverna har analyserats på laboratorium genom så kallade CRS-försök, varifrån deformationsparametrar erhållits som underlag för beräkningarna.

Inom influensområdet för bedömd grundvattenpåverkan i jord vid byggnation och drift av tunneln, har följande områden med sättningsbenägen lera identifierats: Aspudden, Spårväghallen, Midsommarkransen södra, Västberga, Solberga västra, Solberga östra och Älvsjö. I Figur 1 visas influensområdets utbredning samt grundvattenmagasin längs tunnelsträckan.

Influensområdet har sedan geotekniska fältarbeten utförts blivit mindre. Detta har medfört att vissa provtagningspunkter ligger utanför influensområdet.

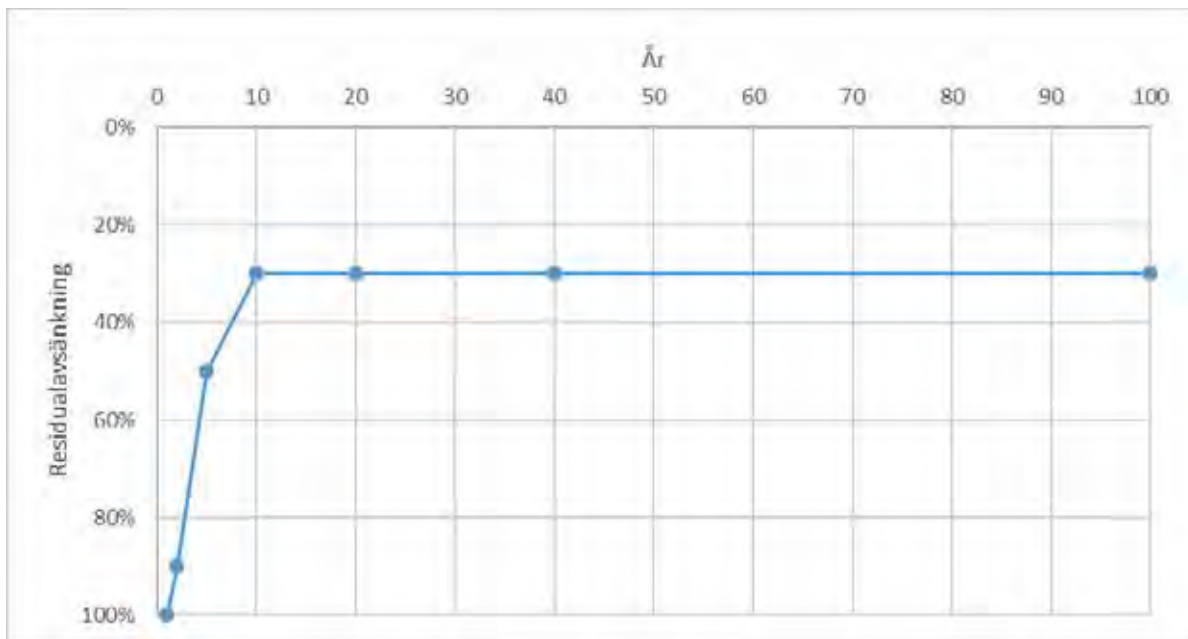


Figur 1 Influensområde och grundvattenmagasin.

2.2 Grundvattennivåförändring i tid ("skineffekt")

Influensområdet för grundvattenpåverkan i jord minskar med tiden på grund av minskad grundvattenbortledning från tunneln. Med tiden blir tunneln naturligt tätare på grund av olika processer som medför att bergets vattenförande förmåga avtar, så kallad "skineffekt". Berget blir tätare till följd av exempelvis spänningsomvandlingar (deformationer) i berget samt uppkomst och ansamlande av utfällningar och sprickmineral från berget. "Skineffekt" förklaras närmare i PM Hydrologi, kapitel 8.4 Mässtunnelns påverkan på grundvattennivåer.

"Skineffekt" medför att bortledningen av grundvatten (pga inläckage i tunneln) minskar med tiden vilket medför att influensområdet minskar och grundvattentrycknivåerna ökar. För Mässtunneln beräknas att grundvattnets trycknivå initialt sänks för att sedan, inom en 10-årsperiod, öka successivt till en residualavsänkning som är ca 30% av den initiala sänkningen, se figur nedan.



Figur 2 Förändring av grundvattensänkning med tiden med hänsyn till "skineffekt".

I denna PM redovisas resultat från sättningsberäkningar med hänsyn till "skineffekt" utförda för största lermäktigheten vid respektive undersökningspunkt. Beräkningarna redovisas som jämförelse med motsvarande sättningsberäkningar utförda på traditionellt vis, dvs med konstant sänkt grundvattentrycknivå.

2.3 Marksättningars utbildande

Marksättningar kan uppkomma av olika orsaker, vanligtvis på grund av uppfyllnader på markytan men också vid grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet. Ett övre grundvattenmagasin finns i fyllning över tät lera, medan ett undre magasin finns i friktionsjord och berg under leran. Grundvattenförändringar i det övre magasinet ger normalt inte upphov till marksättningar.

Vid en grundvattensänkning sänks portrycket i leran. Detta är en process som resulterar i att portrycket i leran söker sig till ett nytt jämviktstillstånd, det hydrostatiska trycket. Processen då portryckutjämning sker är långsam i täta jordlager som till exempel lera, medan den i grövre jordarter som till exempel silt, sand och grus går betydligt snabbare.

Under portryckutjämningen sker en konsolidering av leran, vilket medför deformation genom volymminskning. Volymminskningen motsvarar helt den vattenutpressning som sker. I friktionsjordar dräneras vattnet ut relativt snabbt och volymminskningen i dessa jordarter ger normalt endast små deformationer, praktisk försumbara, då kornskelettet deformeras.

I lera skiljer man mellan primär och sekundär konsolidering. Med primär konsolidering avses den hydrodynamiska delen av volymminskningen. Med sekundär konsolidering avses volymminskning genom krypning i "jordskelettet", det vill säga när lerans kornskelett komprimeras. Sekundär konsolidering sker under konstant belastning även efter det att full portryckutjämning har skett. Primär och sekundär konsolidering sker i praktiken i stort sett samtidigt och är därför svåra att särskilja. Däremot kan de sekundära sättningarna pågå under många tiotals år.

Jord som tidigare varit belastad eller haft avsänkt grundvattennivå får en viss överkonsolidering. Konsolideringsgraden framgår av laboratorieutvärderingen av jordprover. Detta innebär att jorden tål belastning upp till samma spänning som tidigare utan att primärkonsolidering sker.

Förhållandet mellan förkonsolideringsspänningen (σ'_c) och jordens rådande vertikala effektivspänning σ'_o kallas överkonsolideringskvot, OCR ($OCR = \sigma'_c / \sigma'_o$). En kvot på 1 till 1,5 benämns som normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad, en kvot på 1,5 till 10 som överkonsoliderad och en kvot på mer än 10 som starkt överkonsoliderad. Är den antagna överkonsolideringskvoten under 1 innebär det att rådande spänningar i leran inte är helt utjämnade, d.v.s. konsolidering pågår. Detta innebär att marksättningar pågår och fortsätter att utbildas även utan ytterligare belastning eller grundvattenpåverkan.

Den sekundära konsolideringen, krypningen, antas uppstå i lera då effektivspänningen överskrider ca 80 % av förkonsolideringstrycket. Under denna nivå erhålls marginella krypeffekter.

Marksättningar är tidsberoende och även små sättningar kan pågå under lång tid, upp till 50 - 100 år.

Sättningens storlek och tidsberoende varierar med såväl jordens egenskaper, såsom förekomst av dränerande skikt av sand och silt, lerans mäktighet och grundvattensänkningens storlek och varaktighet.

Sättningar kan även utbildas utan grundvattensänkning, t.ex. vid belastningsökning från uppfyllning av mark. Ytliga jordlager, som belastas vid uppfyllning, kan innehålla organiskt material som långsamt bryts ned, vilket medför sättningar. Sättningens storlek beror av

andelen och mäktigheten av organiskt material. Organiskt material antas förekomma lokalt och bedöms bli av underordnad betydelse jämfört med primärkonsolidering av lera.

2.4 Beteckningar och höjdsystem

Parametrar och dess beteckningar följer SGF/BGS beteckningssystem, som är branschspecifik.

Nivåangivelser för mark och grundvatten ges i Rikets höjdsystem (RH2000).

Parametrar från CRS-försök

σ'_c = förkonsolideringstryck, [kPa]

σ'_L = gränstryck, [kPa]

M_0 = kompressionsmodul under förkonsolideringstrycket, [kPa]

M_L = kompressionsmodul för spänningar över förkonsolideringstrycket, [kPa]

M' = kompressionsmodul för spänningar över gränstrycket, [kPa]

k_i = initiell permeabilitet, [m/s]

β_k = permeabilitetsändring med kompression

Parametrar för beräkningar i GS Sättning utöver resultat från CRS-försök

w_N = vattenkvot

r_0 = tidsmotståndstalet för spänningar upp till $b_0 \cdot \sigma'_c$

r_1 = tidsmotståndstalet för spänningar upp till $b_1 \cdot \sigma'_c$

a_0 och a_1 = faktorer som anger övergång mellan M_0 och M_L

b_0 och b_1 = faktorer som anger övergång mellan r_0 och r_1

t_{ref} = referenstid

K_{init} = jordens permeabilitet

3. Beräkningsförutsättningar

3.1 Beräkningsgång och programvara

Inför beräkningarna har jordens egenskaper utvärderats och sammanställts från fält- och laboratorieförsök för respektive undersökningspunkt.

Beräkningar har utförts för olika mäktigheter på lerlagret och jordens egenskaper har antagits variera med lerdjupet utifrån resultat och förhållanden vid respektive undersökningspunkt. I verkligheten kan jordens egenskaper skilja sig mellan olika lermäktigheter, exempelvis kan tunnare lerlager oftast antas ha fördelaktigare sättningsegenskaper än lerlager med större mäktighet.

CPT-sonderingar har utvärderats med datorprogrammet CONRAD.

Sättningsberäkningar har utförts med beräkningsprogrammet GeoSuite Sättning, som baseras på Chalmersmodellen. I programmet har jordmodellerna *Chalmers with creep* och *Chalmers without creep* använts. Modell för permeabilitet är *Log based strain*. Modeller och beräkningsprogram beskrivs i [3,4].

3.2 Grundvatten och portryck

Sättningsens storlek vid grundvattensänkning är beroende av ansatt grundvattennivå vid beräkningsstart. En högre ansatt nivå innebär att sättningarna blir mindre vid en grundvattensänkning.

Den rådande grundvattennivån i det undre magasinet har i varje beräkningspunkt bedömts utifrån tillgängliga grundvattennivåmätningar inom närområdet. Saknas detta underlag har en grundvattennivå i underkant torrskorpelera antagits. I torrskorpelera har fullständiga sättningar redan utbildats. Ytterligare konsolidering i torrskorpelera beaktas därför inte.

I beräkningarna antas portrycket vara hydrostatiskt genom hela lermäktigheten. När kompressionsförsöken visar på låga förkonsolideringstryck och sättningar bedöms pågå, har i vissa fall ett högre portryck antagits på den nivån.

I beräkningarna ansätts att hela grundvattensänkningen sker momentant, d.v.s. vid tidens start (dag 1).

3.3 Jordlagerförhållanden

För sättningsberäkningarna beaktas jordens egenskaper vid aktuell spänningsnivå. Det är deformationen av den lösa leran som ger upphov till marksättningen. Torrskorpelera anses vara uttorkad och konsoliderad och därmed inte orsaka sättningar. Mäktigheten fyllningsjord och torrskorpelera påverkar vilken spänningsnivå som skapas i den underliggande lösa leran och därmed storleken på beräknade sättningar vid grundvattensänkning.

I leran kan tunna skikt av sand eller silt finnas lagrade vilka kan verka dränerande och påskynda sättningsförloppet. Dessa sand- och siltskikt är inte medtagna i beräkningarna vilket innebär att det beräknade tidförloppet blir mera utdraget än i verkligheten. Sand- och siltskikten är inte sättningsbenägna i sig men kan påskynda sättningarna i närliggande lerlager.

I beräkningarna har dubbelsidig dränering av den lösa leran antagits då fyllningsjord och uppsprucken torrskorpelera ovan leran anses dränerande vilket även gäller underliggande friktionsjord och morän.

Då leran inte är konsoliderad för nuvarande spänningsnivå pågår sättningar. Pågående sättningar utbildas även om grundvattenytan hålls konstant vilket syns i utförda beräkningar. Vid pågående sättningar kommer sättningar alltså utbildas i framtiden även om den planerade tunneln inte byggs.

Beräkningarna baseras på de parametrar som jorden hade vid provtagningstillfället. Sättningar kan därmed redan ha utbildats om det gått ett tag sedan provtagningen utfördes och förändringar av grundvattennivå eller markförhållanden har skett. Detta syns då inte i beräkningarna.

De genomförda sättningsberäkningarna bör tolkas indikativt då det i samtliga ingående parametrar finns osäkerheter.

3.3.1 Sättningsparametrar

Deformationsparametrar för lös lera har utvärderats från utförda CRS-försök. CRS-försöken utförs på ostörda lerprover i geotekniskt laboratorium.

För fyllning och torrskorpelera har parametrar enligt nedanstående tabell använts då utvärderade värden saknas.

Tabell 1 Sättningsparametrar för fyllning och torrskorpelera.

Parameter	Fyllning	Torrskorpelera
Densitet	19 kN/m ³	17 kN/m ³
M ₀	20 000 kPa	20 000 kPa
M _L	20 000 kPa	20 000 kPa
σ' _c	150 kPa	150 kPa
σ' _L	300 kPa	300 kPa
M'	12	12
K _{init}	0,1	0,1

β_k	3,5	3,5
a_0	0,8	0,8
a_1	1,0	1,0

Vid beräkningar av krypsättning används kryppparametrar enligt [2]. Kryppparametrar är empiriska och beräknade värden bestämda med utgångspunkt från jordens vattenkvot, förkonsolideringstrycket och rådande effektivspänning.

Vid krypsättning har följande värden antagits:

$$t_{ref} = -0,00274 \text{ år (-1 dag)}$$

$$r_1 = 75/(w_N^{1,5})$$

$$b_0 = \sigma'_0/\sigma'_c$$

$$b_1 = 1,1$$

K_{init} = utvärderas ur CRS för aktuell σ'_0 . OBS $K_{init} \neq K_i$ från CRS.

3.4 Redovisning

Beräkningar har utförts för att bedöma den lösa lerans sättningsbenägenhet vid olika antagna förändringar. Som beräkningsförutsättning har antagits att grundvattensänkning, i det undre grundvattenmagasinet, sker med 0,3, 1 respektive 3 meter, relativt bedömd normal grundvattennivå. Beräkningar har utförts för tidsperioderna 1, 2, 5, 10, 20, 40 och 100 år för att redovisa sättningarnas utbildande med tiden.

Den lösa lerans mäktighet varierar inom respektive område och utförda beräkningar omfattar för området representativa lermäktigheter. Beräkningar har utförts för olika mäktigheter på det lösa lerlagret för att visa hur lermäktigheten påverkar storleken på de beräknade sättningarna.

För den största lermäktigheten i respektive område har även beräkning utförts där grundvattennivåns variation med hänsyn till s.k. "skineffekt" ingår.

De redovisade resultaten avser beräknade sättningar med analyserade parametrar i enstaka punkter på ett antal nivåer. De visar därmed storleksordningen av förväntad sättning för respektive antagen grundvattensänkning. Lokala variationer av lerans mäktighet och egenskaper förekommer inom de olika områdena.

Resultatvärden på beräknade sättningar i tabellerna i kapitel 4 är avrundade upp till närmast heltal i antalet centimeter.

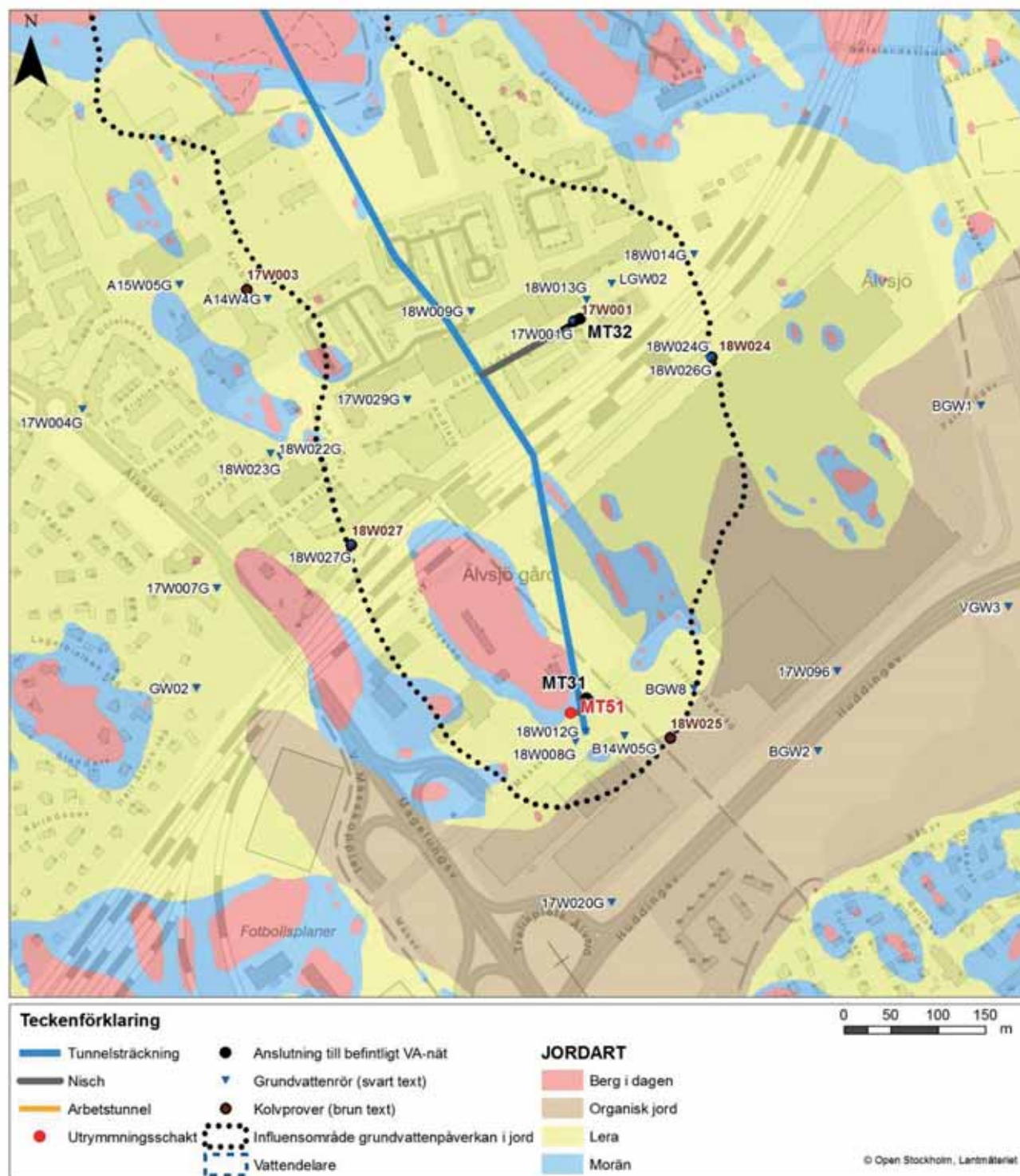
4. Resultat

Nedan sammanfattas de övergripande förutsättningarna, såsom jordlagerföljd, konsolideringsförhållanden och beräkningsresultat för undersökningspunkterna inom respektive område. Beräkningsresultaten omfattar beräknade sättningar vid nuvarande spänningssituation (ingen grundvattensänkning) samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning. Resultatet i tabellerna är avrundade upp till närmast heltal i antalet centimeter.

Punkternas placering och grundvattenrör som utgjort underlag för beräkningarna redovisas i bilaga 1.

4.1 Älvsjö

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 3 Älvsjö område.

4.1.1 Generellt

Lerområdet runt Älvsjö station ingår i ett större område med lera mellan Solberga, Älvsjö och Örby slott. Tunneln sträcker sig i nordvästlig – sydöstlig riktning. Influensområdet sträcker sig cirka 220 meter väster och cirka 260 meter öster om planerad tunnel. Genom området sträcker sig Götalandsvägen och spårområdet för stambanan vid Älvsjö station i sydväst – nordöstlig riktning. I Älvsjö norra delar, på norra sidan av stambanan, finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter. Söder om stambanan finns Stockholmsmässan, Älvsjö gård och parkeringsytor. Söder om influensområdet sträcker sig Huddingevägen och väster om finns Älvsjövägen.

4.1.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca +20 och +30. Marken i större delar av området är relativt plan förutom kuperade partier vid Älvsjö gård.

4.1.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består inom stora delar av området av lera överlagrad av fyllningsjord. Leran underlagras av friktionsjord på berg. Vid Älvsjö gård sticker berget upp i dagen. I den östra delen av området går en lersvacka i nordvästlig – sydöstlig riktning med lermäktigheter på upp till ca 11 meter. I söder överlagras leran av organisk jord.

I den norra delen av området, i undersökningspunkter 17W001, 17W003 och 18W027, består jorden överst av cirka 1,6-2,3 m fyllning som underlagras av 0,7-1,5 m torrskorpelera på 2-3,5 m lera över friktionsjord följt av berg.

I den östra delen av området, i undersökningspunkt 18W024 består jorden av cirka 1-2 m fyllning på 10 m lera över friktionsjord och berg.

Söderut, i undersökningspunkt 18W025 består jorden av cirka 1 m fyllning på 2,5 m lera över friktionsjord och berg. Lerans översta del utgörs av gytig lera vilken bedöms vara konsoliderad av lasten från ovan liggande fyllningsjord.

4.1.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i fem punkter, 17W001, 17W003, 18W025, 18W027 och 18W024.

Installation av grundvattenrör har utförts i sex punkter, 17W001G, 18W027G, 18W024G, 18W026G, 18W008G, och 18W012G.

4.1.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, 17W001G, 18W013G, A15W05G, A14W4G, 18W027G, 18W024G, 18W026G, 18W008G, 18W012G,

B14W05G och BGW8(FJ9713). Grundvattenrören sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkterna.

4.1.5.1 Punkt 17W001

Grundvattenrör 18W013G installerades i april 2018 och mätningar utförda i maj 2018 – juli 2018 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +20,9 och +21,0. Grundvattennivån vid detta rör bedöms inte vara representativt för beräkningarna i dagsläget, utan fler mätningar behövs.

Grundvattennivån uppmätt i grundvattenrör 17W001G stod vid avläsningstillfällena (april 2017-maj 2018) på nivåer mellan +22,9 och +23,3. I beräkningarna för punkt 17W001 har nivån +23,0 valts, d.v.s. ca 2,8 m under markytan.

4.1.5.2 Punkt 17W003

Grundvattennivån uppmätt i grundvattenrör A15W05G stod vid avläsningstillfällena (mars 2015-maj 2018) på nivåer mellan +25,7 och +26,8.

Grundvattennivån uppmätt i grundvattenrör A14W4G stod vid avläsningstillfällena (juni 2014-september 2016) på nivåer mellan +26,1 och +26,9.

I beräkningarna för punkt 17W003 har nivån +26,2 valts, d.v.s. ca 2,5 m under markytan vilket motsvarar en nivå i underkant torrskorpeleran.

4.1.5.3 Punkt 18W024

Grundvattenrör 18W024G och 18W026G installerades i april 2018 och mätningar utförda maj 2018 – juli 2018 visar på varierande nivåer mellan ca +21,6 och +22,0. De senaste avläsningarna visar på en stabiliserande grundvattennivå motsvarande en nivå mitt i torrskorpeleran. Fler mätningar behövs dock för att säkerställa en korrekt grundvattennivå.

I beräkningarna för punkt 18W024 har nivån +21,8 valts, d.v.s. ca 1,5 m under markytan, vilket motsvarar en nivå i underkant fyllningjorden.

4.1.5.4 Punkt 18W025

Grundvattenrör 18W011G installerades i april 2018 och mätningar utförda i maj och juli 2018 visar på grundvattennivåer mellan ca +26,4 och +26,7. Grundvattennivån vid detta rör bedöms inte vara representativt för beräkningarna i dagsläget, utan fler mätningar behövs.

Grundvattenrör 18W008G och 18W012G installerades i april 2018 på en ca 3 m högre nivå ca 80 m nordväst om provtagningspunkten. Grundvattenmätningar utförda maj 2018 – juli 2018 har samtliga visat på torra rör på nivån +20,8, dvs på ca 3 meters djup.

Grundvattennivån uppmätt i grundvattenrör B14W05G stod vid avläsningstillfällena (september 2014-november 2014) på nivåer mellan +19,0 och +19,2, vilket motsvarar en nivå i underkant torrskorpeleran i läget för grundvattenröret.

I beräkningarna för punkt 18W025 har nivån +19,1 valts, d.v.s. ca 1,8 m under markytan, vilket motsvarar en nivå i underkant av den gytjiga leran.

4.1.5.5 Punkt 18W027

Grundvattenrör 18W027G installerades i april 2018 och mätningar utförda i maj till juli 2018 visar på grundvattennivåer mellan ca +25,1 och +25,3.

I beräkningarna för punkt 18W027 har nivån +25,3 valts, d.v.s. ca 3,0 m under markytan, vilket motsvarar en nivå i underkant torrskorpeleran.

4.1.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för respektive undersökningspunkt i området redovisas nedan.

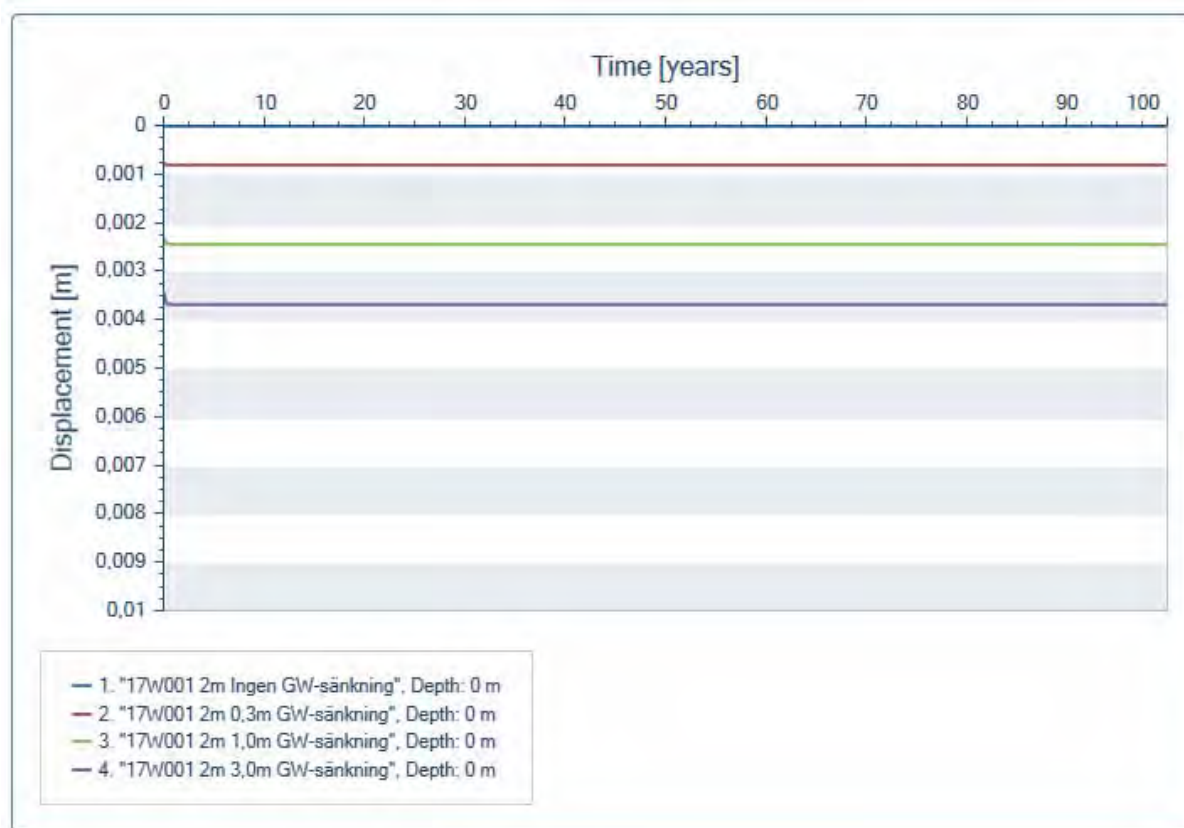
4.1.6.1 Punkt 17W001

Beräkningar har utförts för 2,0 m och 4,0 m lermäktighet samt för 4,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.1.6.1.1 17W001 lermäktighet 2 m

Tabell 2 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W001 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

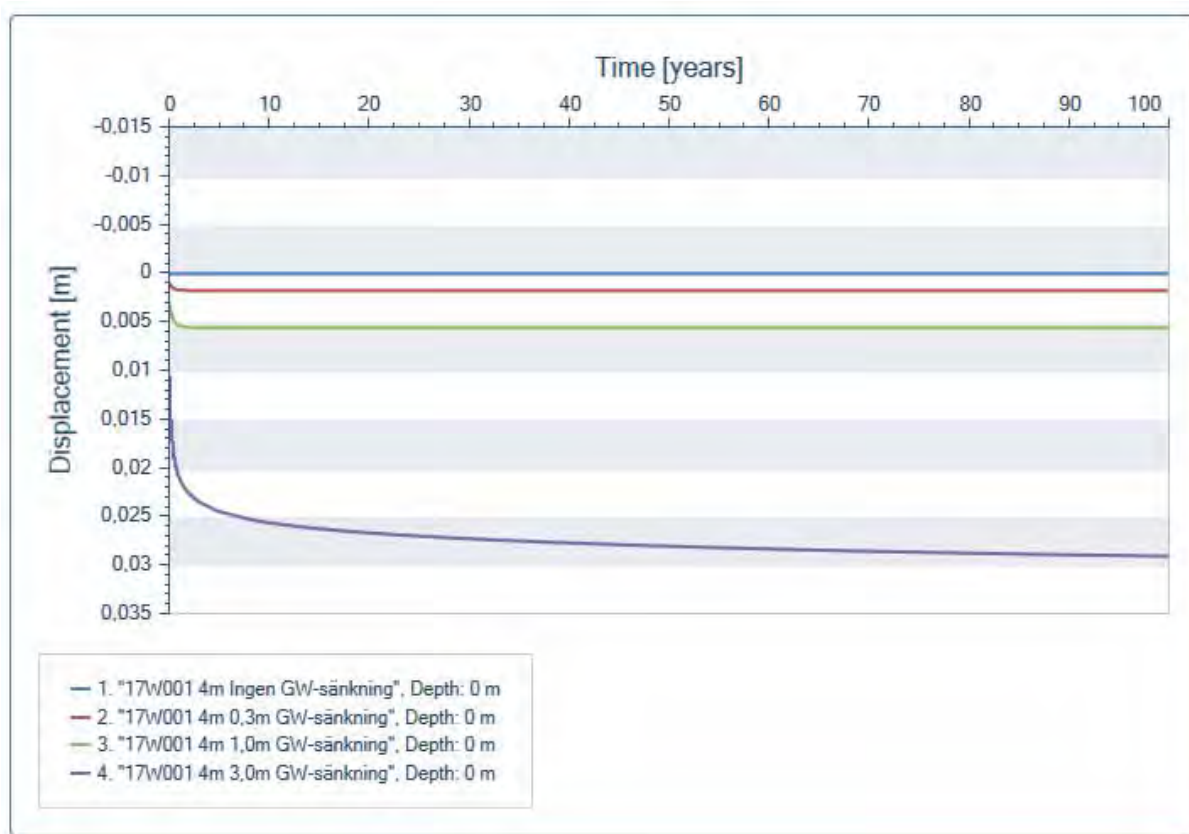


Figur 4. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W001 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.1.6.1.2 17W001 lermäktighet 4 m

Tabell 3 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W001 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03



Figur 5. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W001 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.1.6.1.3 17W001 lermäktighet 4 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 4 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W001 vid en lermäktighet på 4 meter och hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01



Figur 6. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W001 vid en lermäktighet på 4 meter och hänsyn till "skineffekt".

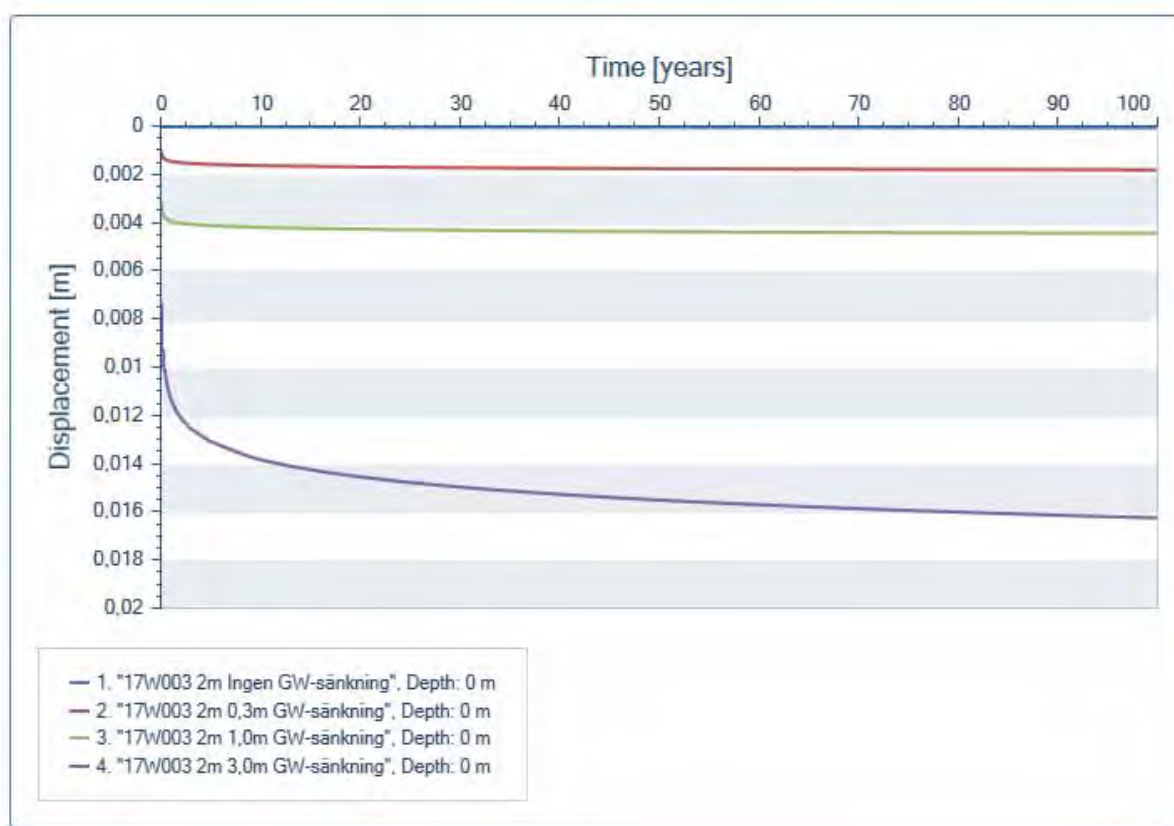
4.1.6.2 Punkt 17W003

Beräkningar har utförts för 2,0 m och 4,0 m lermäktighet samt för 4,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.1.6.2.1 17W003 lermäktighet 2 m

Tabell 5 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W003 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

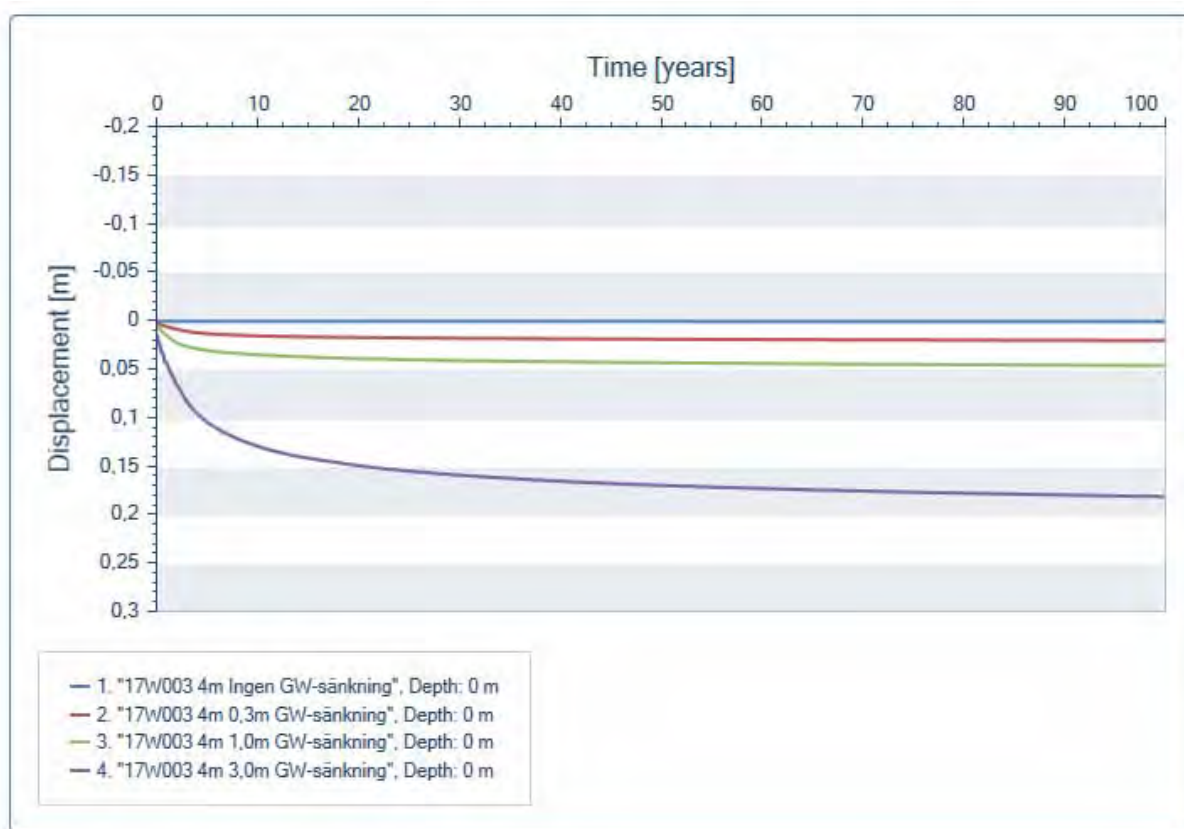


Figur 7. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W003 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.1.6.2.2 17W003 lermäktighet 4 m

Tabell 6 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W003 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
1	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
3	0,04	0,06	0,10	0,13	0,15	0,16	0,18

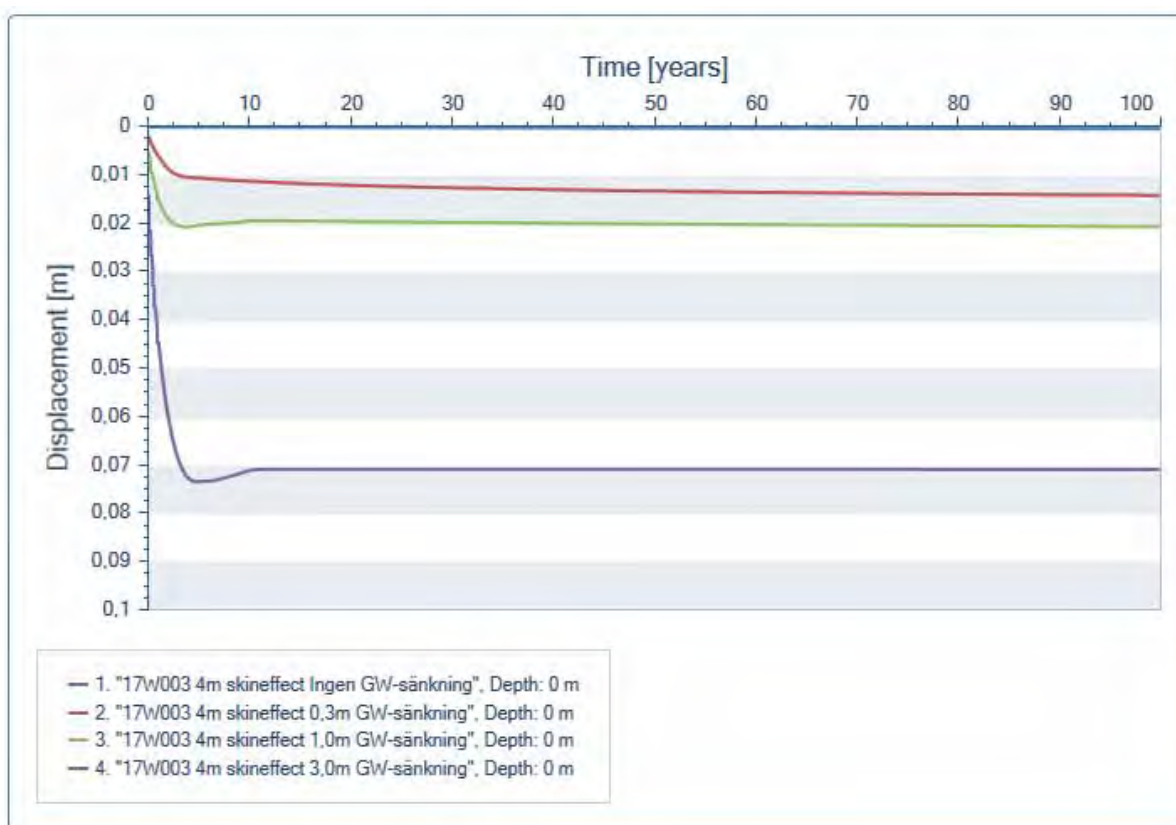


Figur 8. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W003 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.1.6.2.3 17W003 lermäktighet 4 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 7 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W003 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
3	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07



Figur 9. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W003 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

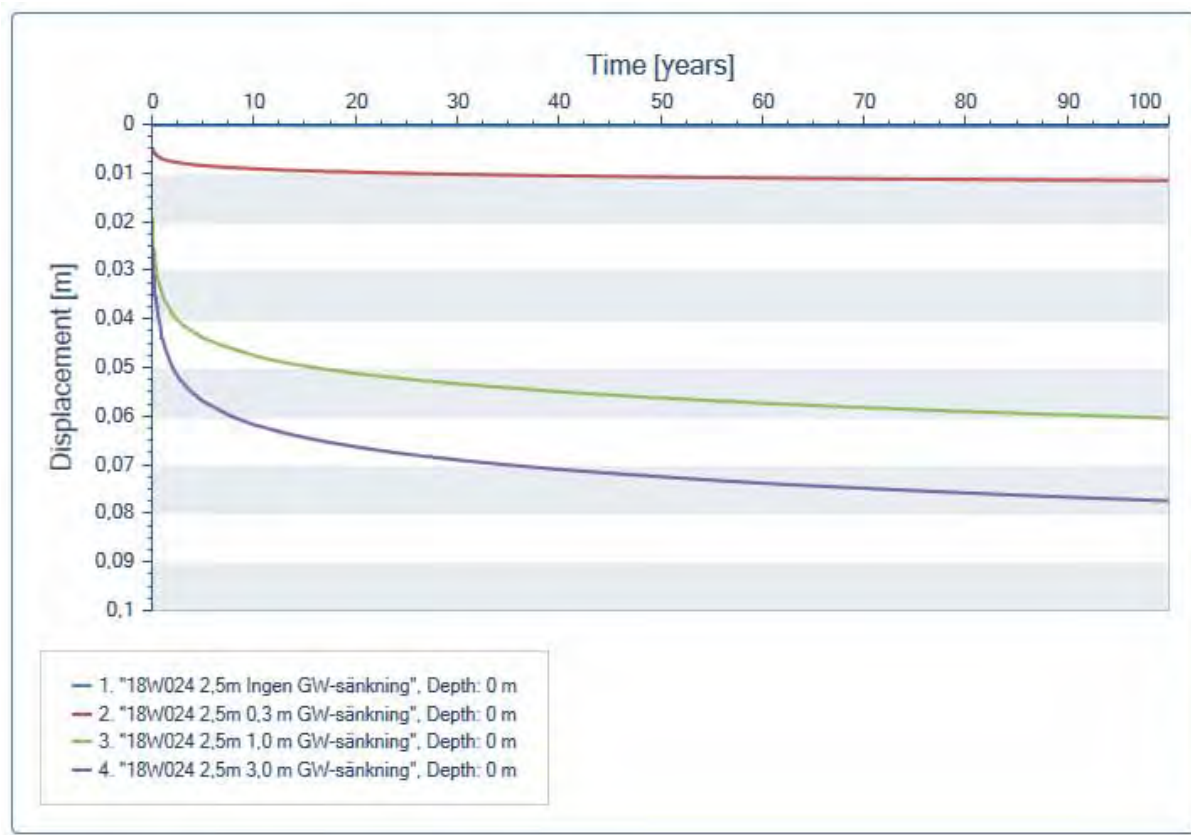
4.1.6.3 Punkt 18W024

Beräkningar har utförts för 2,5 m, 5 m, 7,5 m och 10 m lermäktighet samt för 7,5 m och 10 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.1.6.3.1 18W024 lermäktighet 2,5 m

Tabell 8 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 2,5 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
3	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08

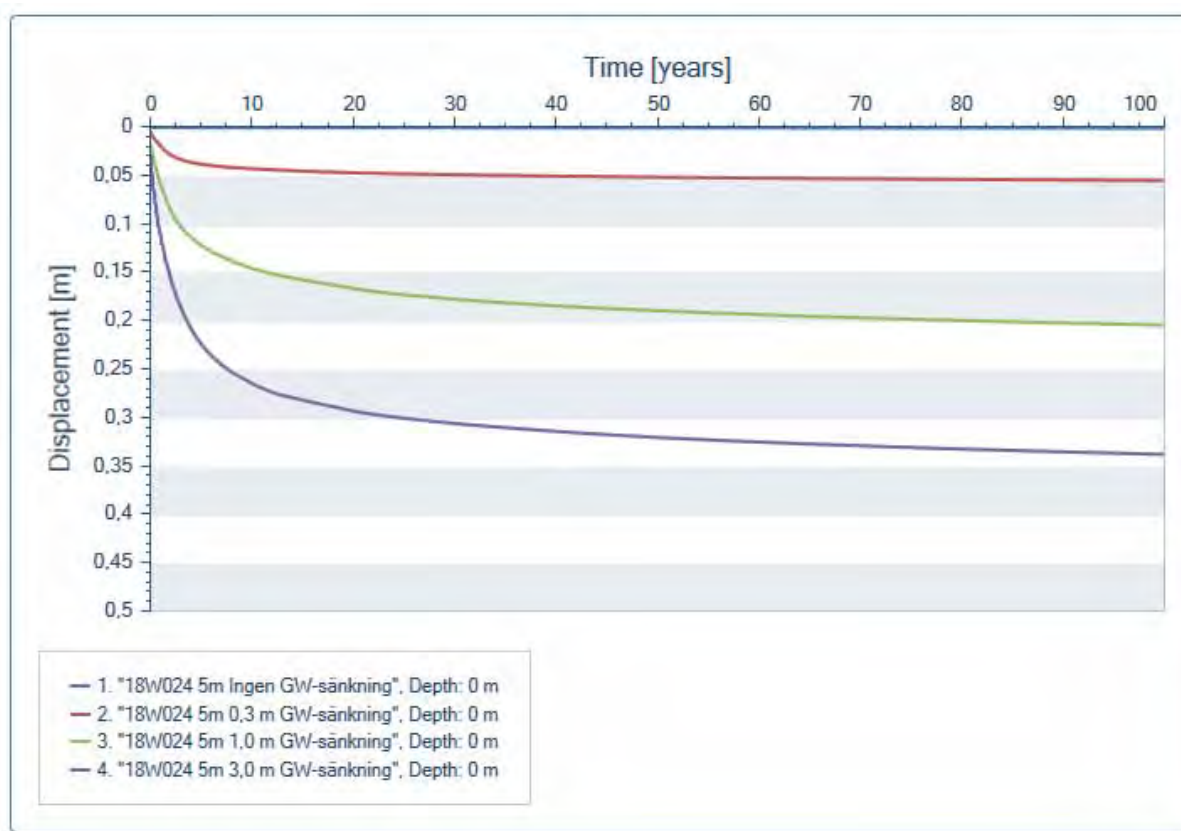


Figur 10. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 2,5 meter.

4.1.6.3.2 18W024 lermäktighet 5 m

Tabell 9 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 5 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06
1	0,06	0,08	0,12	0,15	0,17	0,18	0,20
3	0,11	0,15	0,22	0,26	0,29	0,31	0,34

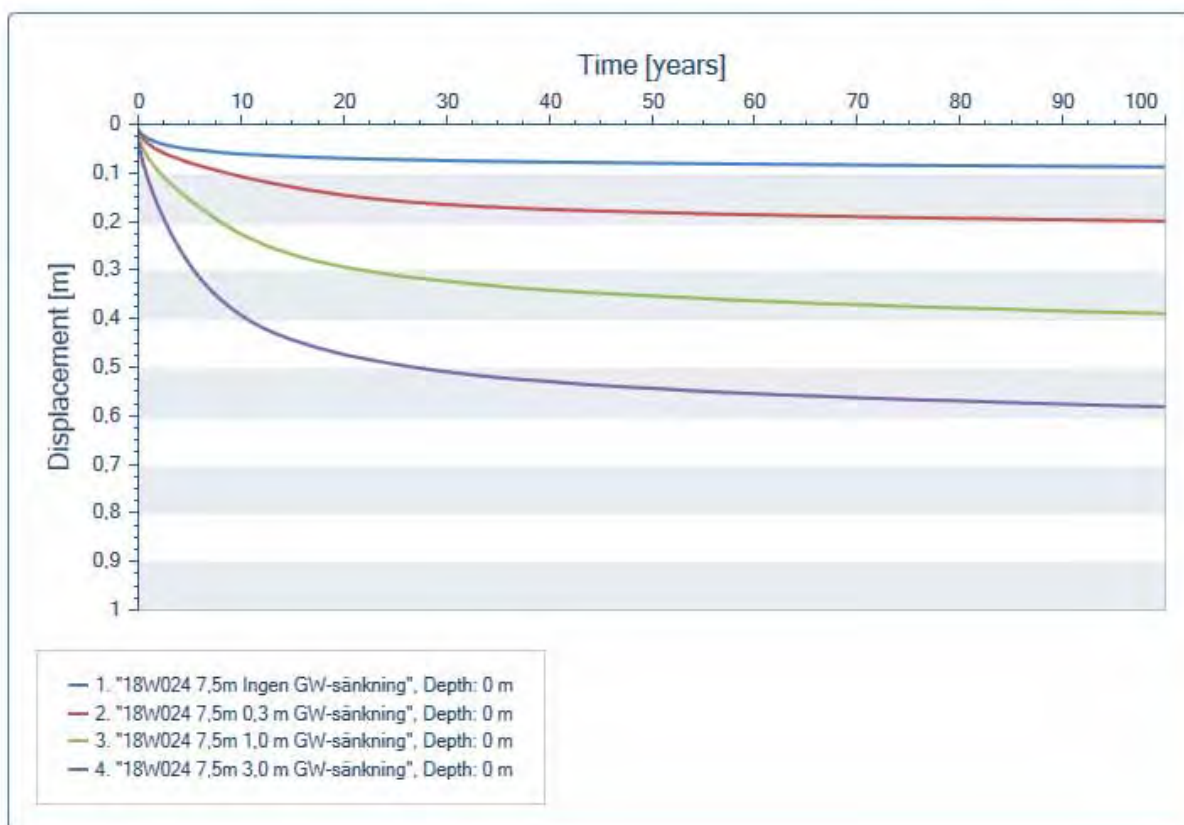


Figur 11. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 5 meter.

4.1.6.3.3 18W024 lermäktighet 7,5 m

Tabell 10 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 7,5 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,3	0,04	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20
1	0,07	0,09	0,15	0,22	0,29	0,34	0,39
3	0,11	0,17	0,28	0,39	0,47	0,53	0,58

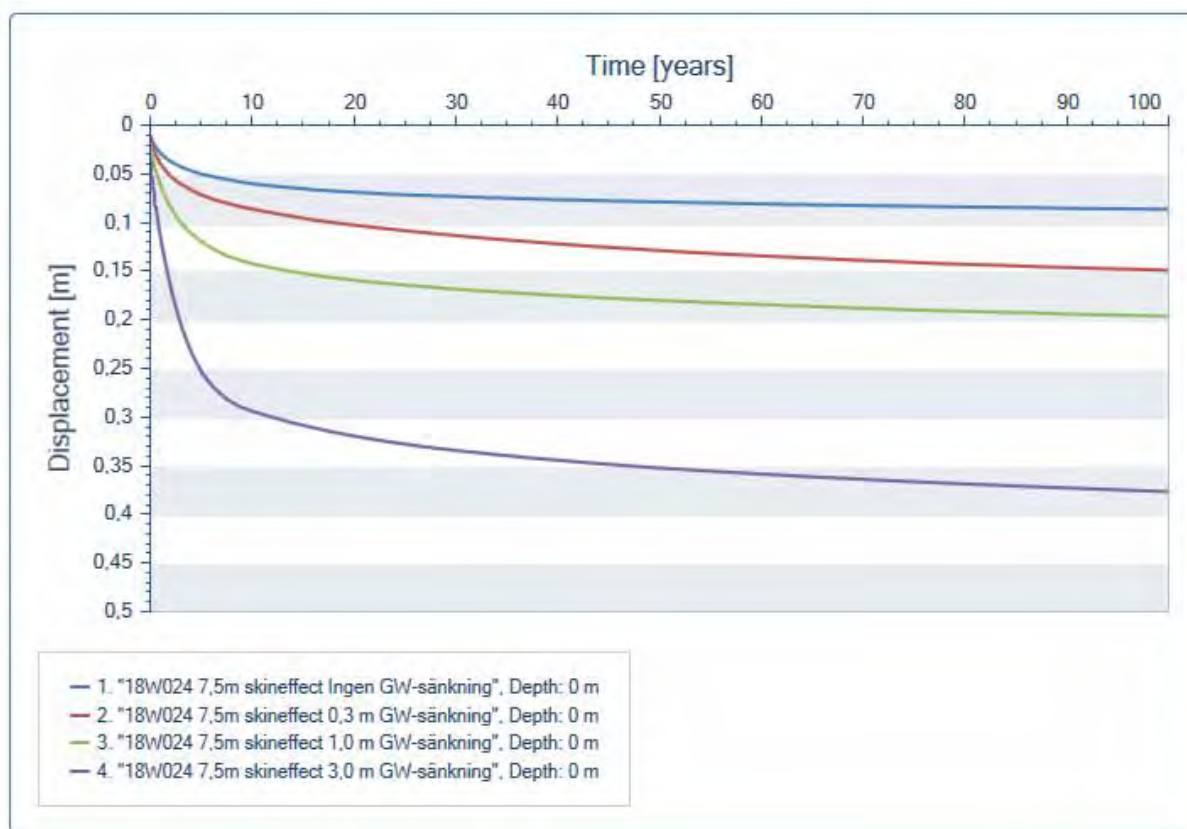


Figur 12. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 7,5 meter.

4.1.6.3.4 18W024 lermäktighet 7,5 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 11 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 7,5 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,3	0,04	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,15
1	0,07	0,08	0,12	0,14	0,16	0,17	0,20
3	0,11	0,16	0,25	0,29	0,33	0,34	0,38

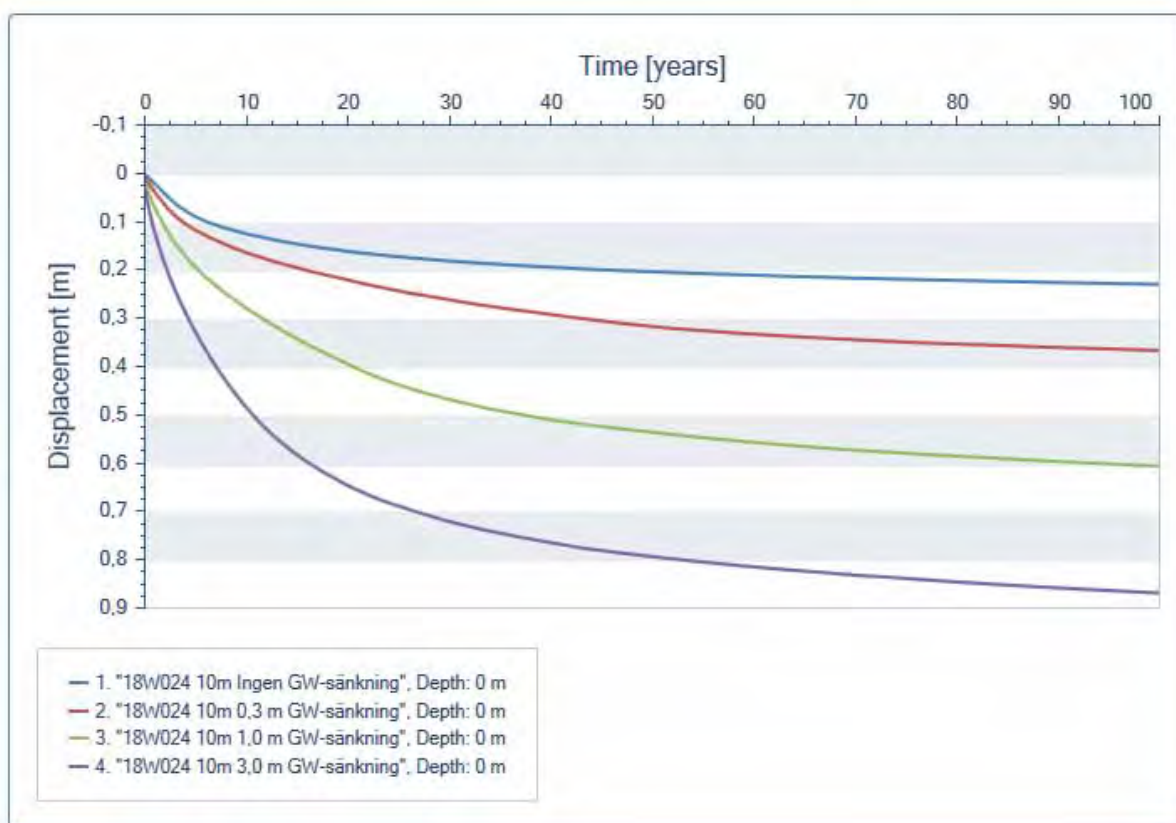


Figur 13. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 7,5 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.1.6.3.5 18W024 lermäktighet 10 m

Tabell 12 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 10 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	0,02	0,04	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23
0,3	0,04	0,06	0,12	0,16	0,22	0,29	0,36
1	0,07	0,11	0,19	0,28	0,39	0,51	0,61
3	0,12	0,18	0,33	0,48	0,65	0,76	0,87

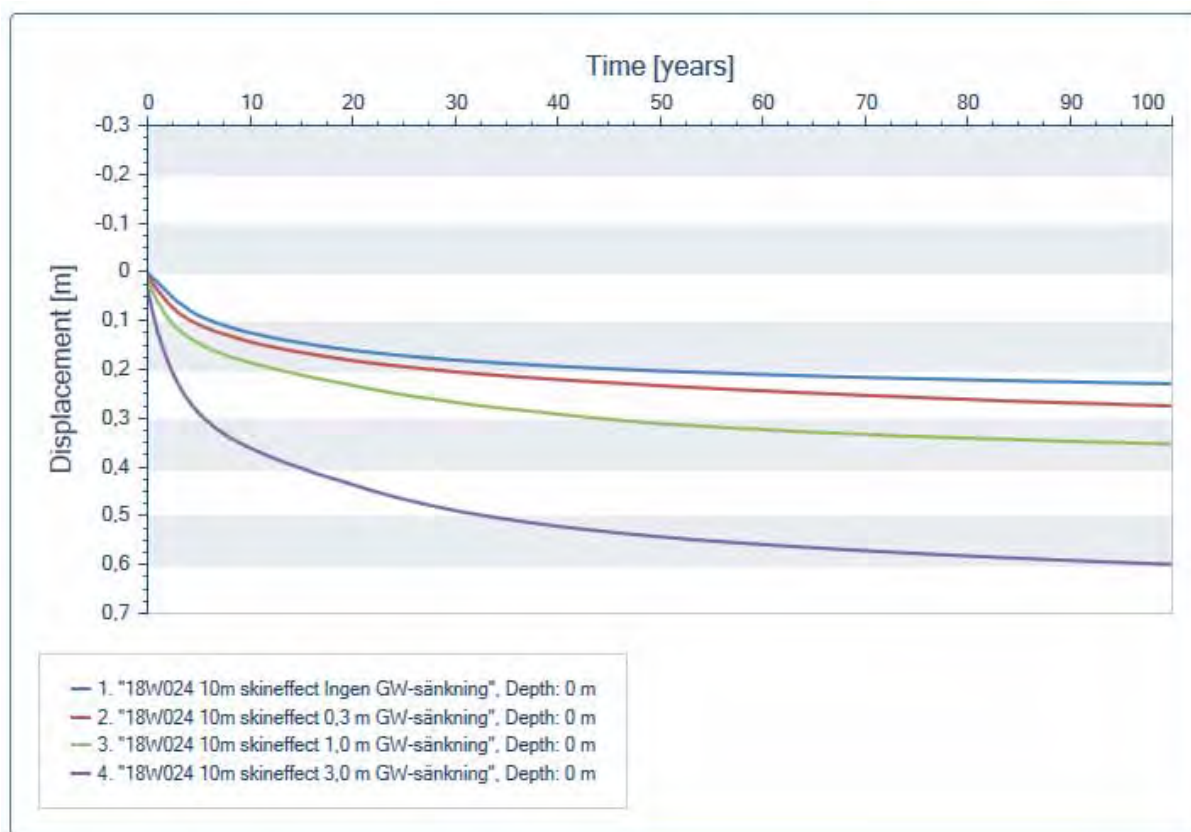


Figur 14. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 10 meter.

4.1.6.3.6 18W024 lermäktighet 10 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 13 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 10 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	0,02	0,04	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23
0,3	0,04	0,06	0,11	0,14	0,18	0,22	0,27
1	0,07	0,09	0,14	0,18	0,23	0,29	0,35
3	0,12	0,18	0,29	0,36	0,44	0,52	0,60



Figur 15. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W024 vid en lermäktighet på 10 meter och med hänsyn till "skineffekt".

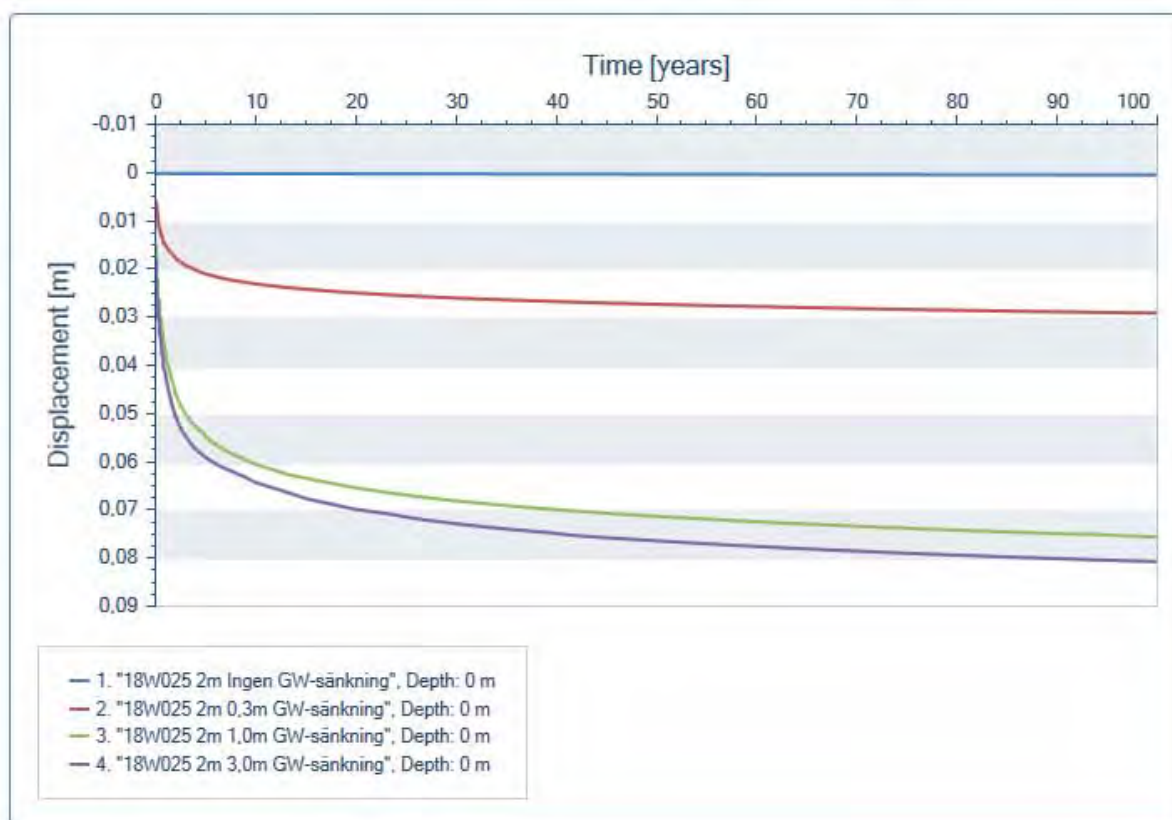
4.1.6.4 Punkt 18W025

Beräkningar har utförts för 2,0 m och 4,0 m lermäktighet samt för 4,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.1.6.4.1 18W025 lermäktighet 2 m

Tabell 14 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W025 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
1	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08
3	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08

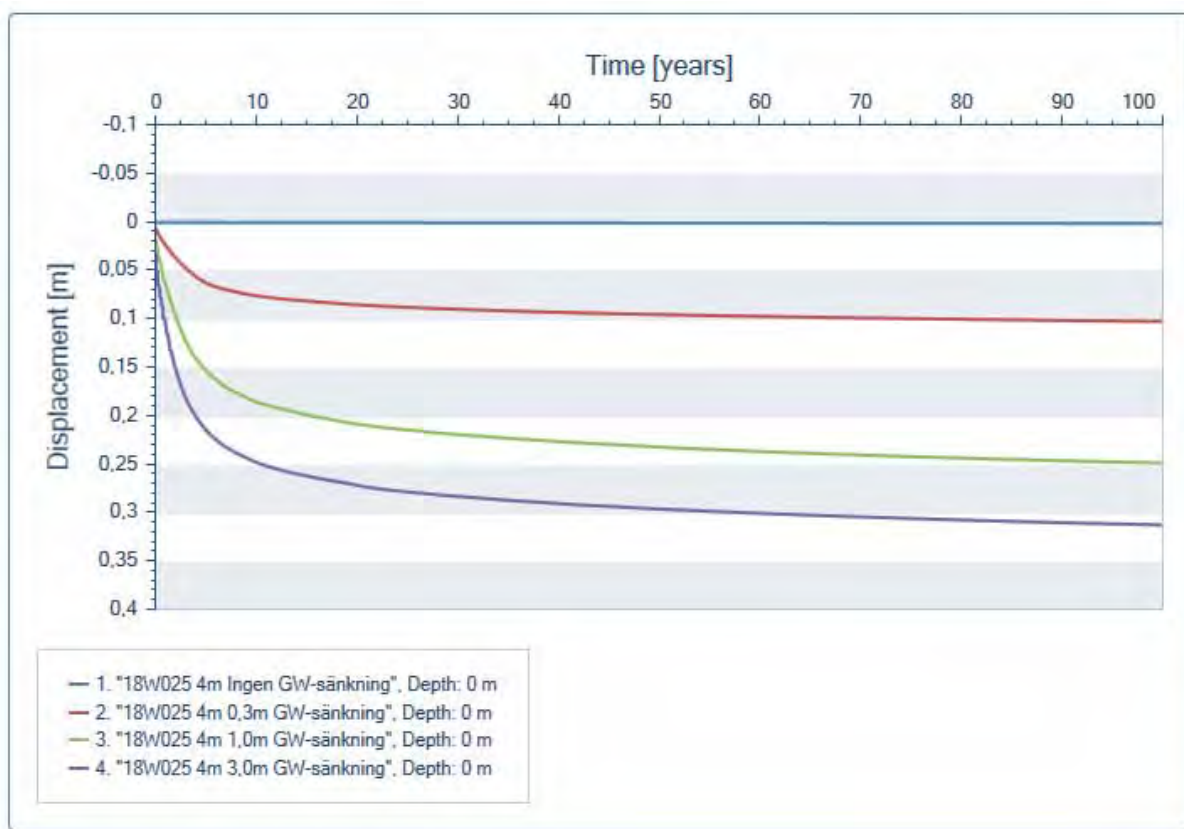


Figur 16. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W025 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.1.6.4.2 18W025 lermäktighet 4 m

Tabell 15 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W025 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,09	0,10
1	0,06	0,09	0,15	0,19	0,21	0,23	0,25
3	0,10	0,15	0,21	0,25	0,27	0,29	0,31

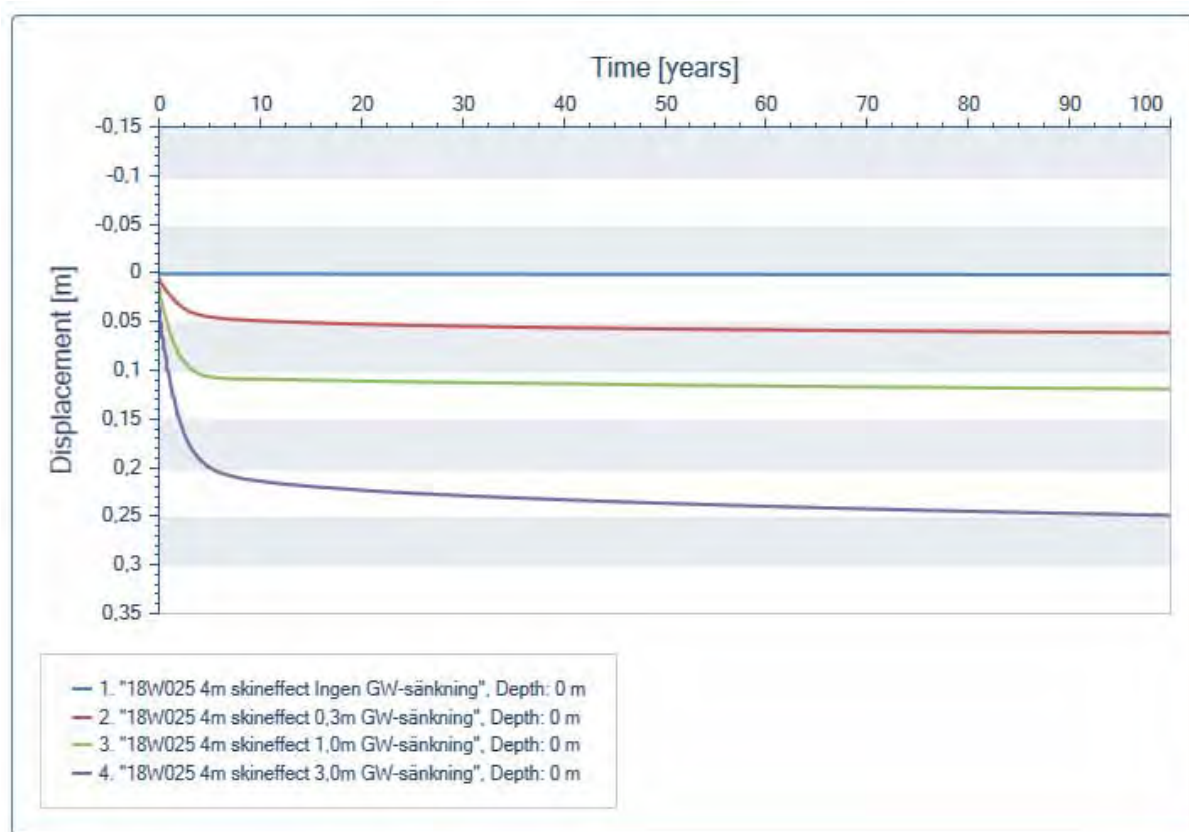


Figur 17. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W025 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.1.6.4.3 18W025 lermäktighet 4 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 16 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W025 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
1	0,06	0,08	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
3	0,10	0,15	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25



Figur 18. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W025 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.1.6.5 Punkt 18W027

Beräkningar har utförts för 2,0 m och 4,0 m lermäktighet samt för 4,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.1.6.5.1 18W027 lermäktighet 2 m

Tabell 17 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W027 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

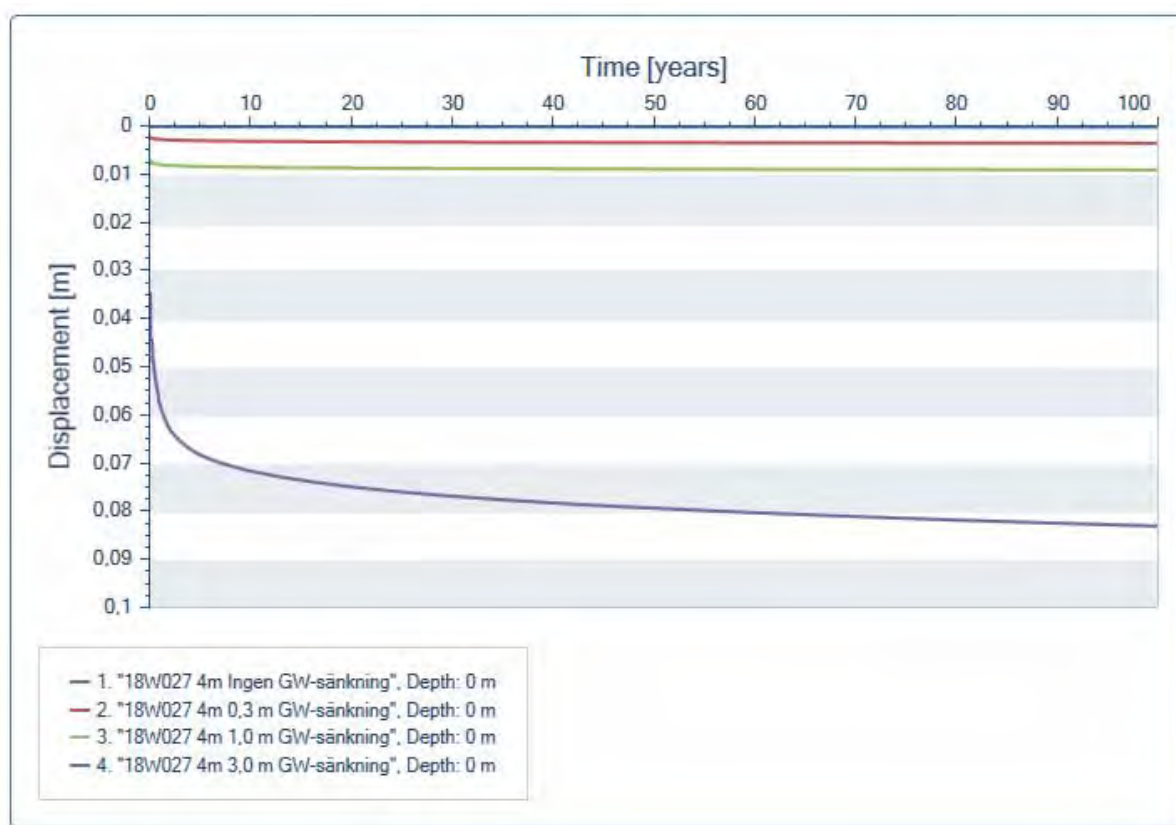


Figur 19. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W027 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.1.6.5.2 18W027 lermäktighet 4 m

Tabell 18 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W027 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08

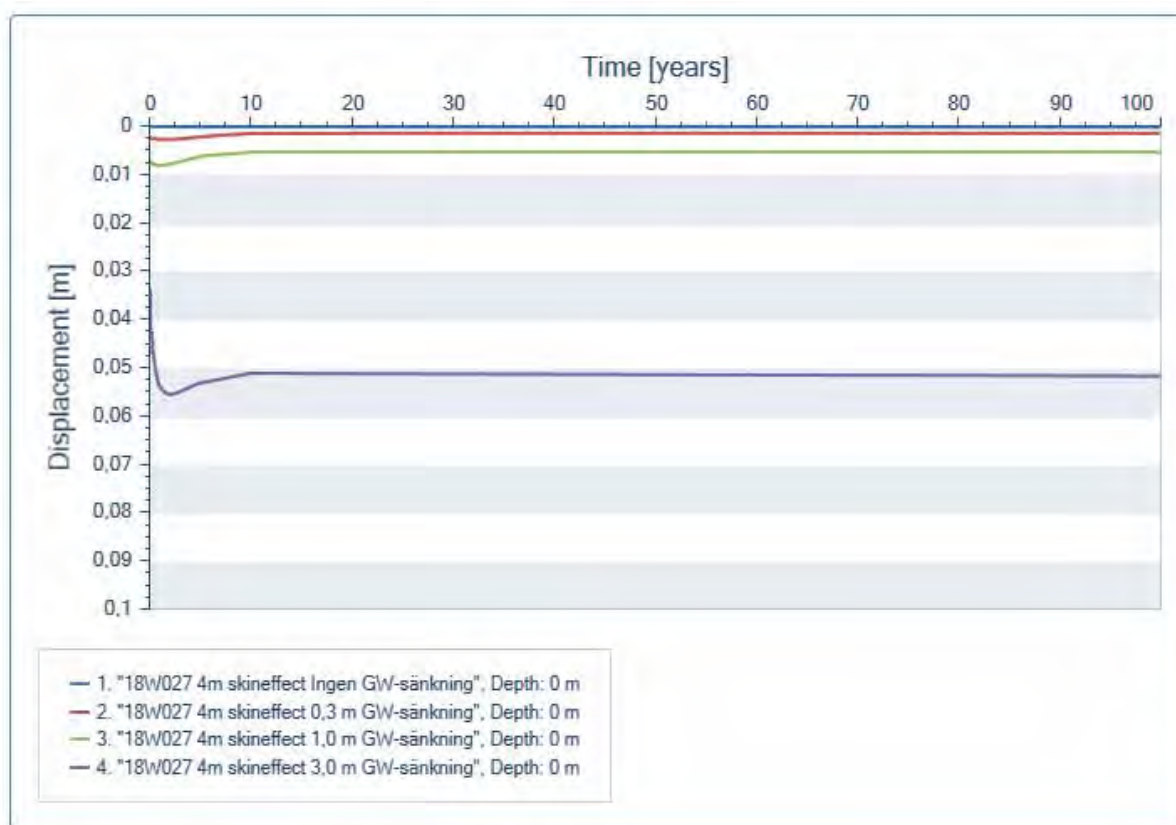


Figur 20. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W027 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.1.6.5.3 18W027 lermäktighet 4 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 19 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W027 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05



Figur 21. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W027 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.1.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 17W001 bedöms vara svagt överkonsoliderad till överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid 3,0 m grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till mindre än 1 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 3 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 25-60% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

Leran i området vid undersökningspunkt 17W003 bedöms vara normalkonsoliderad till överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till ca 2 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 18 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 50-60% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

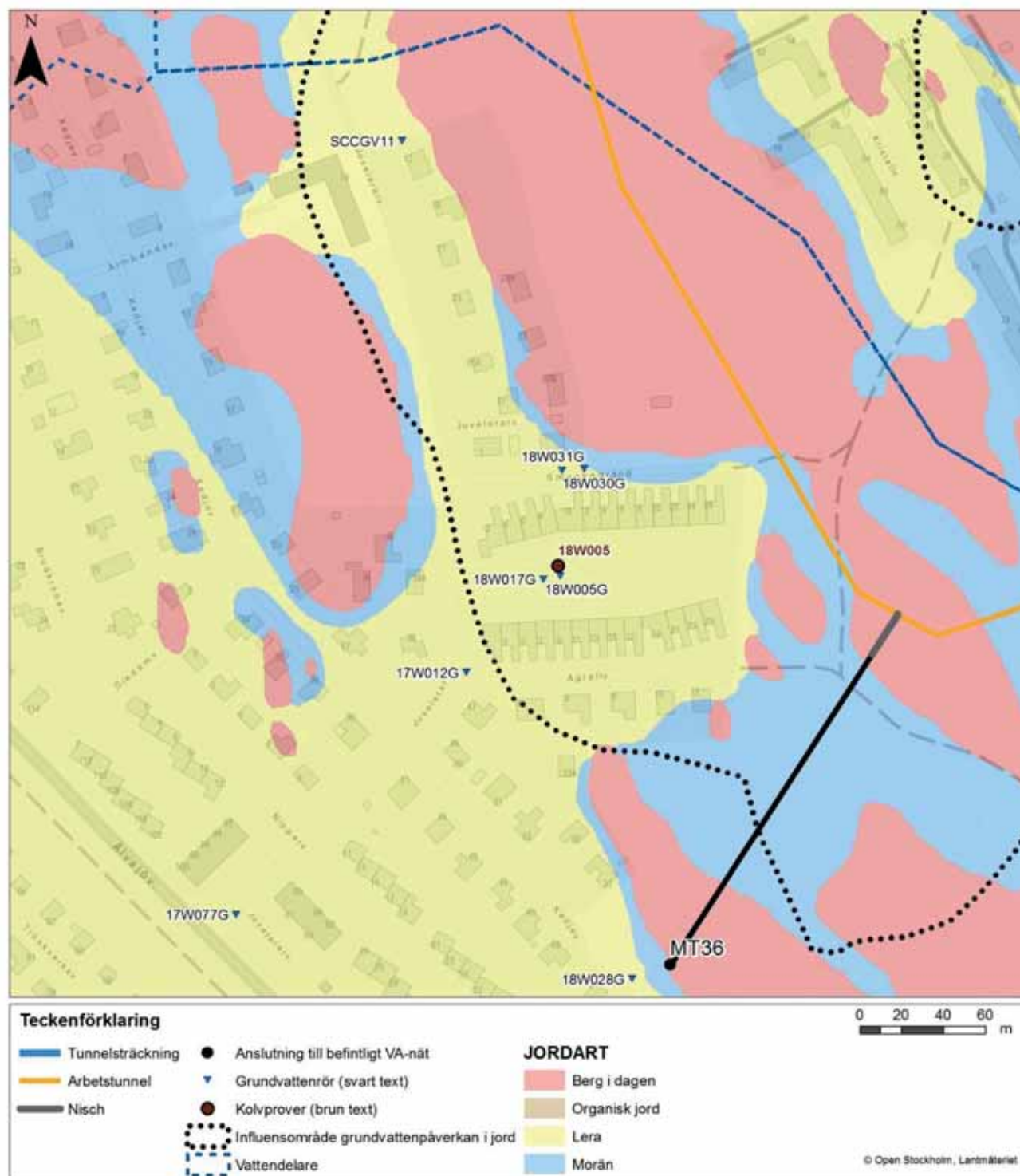
Leran i området vid undersökningspunkt 18W024 bedöms vara normalkonsoliderad ned till ca 6,5 m djup för jordens rådande spänningssituation. Under ca 6,5 m djup bedöms jorden ej ännu vara konsoliderad vilket medför att marksättningar pågår inom området. Krypsättningar bedöms pågå samt uppstår vid ytterligare grundvattensänkning. Beräknade pågående sättningar efter 100 år uppgår till ca 23 cm utan att grundvattennivån har påverkats. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till ca 36 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 87 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 25-30% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

Leran i området vid undersökningspunkt 18W025 bedöms vara normalkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till ca 10 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 31 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 20-30% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

Leran i området vid undersökningspunkt 18W027 bedöms vara svagt överkonsoliderad till överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid 3,0 m grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till mindre än 1 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 8 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är ca 25-35% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

4.2 Solberga Västra

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 22 Solberga Västra område.

4.2.1 Generellt

Lerområdet ingår i ett stråk med lera i nord – sydlig riktning längs med Juvelerarvägen och sitter i söder ihop med det större lerstråket längs med Älvsjövägen. Lerområdet ligger cirka 340 m västerut från planerad tunnel och direkt intill planerad arbetstunnel. Inom området finns huvudsakligen villor, kedje- och radhus med tillhörande tomter och gator.

4.2.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca +28 och +38. Området utgörs av en dalgång med berg på västra och östra sidorna. Marken sluttar nedåt från nordost till sydväst.

4.2.3 Jordlagerförhållanden

Området utgörs av en lerdalgång med större mäktighet lera vid kvarter Guldsmeden. Jorden består av lera överlagrad av fyllningsjord och torrskorpelera. Vid Kv Guldsmeden är fyllningsjordens mäktighet mindre än längs vägarna i området. Leran underlagras av friktionsjord på berg.

I undersökningspunkt 18W005 består jorden av cirka 0,5 m fyllning på 2,5 m torrskorpelera ovan 5 m lera som vilar på friktionsjord ovan berg.

4.2.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 18W005.

Installation av grundvattenrör har i samband med denna utredning utförts i tre punkter, 17W012G, 18W005G och 18W017G.

4.2.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, 17W012G, 18W005G och 18W017G. Grundvattenrören sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten.

Grundvattenrör 17W012G ligger på en ca 2 m lägre nivå ca 70 m söder om provtagningspunkten. Grundvattenmätningar utförda vid 17W012G visar på en medelnivå på ca +25,9 mellan april 2017 – maj 2018.

Grundvattenrör 18W005G och 18W017G installerades i april 2018 och mätningar utförda maj 2018 – juli 2018 visar på varierande nivåer mellan ca +26 och +29. Grundvattennivån vid dessa rör bedöms inte vara helt representativa för beräkningarna i dagsläget, utan fler mätningar behövs.

I beräkningarna för punkt 18W005 har nivån +28,1 valts, d.v.s. ca 2,5 m under markytan, vilket är en nivå i underkant av torrskorpeleran.

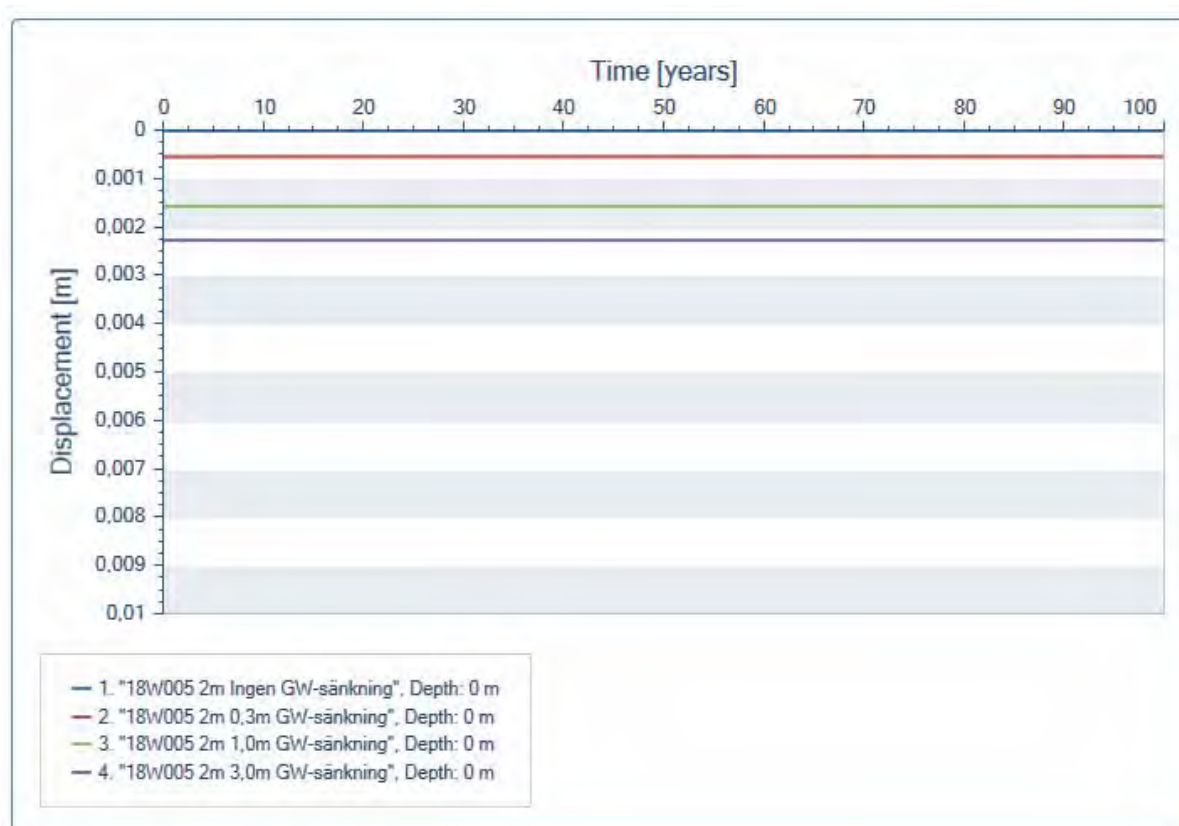
4.2.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan. Beräkningar har utförts för 2,0 m, 4,0 m och 6,0 m lermäktighet samt för 6,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.2.6.1 18W005 lermäktighet 2 m

Tabell 20 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

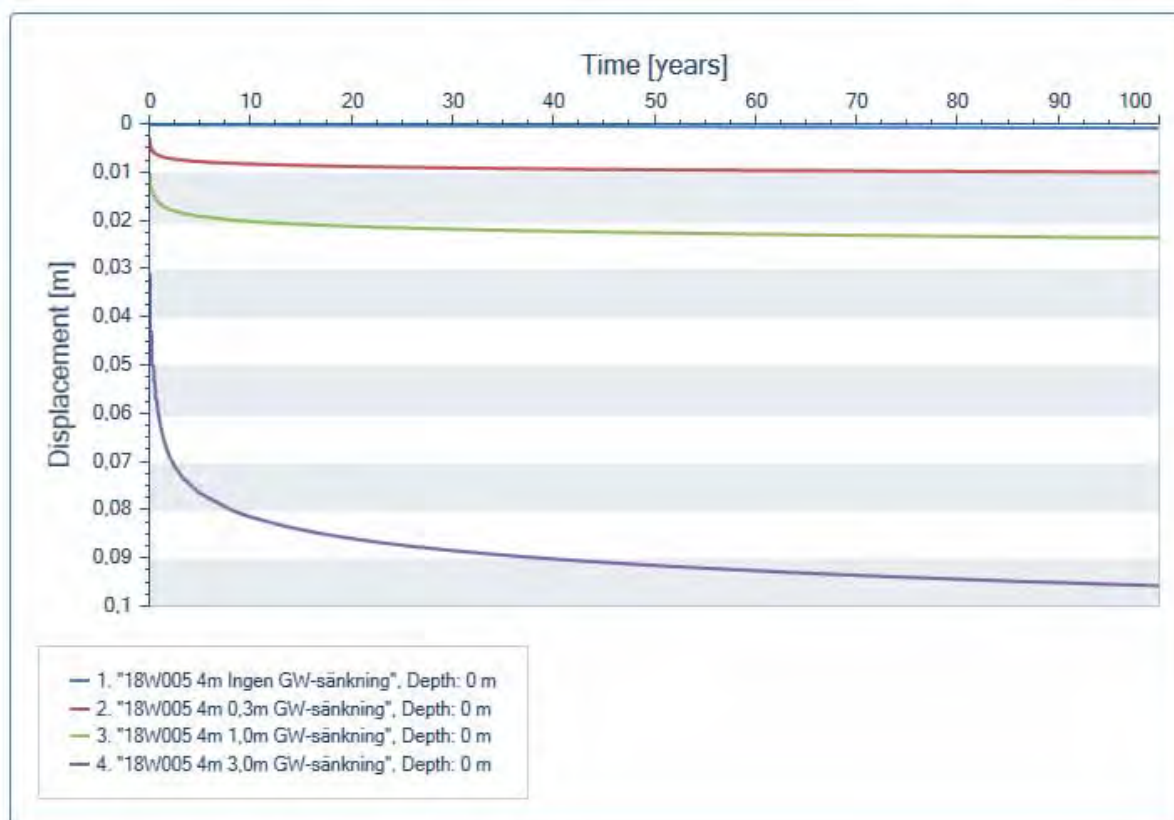


Figur 23. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.2.6.2 18W005 lermäktighet 4 m

Tabell 21 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
3	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10

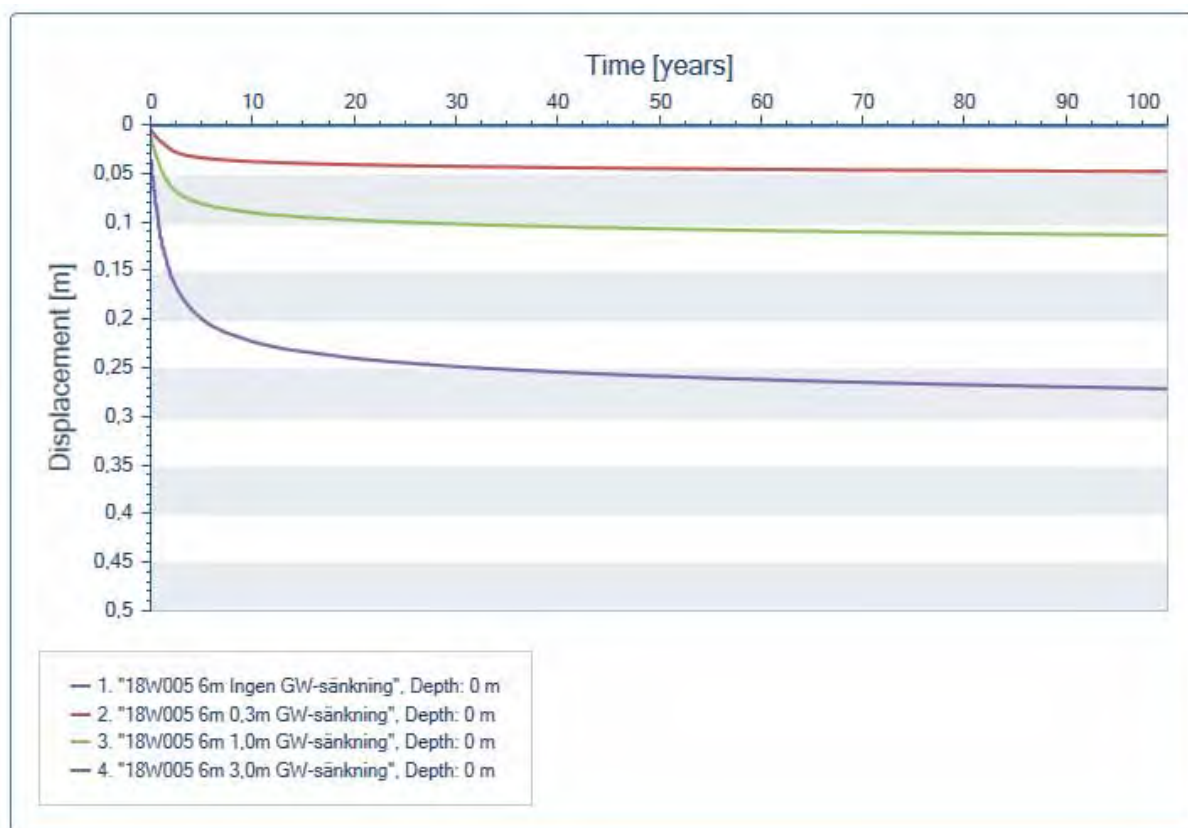


Figur 24. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.2.6.3 18W005 lermäktighet 6 m

Tabell 22 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 6 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05
1	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11
3	0,11	0,15	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27

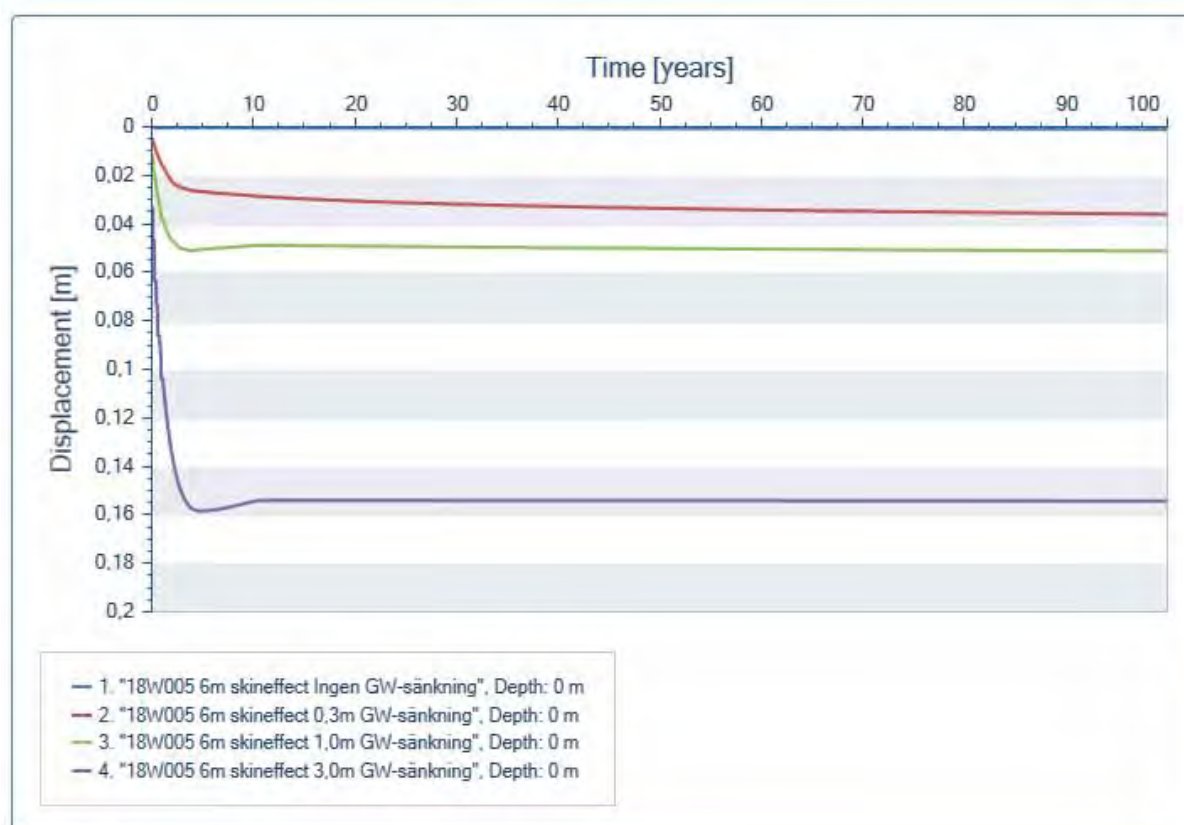


Figur 25. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 6 meter.

4.2.6.4 18W005 lermäktighet 6 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 23 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 6 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
1	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
3	0,11	0,13	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15



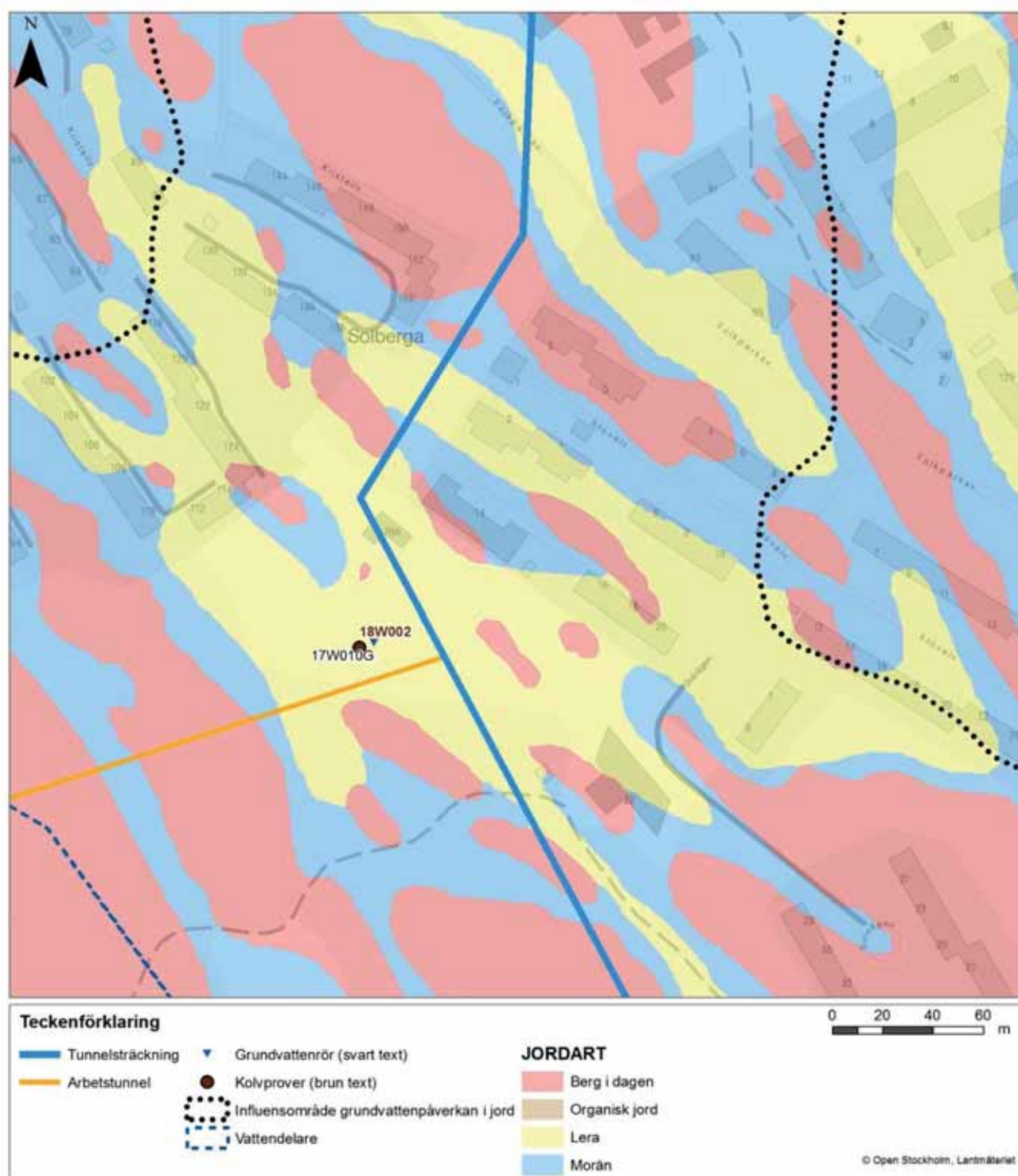
Figur 26. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W005 vid en lermäktighet på 6 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.2.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 18W005 bedöms vara svagt överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna pågå. Beräknade pågående sättningar efter 100 år uppgår dock till mindre än 1 cm utan att grundvattennivån har påverkats. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till ca 5 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 27 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 20-40% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

4.3 Solberga Östra

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 27 Solberga Östra område.

4.3.1 Generellt

Lerområdet utgörs av ett avgränsat område med lera i nordväst – sydostlig riktning mitt i Solberga vid lekparken Kristallen. Planerad tunnel ligger direkt under lerområdet. Inom området finns huvudsakligen flerbostadshus, parkleken Kristallen, grönytor och skog.

4.3.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca +40 och +42. Marken i större delar av området är relativt plan med mindre höjdparter som bryter igenom.

4.3.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Lerområdet delas upp i mindre områden av partier med uppstickande berg i dagen. Jorden består huvudsakligen av lera överlagrad med mindre mäktighet fyllningsjord. Övre delen av leran utgörs av torrskorpelera. Leran underlagras av friktionsjord på berg.

I undersökningspunkt 18W002 består jorden av cirka 0,9 m fyllning på 2,1 m torrskorpelera ovan 1,7 m lera som vilar på friktionsjord ovan berg.

4.3.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 18W002.

Installation av grundvattenrör har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 17W010G.

4.3.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i installerat grundvattenrör, 17W010G. Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till provtagningspunkten.

Grundvattennivån är uppmätt i grundvattenrör 17W010G och stod vid avläsningstillfällena (juni 2017-april 2018) på nivåer mellan +39,2 och +40,2. I beräkningarna för punkt 18W002 har nivån +39,8 valts, d.v.s. ca 1,1 m under markytan.

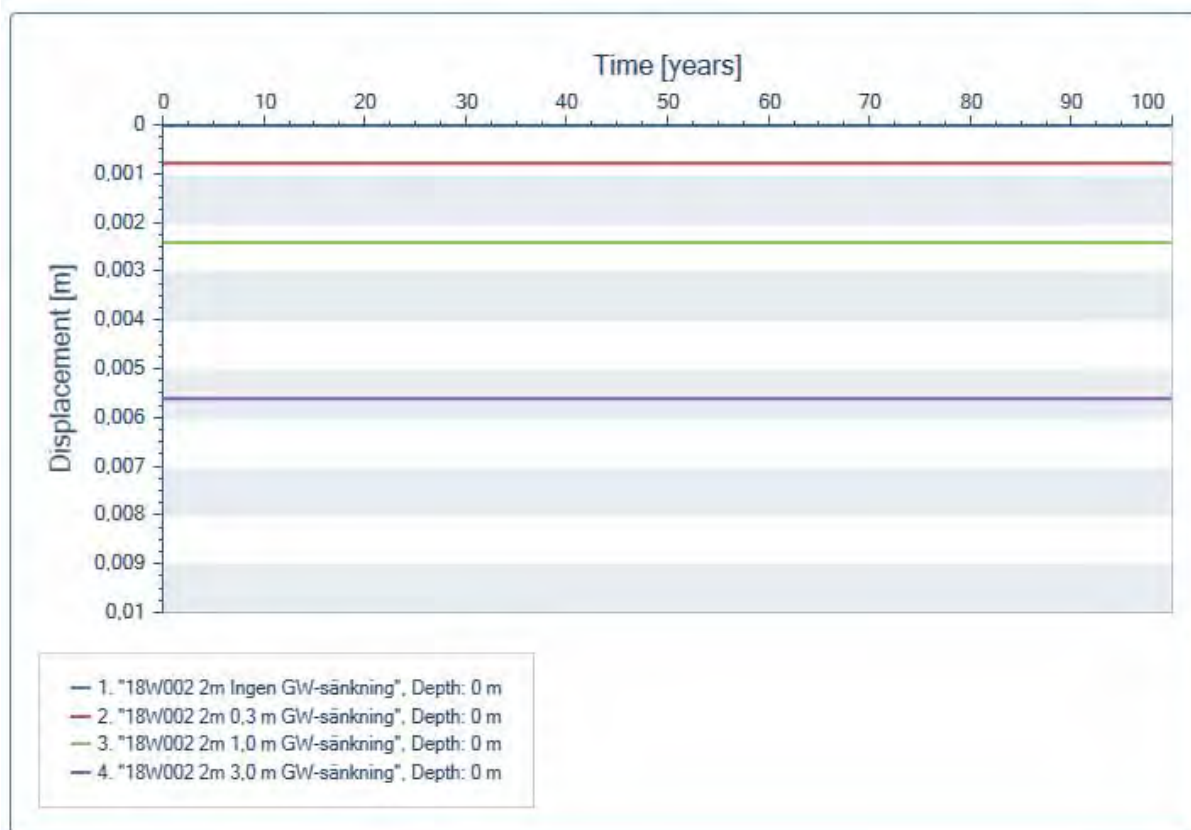
4.3.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan. Beräkningar har utförts för 2,0 m lermäktighet samt för 2,0 m lera med hänsyn till s.k. ”skineffekt”.

4.3.6.1 18W002 lermäktighet 2 m

Tabell 24 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W002 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

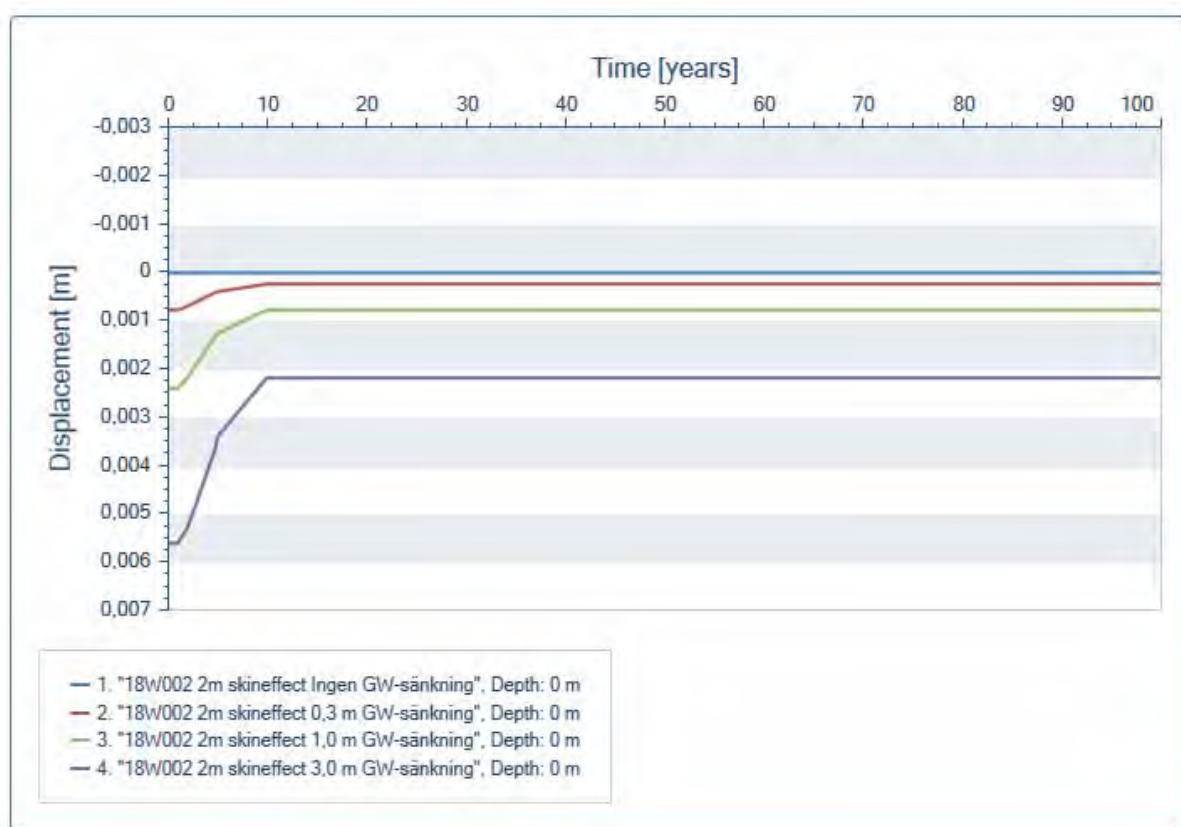


Figur 28. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W002 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.3.6.2 18W002 lermäktighet 2 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 25 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W002 vid en lermäktighet på 2 meter och med hänsyn till skineffekt.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01



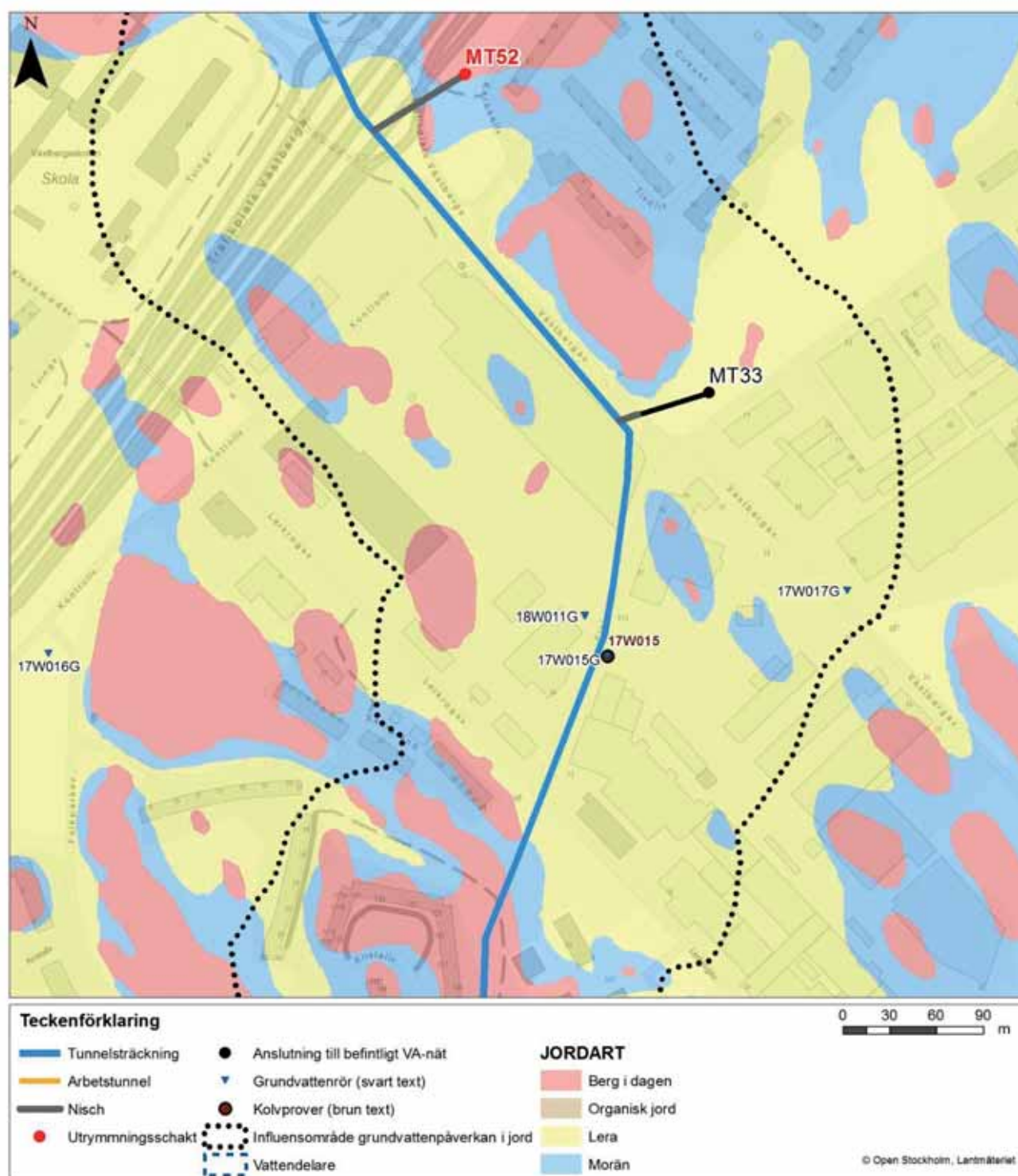
Figur 29. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W002 vid en lermäktighet på 2 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.3.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 18W002 bedöms vara starkt överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Inga krypsättningar förväntas uppstå vid grundvattensänkning vid denna punkt. Beräknad sättning uppgår till mindre än 1 cm på 100 år vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är ca 50% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

4.4 Västberga

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren Figur 30 nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 30 Västberga område.

4.4.1 Generellt

Lerområdet sträcker sig under större delar av Västberga. Partier med friktionsjord och berg finns i norr, väster och öster. Den planerade tunneln korsar lerområdet i nord – sydlig riktning. Influensoområdet sträcker sig ca 200 m väster respektive 180 m öster om planerad tunnel. Området består huvudsakligen av industrifastigheter och hårdgjorda ytor, i norr och söder finns flerbostadshus och grönparter.

4.4.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca +30 och +32. Marken i större delar av området är relativt plan, i norr och söder finns höjdparter.

4.4.3 Jordlagerförhållanden

Lerområdet sträcker sig i nordvästlig – sydöstlig riktning. Jorden består huvudsakligen av lera överlagrad av fyllningsjord. Övre delen av lera utgörs av torrskorpelera. Lera underlagras av friktionsjord på berg.

I undersökningspunkt 17W015 består jorden av cirka 1,5 m fyllning och 2,5 m torrskorpelera ovan 4,5 m lera som vilar på friktionsjord ovan berg.

4.4.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 17W015.

Installation av grundvattenrör har i samband med denna utredning utförts i två punkter, 17W015G och 18W011G.

4.4.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i installerade grundvattenrör, 17W015G och 18W011G. Grundvattenrören sitter i direkt anslutning till provtagningspunkten.

Grundvattenrör 18W011G installerades i april 2018 och mätningar utförda i maj och juli 2018 visar på grundvattennivåer mellan ca +26,4 och +26,7. Grundvattennivån vid detta rör bedöms inte vara representativt för beräkningarna i dagsläget, utan fler mätningar behövs.

Grundvattennivån i grundvattenrör 17W015G stod vid avläsningstillfällena (april 2017-maj 2018) på nivåer mellan +27,0 och +27,3, vilket motsvarar en nivå i underkant torrskorpelera. I beräkningarna för punkt 17W015 har nivån +27,2 valts, d.v.s. ca 3,2 m under markytan.

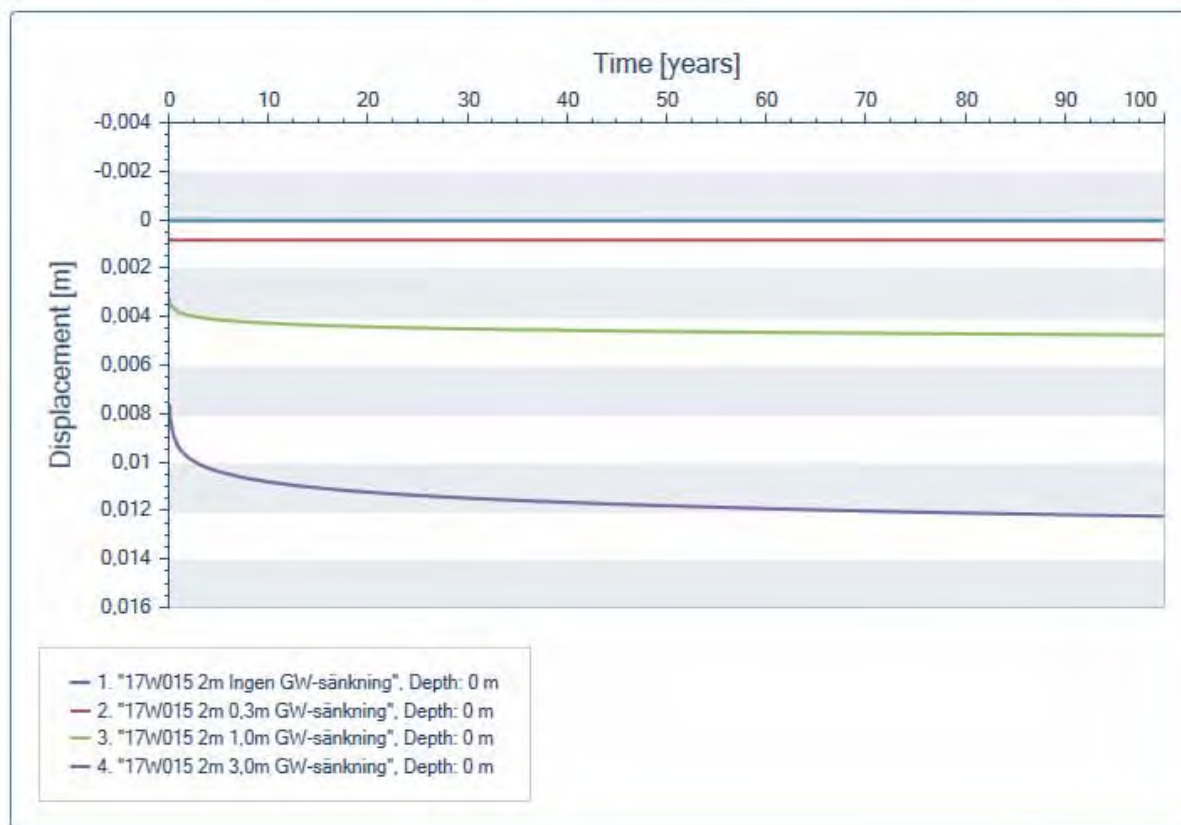
4.4.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan. Beräkningar har utförts för 2,0 m, 4,0 m och 5,0 m lermäktighet samt för 5,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.4.6.1 17W015 lermäktighet 2 m

Tabell 26 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

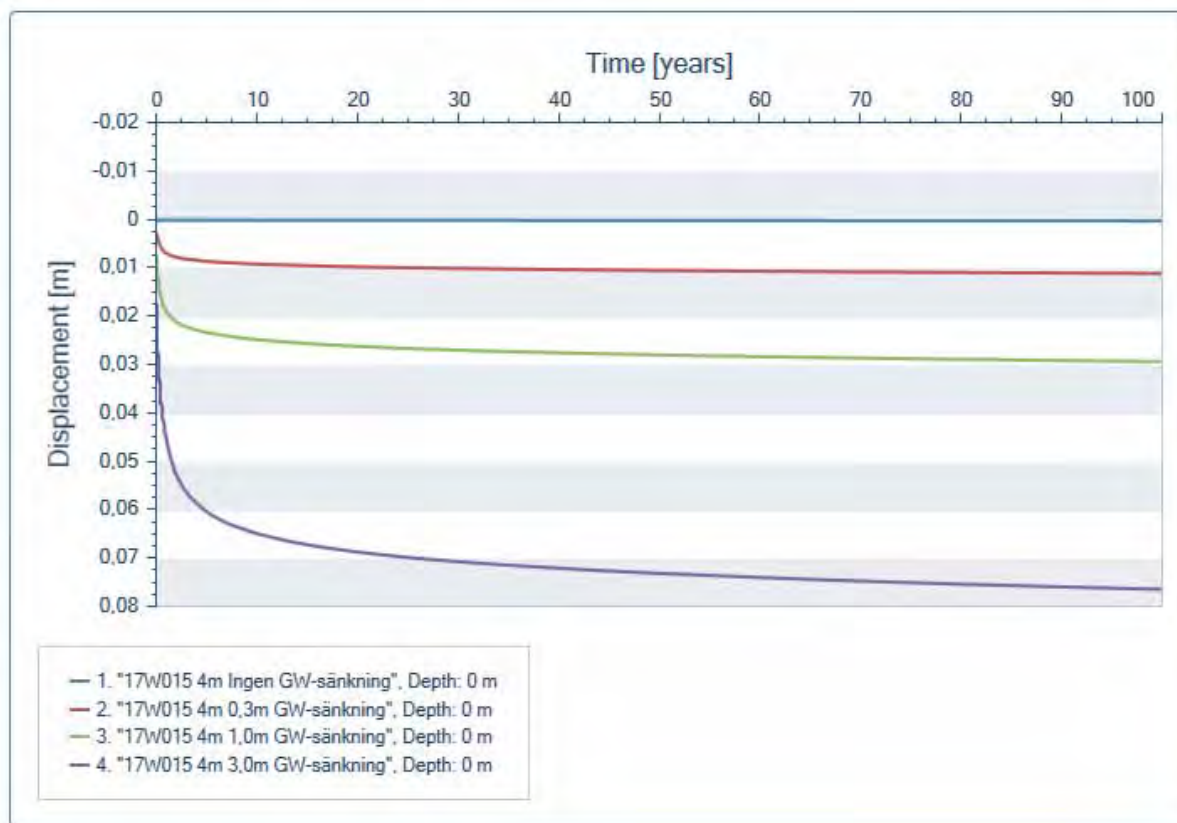


Figur 31. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.4.6.2 17W015 lermäktighet 4 m

Tabell 27 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08

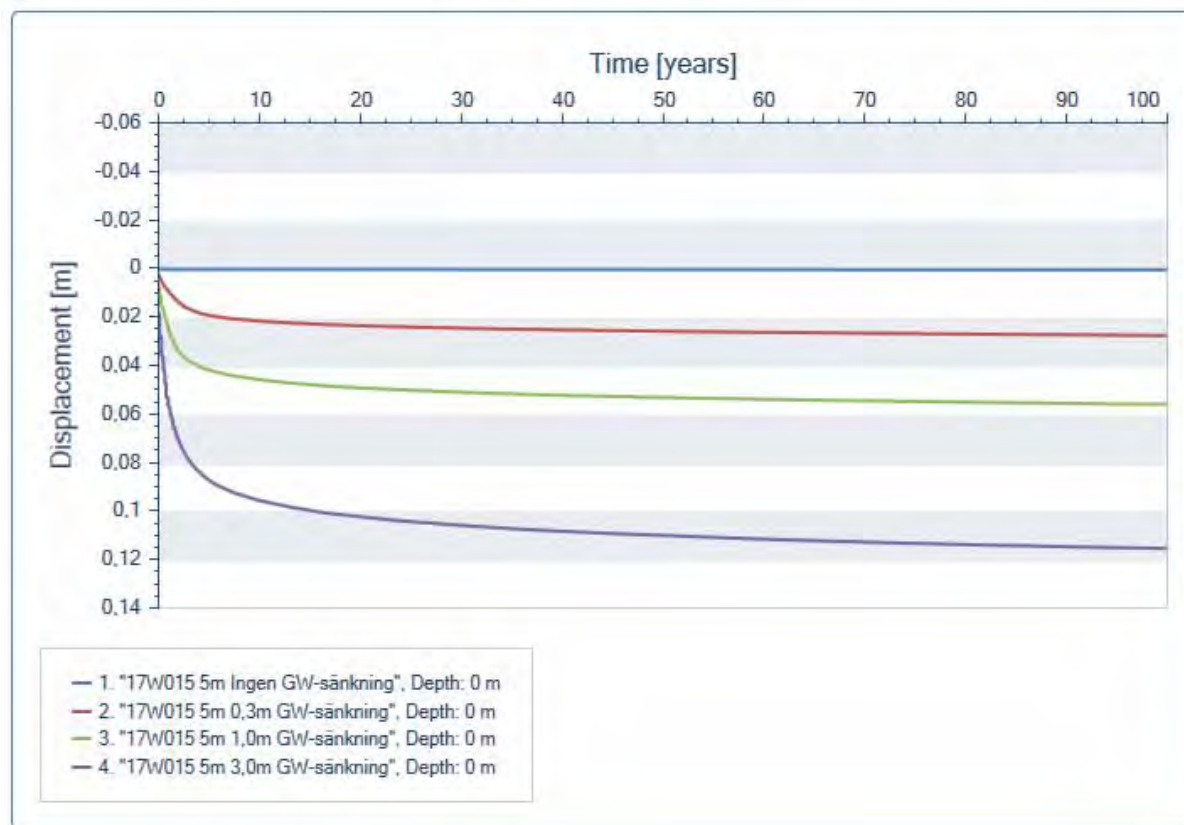


Figur 32. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.4.6.3 17W015 lermäktighet 5 m

Tabell 28 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 5 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
1	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
3	0,06	0,07	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12

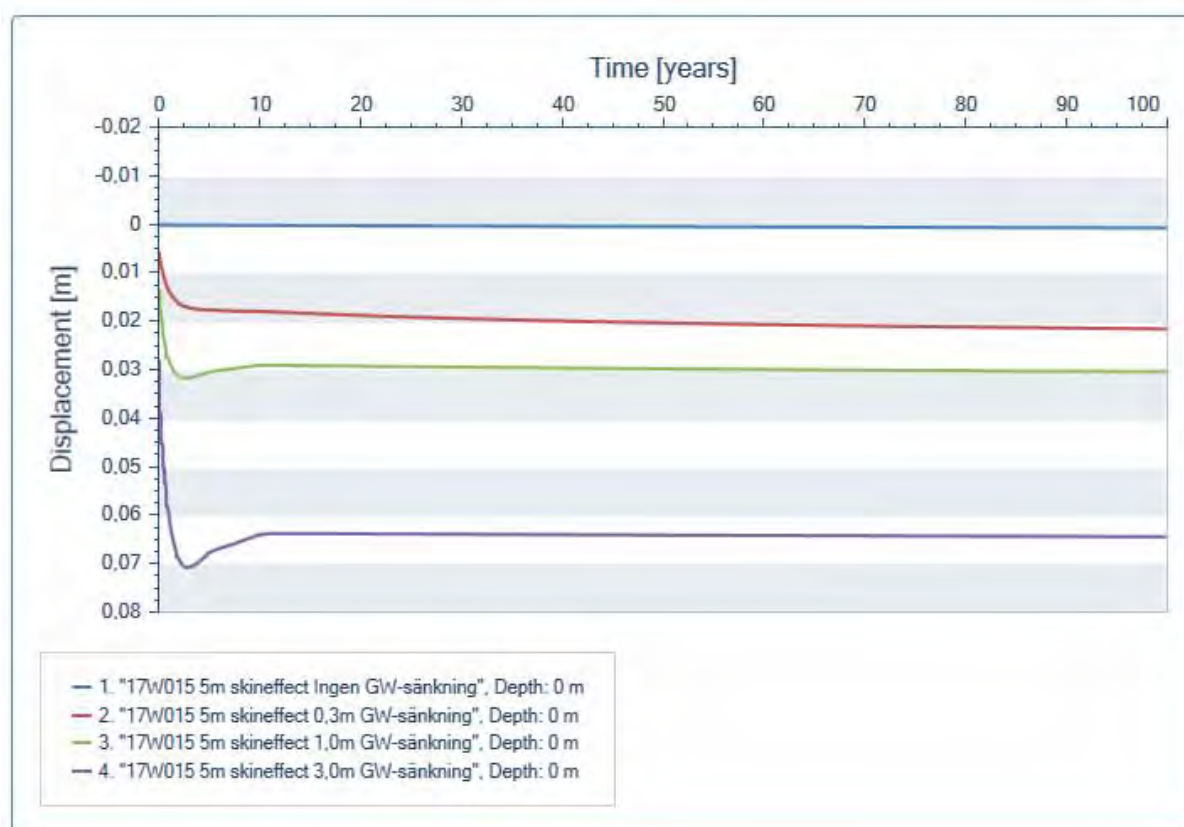


Figur 33. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 5 meter.

4.4.6.4 17W015 lermäktighet 5 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 29 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 5 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06



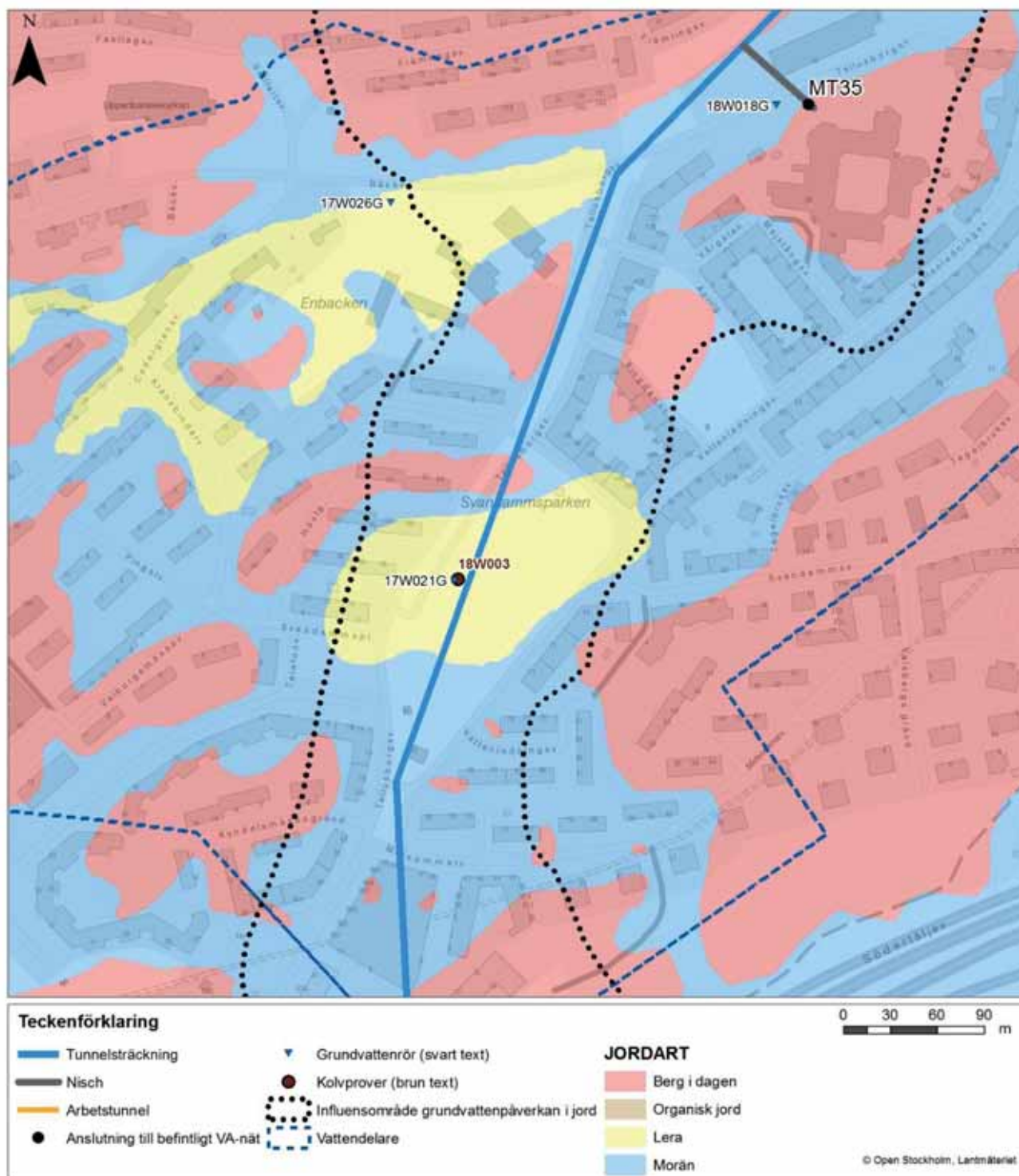
Figur 34. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W015 vid en lermäktighet på 5 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.4.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 17W015 bedöms vara normalkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till ca 3 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 12 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 30-50% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

4.5 Midsommarkransen södra, Svandammsparken

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren Figur 30 nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 35 Midsommarkransen södra område, Svandammsparken.

4.5.1 Generellt

Lerområdet begränsas av Svandammsparkens utbredning och utgör ett avgränsat område med lera. Den planerade tunneln korsar mitt i lerområdet i nord – sydlig riktning. Influensområdet omfattar hela lerområdet. Kringliggande område består huvudsakligen av flerbostadshus och grönparter.

4.5.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca +36 och +38. Marken är huvudsakligen plan, med en sänka i mitten av parken.

4.5.3 Jordlagerförhållanden

Jorden består huvudsakligen av lera överlagrad av fyllningsjord och torrskorpelera. Leran underlagras av friktionsjord på berg.

I undersökningspunkt 18W003 består jorden av cirka 0,5 m fyllning och 0,8 m torrskorpelera ovan 4 m lera som vilar på friktionsjord ovan berg.

4.5.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 18W003.

Installation av grundvattenrör har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 17W021G.

4.5.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i installerat grundvattenrör, 17W021G. Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till provtagningspunkten.

Grundvattennivån är uppmätt i grundvattenrör 17W021G och stod vid avläsningstillfällena (april 2017-maj 2018) på nivåer mellan +34,7 och +35,5. I beräkningarna för punkt 18W003 har nivån +35,1 valts, d.v.s. ca 1,4 m under markytan.

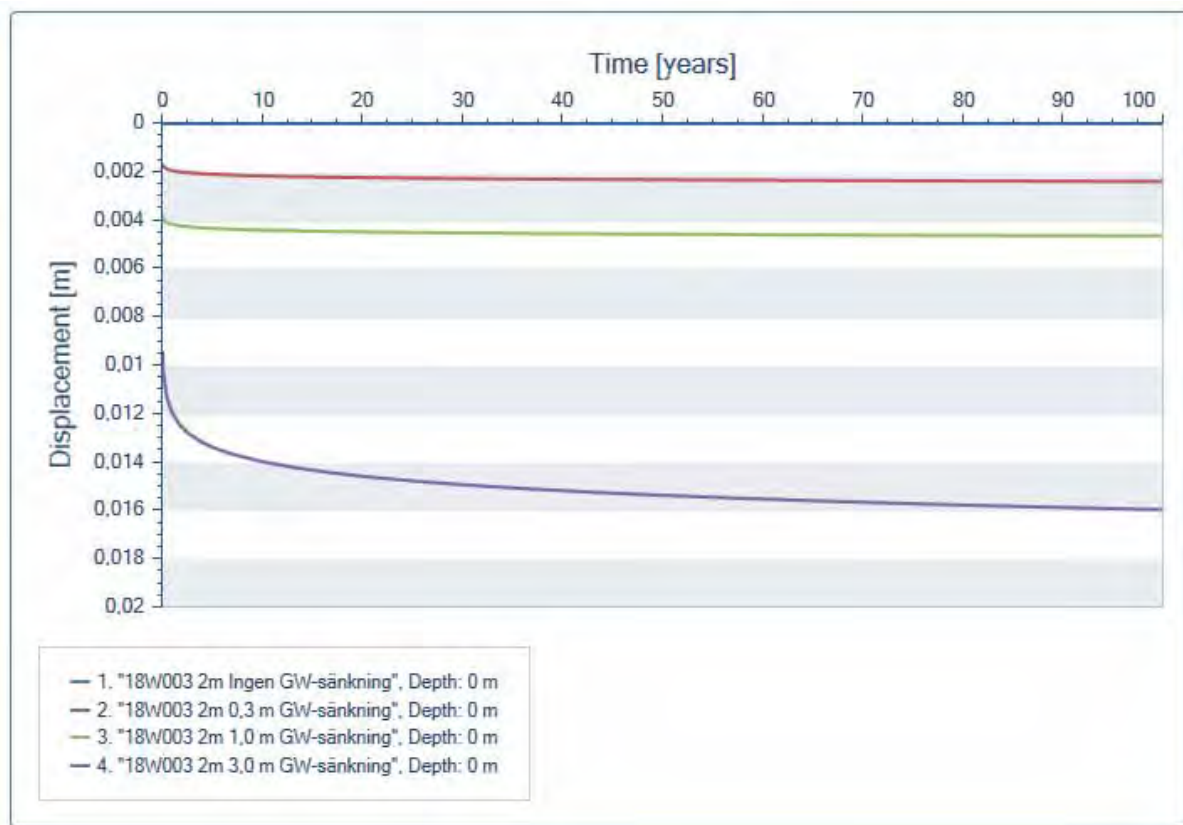
4.5.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan. Beräkningar har utförts för 2,0 m, 4,0 m och 5,0 m lermäktighet samt för 5,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.5.6.1 18W003 lermäktighet 2 m

Tabell 30 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

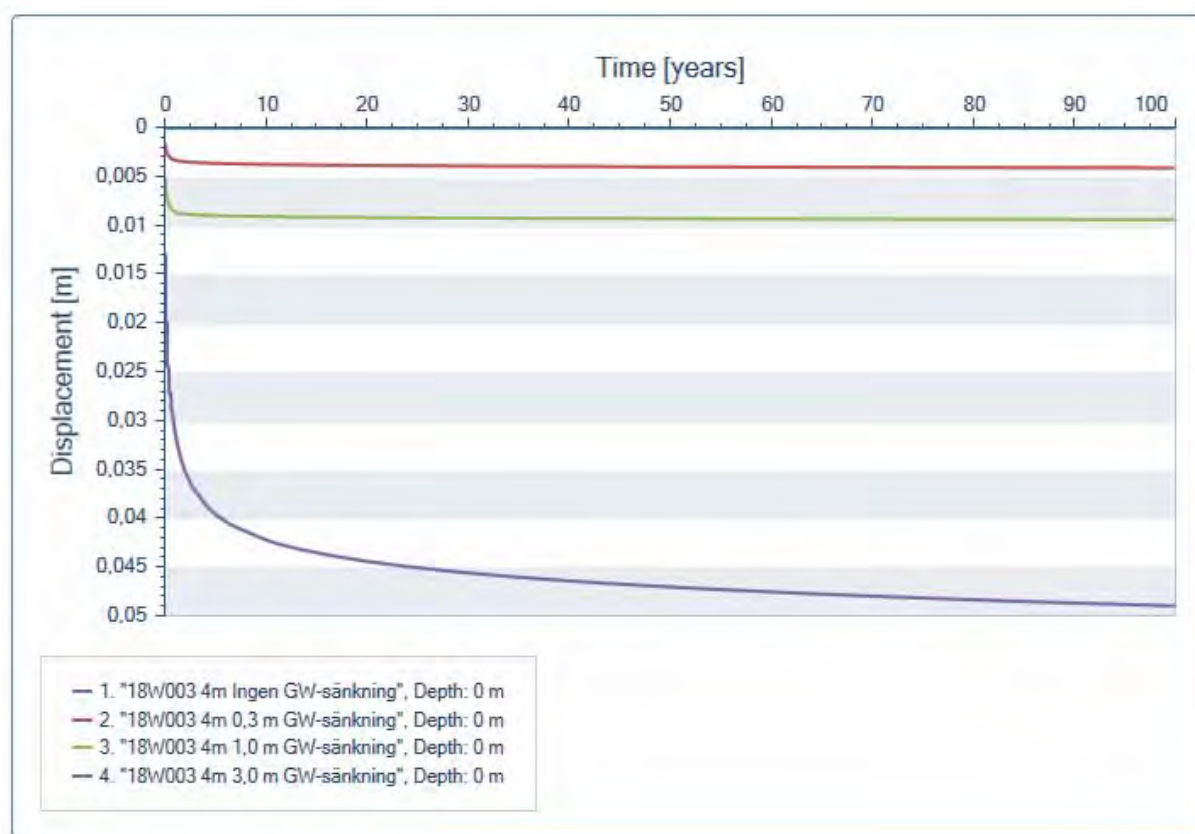


Figur 36. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.5.6.2 18W003 lermäktighet 4 m

Tabell 31 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05

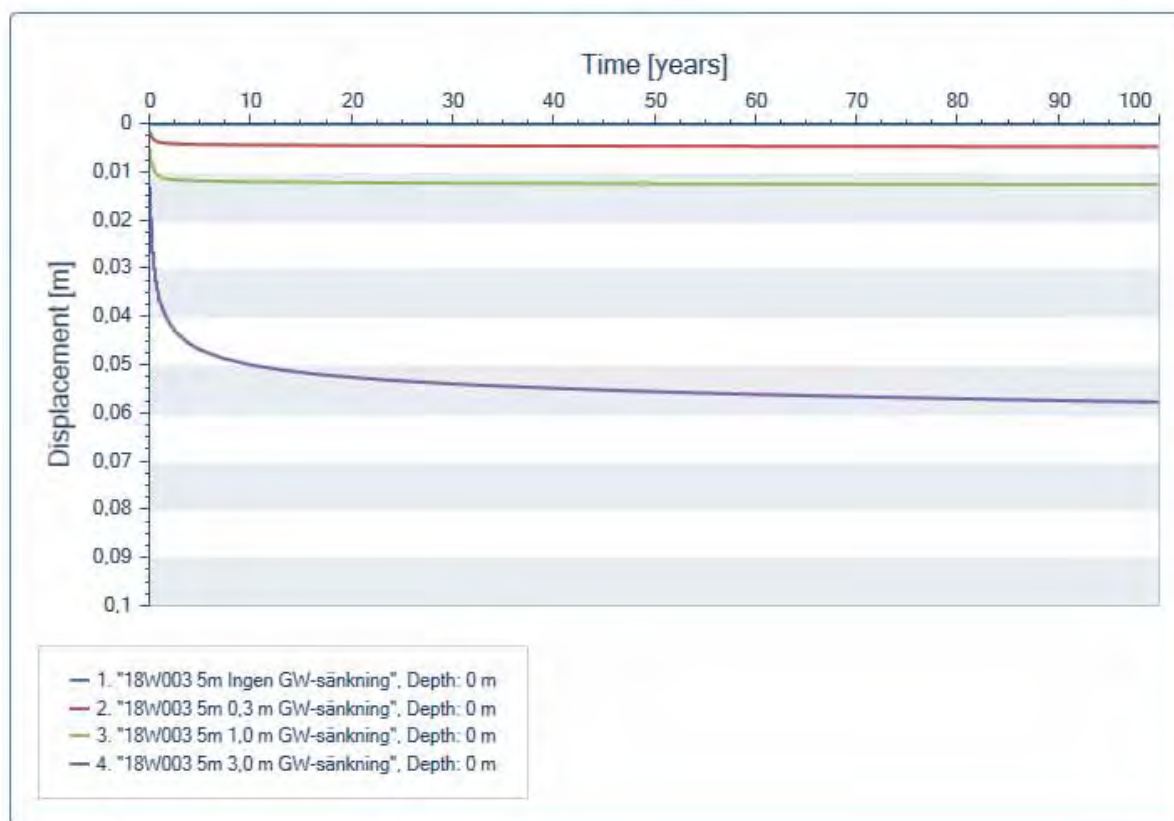


Figur 37. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.5.6.3 18W003 lermäktighet 5 m

Tabell 32 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 5 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06



Figur 38. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 5 meter.

4.5.6.4 18W003 lermäktighet 5 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 33 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 5 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02



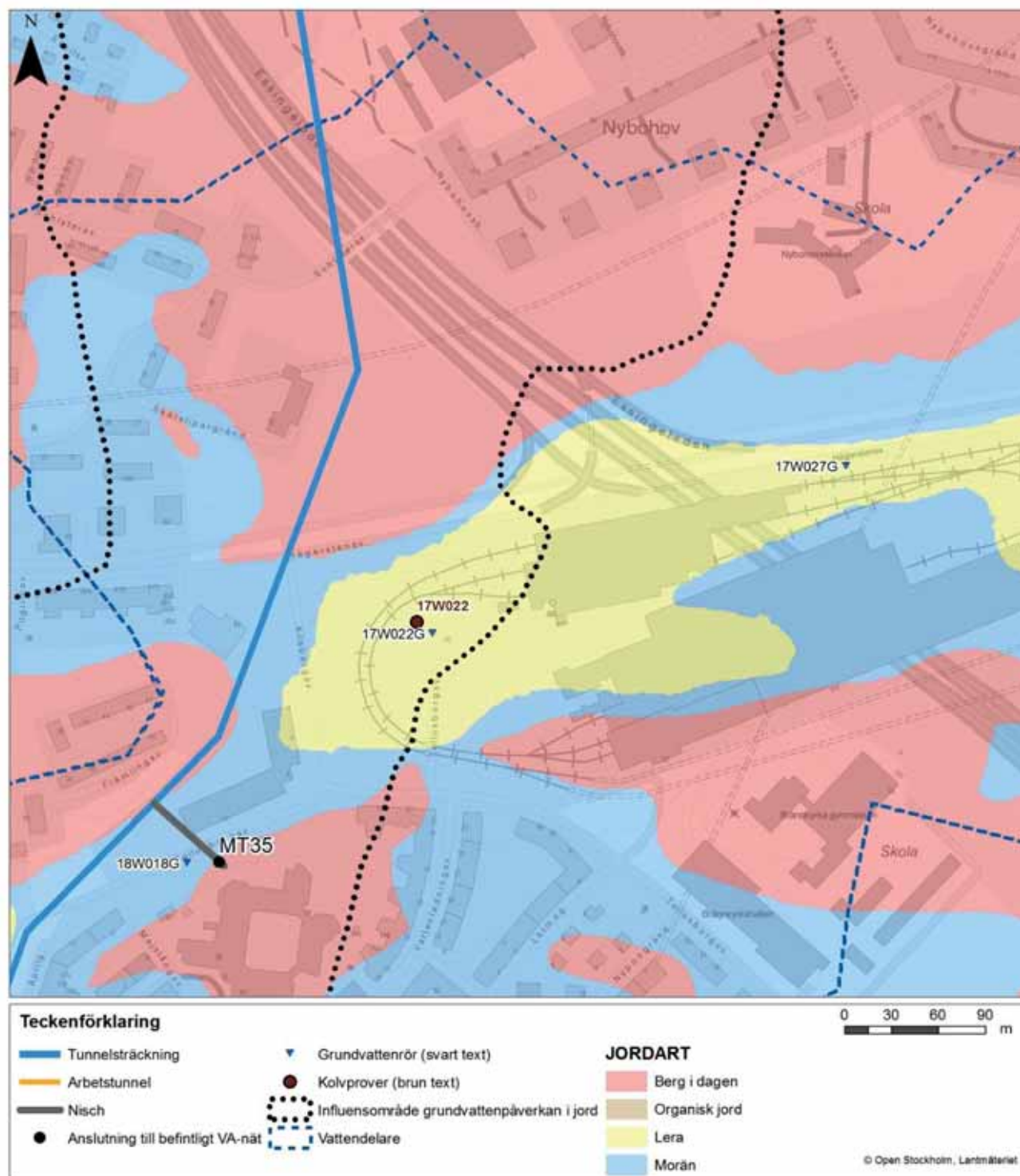
Figur 39. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 18W003 vid en lermäktighet på 5 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.5.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 18W003 bedöms vara svagt överkonsoliderad till överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid 3,0 meters grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till mindre än 1 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 6 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 30-60% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

4.6 Spårvägshallen

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 40 Spårväghallens område.

4.6.1 Generellt

Lerområdet ingår i ett stråk med lera som sträcker sig i väst – östlig riktning parallellt med Hägerstensvägen. Influensområdet sträcker sig upp till ca 180 m från planerad tunnel. Nyboda tunnelbanedepås byggnader och spår ligger i lerområdet. Essingeleden sträcker sig med en bro över lerområdets nordöstra del i nordväst – sydöstlig riktning. I väster och söder finns bostäder, verksamheter och en skola.

4.6.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar där lerområdet utgör en dalgång med högre partier i norr och söder. Marken inom dalgången sluttar svagt nedåt från väster till öster. Inom Nybodadepån är marken relativt plan på nivån cirka +20. Marken vid Nybodadepån bedöms vara urgrävd och avjämnad och ursprunglig marknivå bedöms ha legat högre. Hägerstensvägen ligger som högst ca 8 meter ovanför Nybodadepån.

4.6.3 Jordlagerförhållanden

Jorden inom lerområdet består huvudsakligen av lera överlagrad med fyllningsjord. Under leran finns friktionsjord på berg.

I undersökningspunkt 17W022 består jorden av 1,8 m fyllning ovan 5 m lera som vilar på friktionsjord ovan berg. Den översta metern av leran är av torrskorpekaraktär.

4.6.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 17W022.

Installation av grundvattenrör har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 17W022G.

4.6.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i installerat grundvattenrör, 17W022G. Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till provtagningspunkten.

Grundvattennivån är uppmätt i grundvattenrör 17W022G och stod vid avläsningstillfällena (juni 2017-maj 2018) på nivåer mellan +17,3 och +17,7. I beräkningarna för punkt 17W022 har nivån +17,5 valts, d.v.s. ca 3 m under markytan.

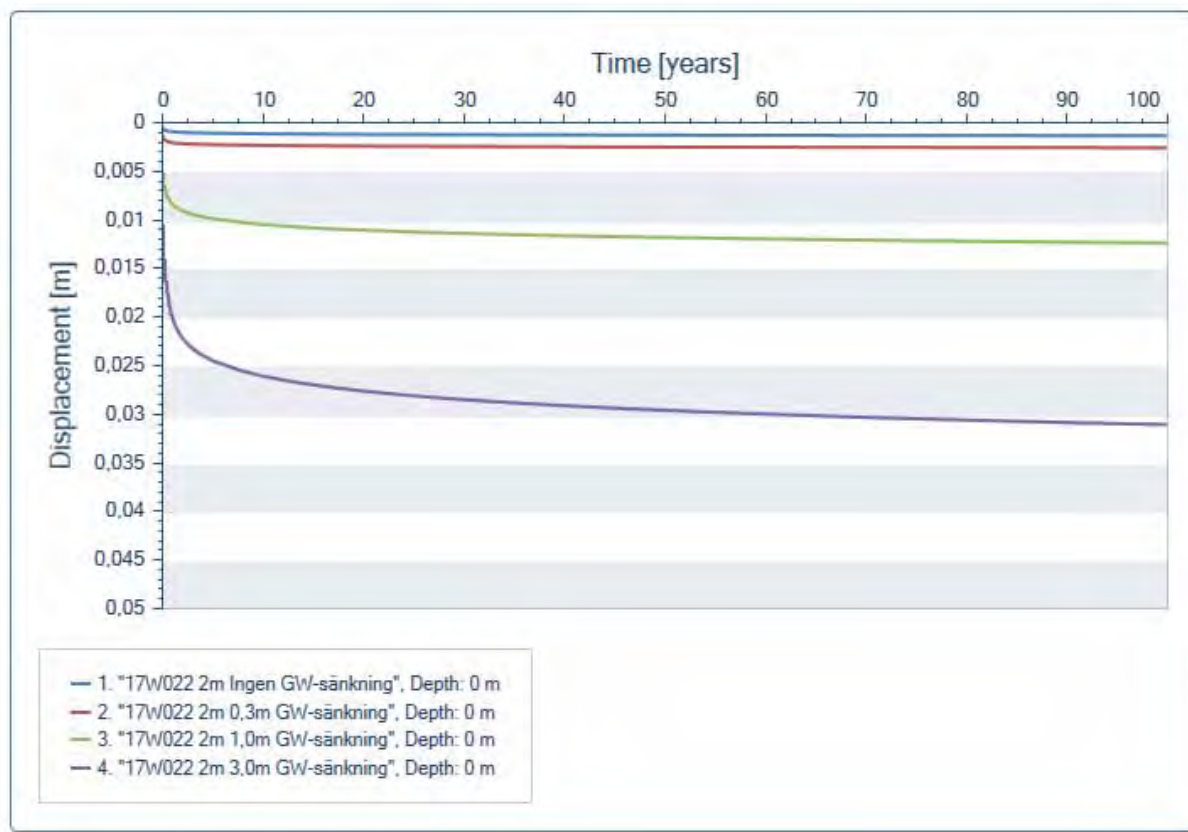
4.6.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan. Beräkningar har utförts för 2,0 m, 4,0 m och 6,0 m lermåktighet samt för 6,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.6.6.1 17W022 lermäktighet 2 m

Tabell 34 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03

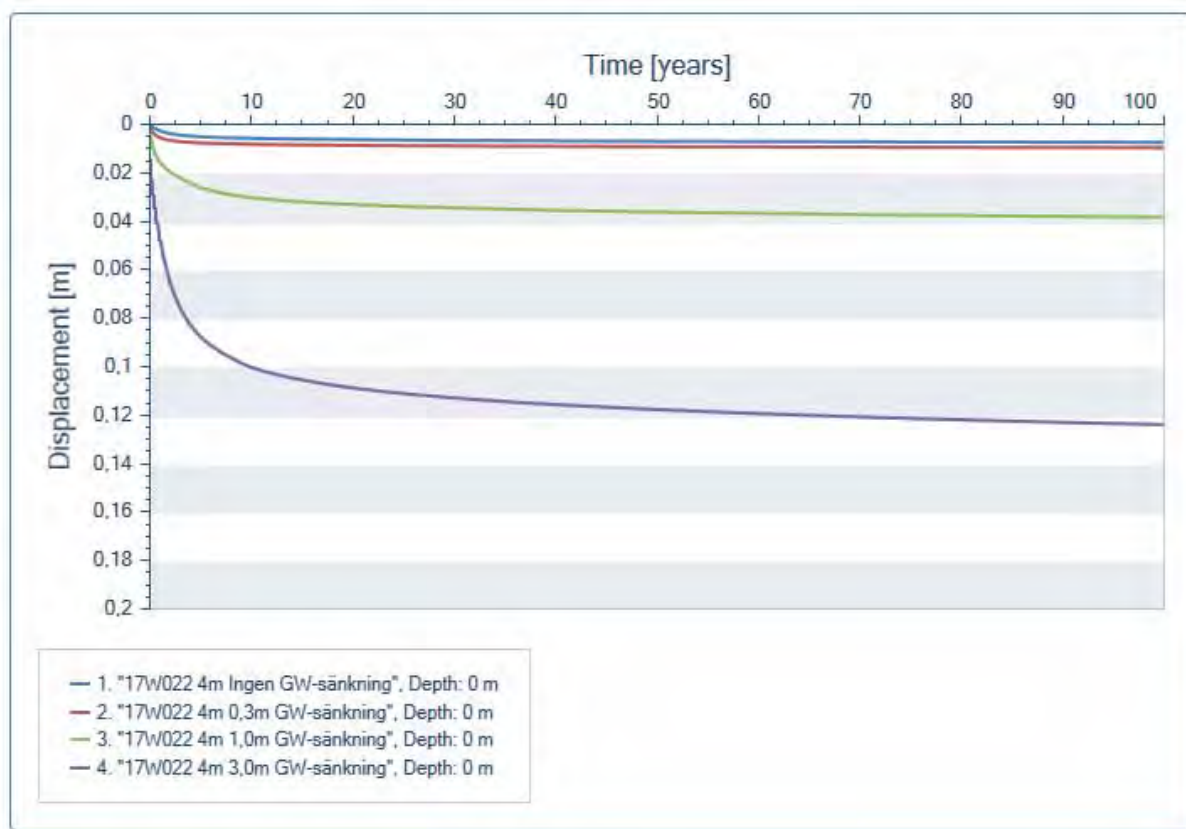


Figur 41. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.6.6.2 17W022 lermäktighet 4 m

Tabell 35 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
3	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13

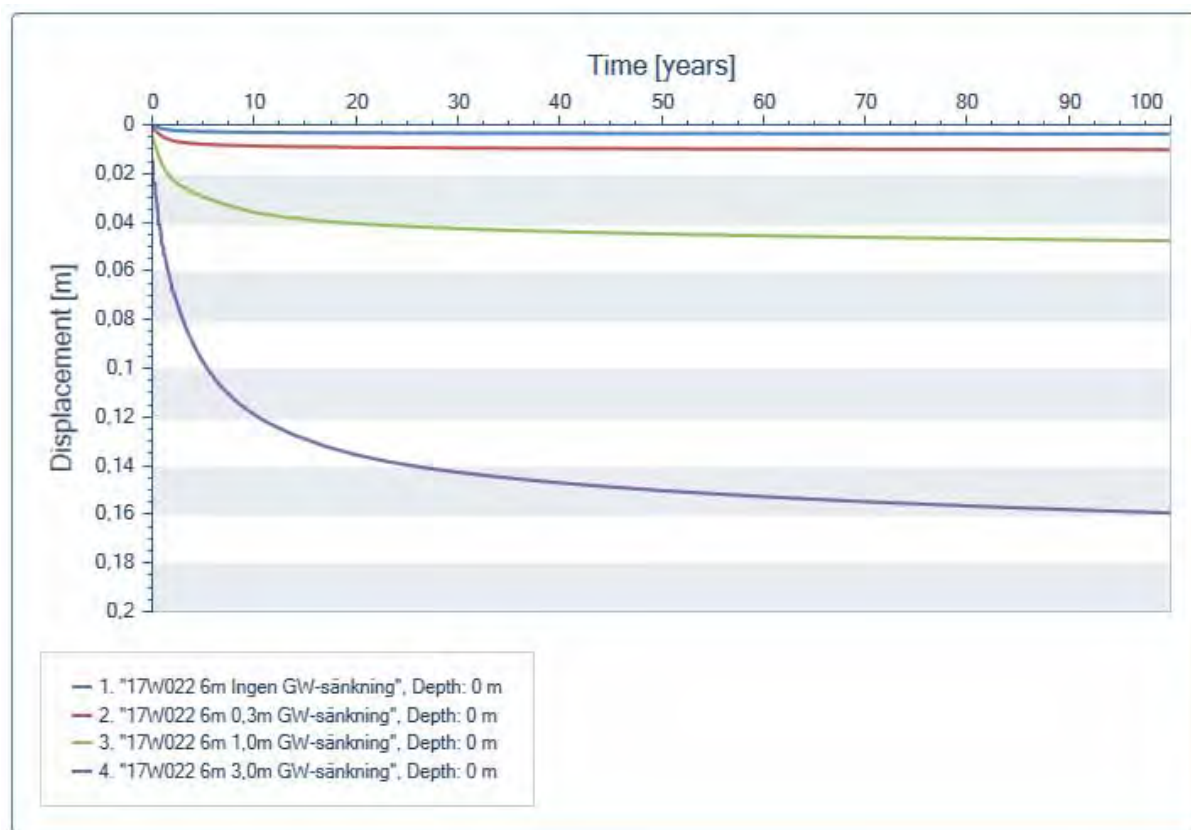


Figur 42. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.6.6.3 17W022 lermäktighet 6 m

Tabell 36 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 6 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
3	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16

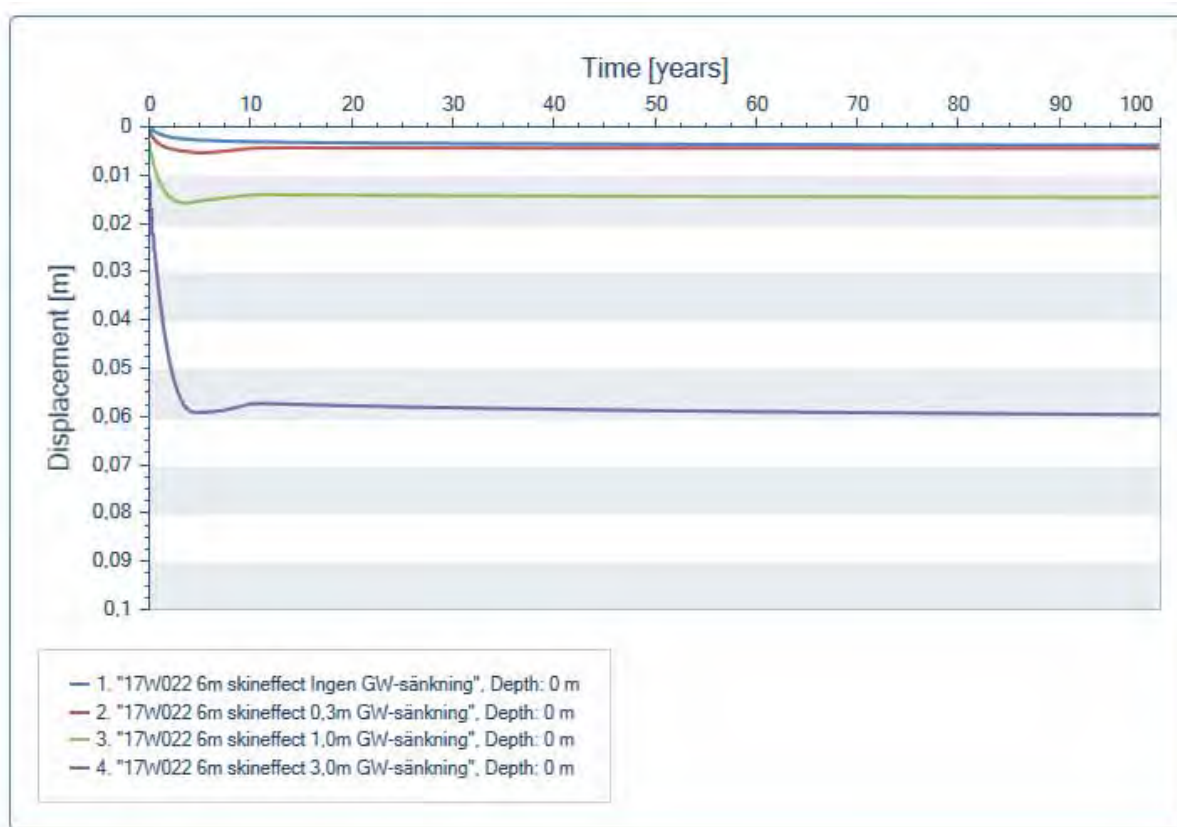


Figur 43. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 6 meter.

4.6.6.4 17W022 lermäktighet 6 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 37 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 6 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
3	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06



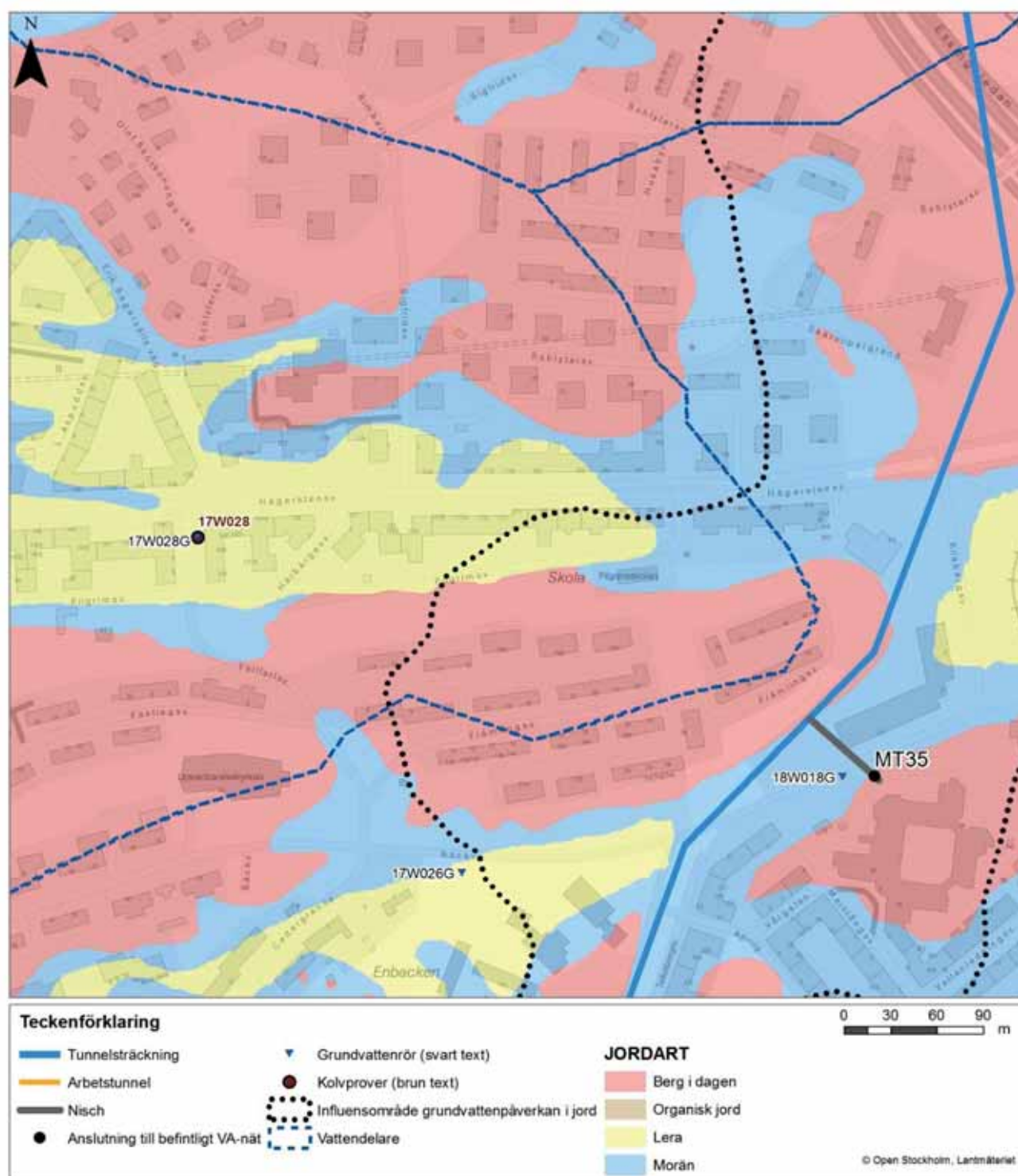
Figur 44. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W022 vid en lermäktighet på 6 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.6.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 17W022 bedöms vara normalkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna pågå. Beräknade pågående sättningar efter 100 år uppgår dock till mindre än 1 cm utan att grundvattennivån har påverkats. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till ca 1 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 16 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 40-60% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

4.7 Aspudden

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 45 Aspuddens område.

4.7.1 Generellt

Lerområdet ingår i ett större stråk med lera som sträcker sig i väst – östlig riktning längs med Hägerstensvägen. Influensområdet sträcker sig upp till ca 250 m från planerad tunnel och omfattar en mindre del av lerområdet i Aspudden. Området utgörs huvudsakligen av byggnader med mindre bostäder och flerbostadshus samt butiker och verksamheter.

4.7.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar med lägre nivåer inom lerområdet och högre partier i norr och söder. Marknivån inom lerområdet är relativt plan och sluttar svagt nedåt västerut från ca +30 till ca +34 .

4.7.3 Jordlagerförhållanden

Jorden inom lerområdet består huvudsakligen av lera överlagrad av fyllningsjord. Den översta delen av leran utgörs av torrskorpelera. Leran underlagras av friktionsjord på berg.

I undersökningspunkt 17W028 består jorden av cirka 1,8 m fyllning och 1,4 m torrskorpelera ovan 2,8 m lera som vilar på friktionsjord ovan berg.

4.7.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 17W028.

Installation av grundvattenrör har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 17W028G.

4.7.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i installerat grundvattenrör, 17W028G. Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till provtagningspunkten.

Grundvattennivån är uppmätt i grundvattenrör 17W028G och stod vid avläsningstillfällena (juni 2017-maj 2018) på nivåer mellan +22,6 och +23,5. I beräkningarna för punkt 17W028 har nivån +23,1 valts, d.v.s. ca 2,1 m under markytan.

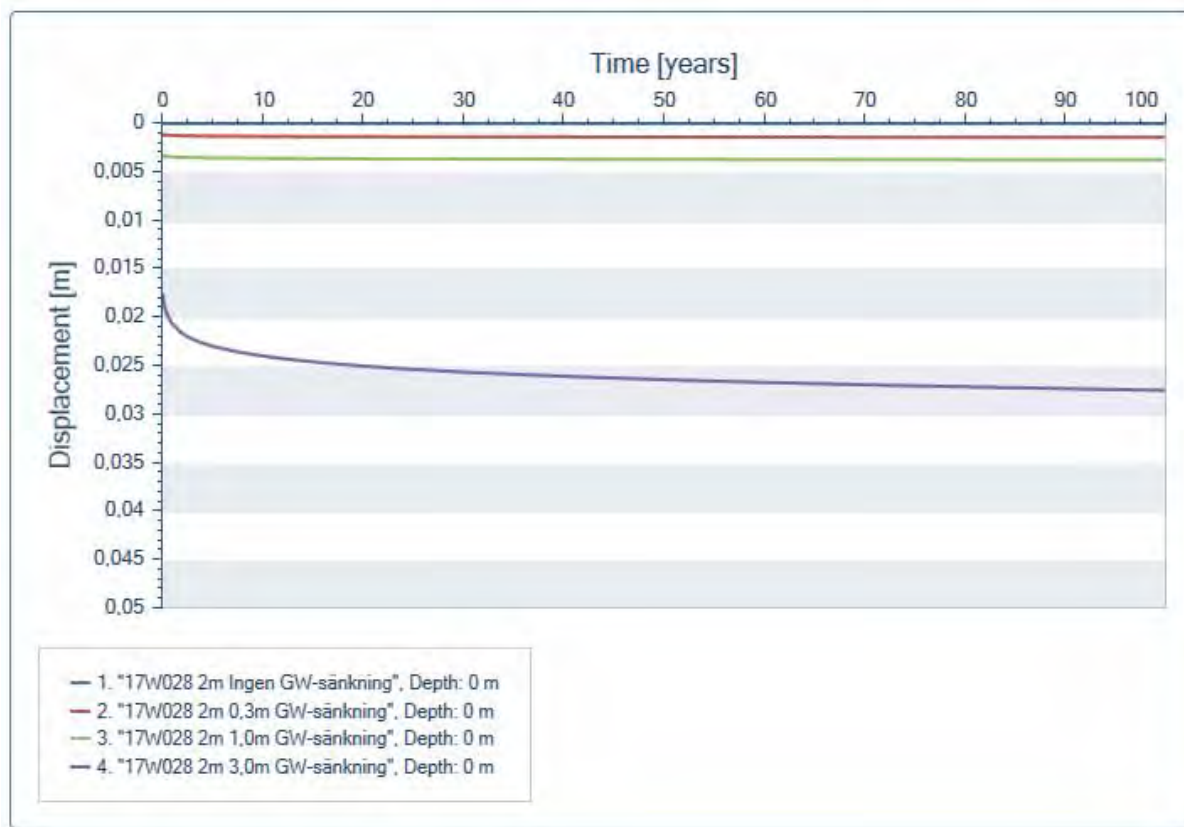
4.7.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan. Beräkningar har utförts för 2,0 m och 4,0 m lermäktighet samt för 4,0 m lera med hänsyn till s.k. "skineffekt".

4.7.6.1 17W028 lermäktighet 2 m

Tabell 38 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W028 vid en lermäktighet på 2 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03

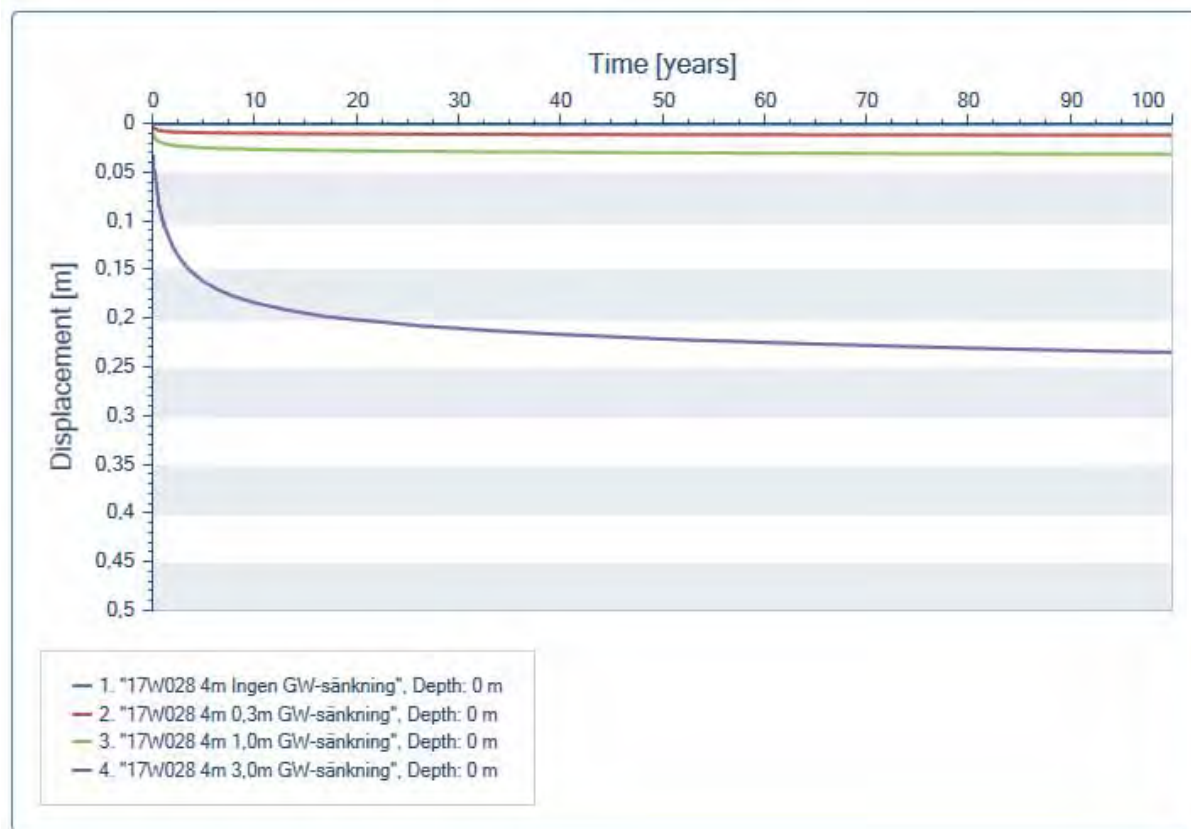


Figur 46. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W028 vid en lermäktighet på 2 meter.

4.7.6.2 17W028 lermäktighet 4 m

Tabell 39 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W028 vid en lermäktighet på 4 meter.

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
3	0,08	0,12	0,16	0,18	0,20	0,22	0,23

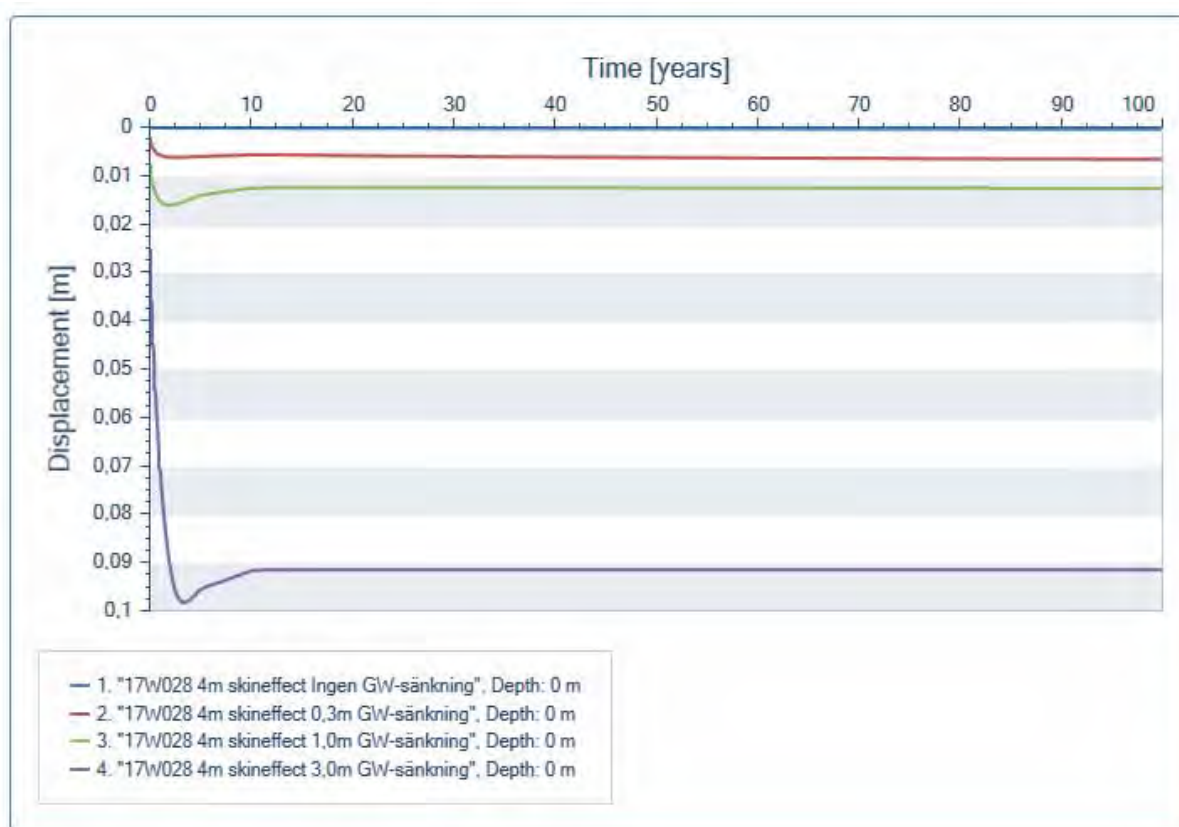


Figur 47. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W028 vid en lermäktighet på 4 meter.

4.7.6.3 17W028 lermäktighet 4 m, med hänsyn till "skineffekt"

Tabell 40 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 17W028 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

Grundvattensänkning (m)	1 år (m)	2 år (m)	5 år (m)	10 år (m)	20 år (m)	40 år (m)	100 år (m)
0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3	0,08	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09



Figur 48. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 17W028 vid en lermäktighet på 4 meter och med hänsyn till "skineffekt".

4.7.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 17W028 bedöms vara överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Krypsättningar bedöms kunna uppstå vid grundvattensänkning. Beräknad sättning efter 100 år uppgår till ca 1 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 23 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Totalsättningarna efter lång tid är 50-60% mindre då hänsyn tas till s.k. "skineffekt", sättningarna kan dock vara större tiden närmast efter påbörjad grundvattensänkning.

5. Sammanfattning av beräkningar

Denna PM redogör för teoretiskt beräknade sättningar som eventuellt kan uppstå vid en sänkning av grundvattnets trycknivå i samband med byggande och drift av Mässtunneln.

De tidsbundna sättningsförloppen, inklusive krypsättningar, har beräknats för olika mäktigheter av lera i respektive område med sättningsbenägen lera. Jämförande beräkningar med hänsyn till minskande grundvattenbortledning med tiden, s.k. "skineffekt", har utförts.

I sättningsberäkningarna har grundvattensänkningarna antagits ske momentant från dag 1. Grundvattensänkningen antas vara permanent, förutom vid "skineffekt". I verkligheten kommer avsänkningen av porttrycknivån troligen ske gradvis tills den nya jämviktsnivån ställt in sig, eftersom förloppet sker långsamt i täta jordar som lera. I de fall porttrycknivån återställs, exempelvis vid "skineffekt" eller genom infiltration, medför detta att sättningsförloppet avstannar och en eventuell mindre hävning kan förekomma.

Sättningar bedöms pågå vid följande punkter 18W024 (Älvsjö), 18W005 (Solberga västra) och 17W022 (Spårväghallen). Vid 18W024 i Älvsjö uppgår beräknade pågående sättningar efter 100 år till ca 23 cm utan att grundvattennivån har påverkats. Vid Solberga västra och Spårväghallen uppgår de beräknade pågående sättningarna till mindre än 1 cm efter 100 år.

De beräknade sättningarna är störst i Älvsjö, Solberga västra och Aspudden. I Älvsjö vid punkt 18W024 uppgår beräknad sättning efter 100 år till ca 36 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 87 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. I Älvsjö vid punkt 18W025 uppgår beräknad sättning efter 100 år till ca 10 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 31 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Vid Solberga västra uppgår beräknad sättning efter 100 år till ca 5 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 27 cm vid 3,0 m grundvattensänkning. Vid Aspudden uppgår beräknad sättning efter 100 år till ca 1 cm vid 0,3 m grundvattensänkning och till som mest 23 cm vid 3,0 m grundvattensänkning.

6. Referenser

- [1] Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Mässtunneln, systemhandling.
Dokumentnamn: MT01-G1-DDC-T-0001. Daterad 2018-04-30. WSP projektnummer 10244080.
- [2] Olsson, M. and Alén, C. (2009) Tekniskt PM-Val av kryptal för lösa plastiska leror. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg.
- [3] Claesson, P. (2003). Long-term settlements in soft clays, PhD thesis, Department of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- [4] Larsson, R. Bengtsson, P.-E. & Eriksson, L. (1997). Prediction of settlements of embankments on soft, fine-grained soils, Swedish Geotechnical Institute, Information 13E, Linköping.



Teckenförklaring

- # Grundvattenrör (svart text)
- Portrycksmätare (lila text)
- Kolvprover (brun text)
- Utrymningsschakt
- Anslutning till VA-nät
- Tunnelsträckning
- Arbetsstunnel
- Influensområde grundvattenpåverkan i jord
- Undre grundvattenmagasin
- JORDART
- Berg i dagen
- Organisk jord
- Lera
- Morän

Projekt: Mästartunneln PM Sättningar Bilaga 1

Sida 1

Uppdragsnr: 10246445

Ritad av: Linnea Maldonado

Granskad av: Mattias Lindgren

© Open Stockholm, Lantmäteriet

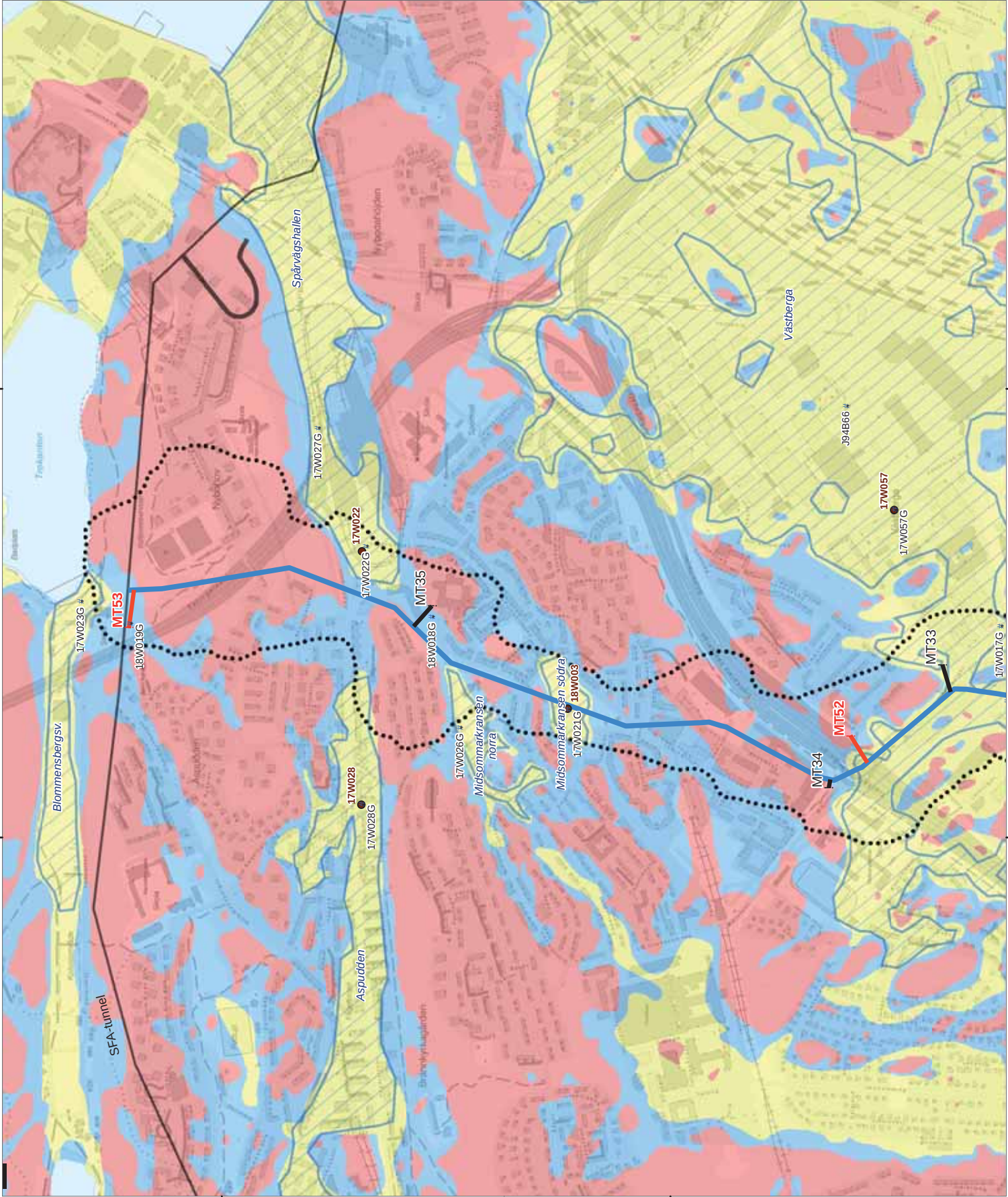
Datum: 2018-09-07

A3, Skala: 1:8 000

Koordinatsystem: Sweref 99 18 00



WSP Sverige
Avdelning Mark och Vatten





Teckenförklaring

- # Grundvattenrör (svart text)
- Porttrycksmätare (lila text)
- Kolvprover (brun text)
- Utrymningsschakt
- Anslutning till VA-nät
- Tunnelsträckning
- Arbetsstunnel
- Influensområde grundvattenpåverkan i jord



JORDART

- Berg i dagen
- Organisk jord
- Lera
- Morän

Projekt: Mästartunneln PM Sättningar Bilaga 1

Sida 2

Uppdragsnr: 10246445

Ritad av: Linnea Maldonado

Granskad av: Mattias Lindgren

© Open Stockholm, Lantmäteriet

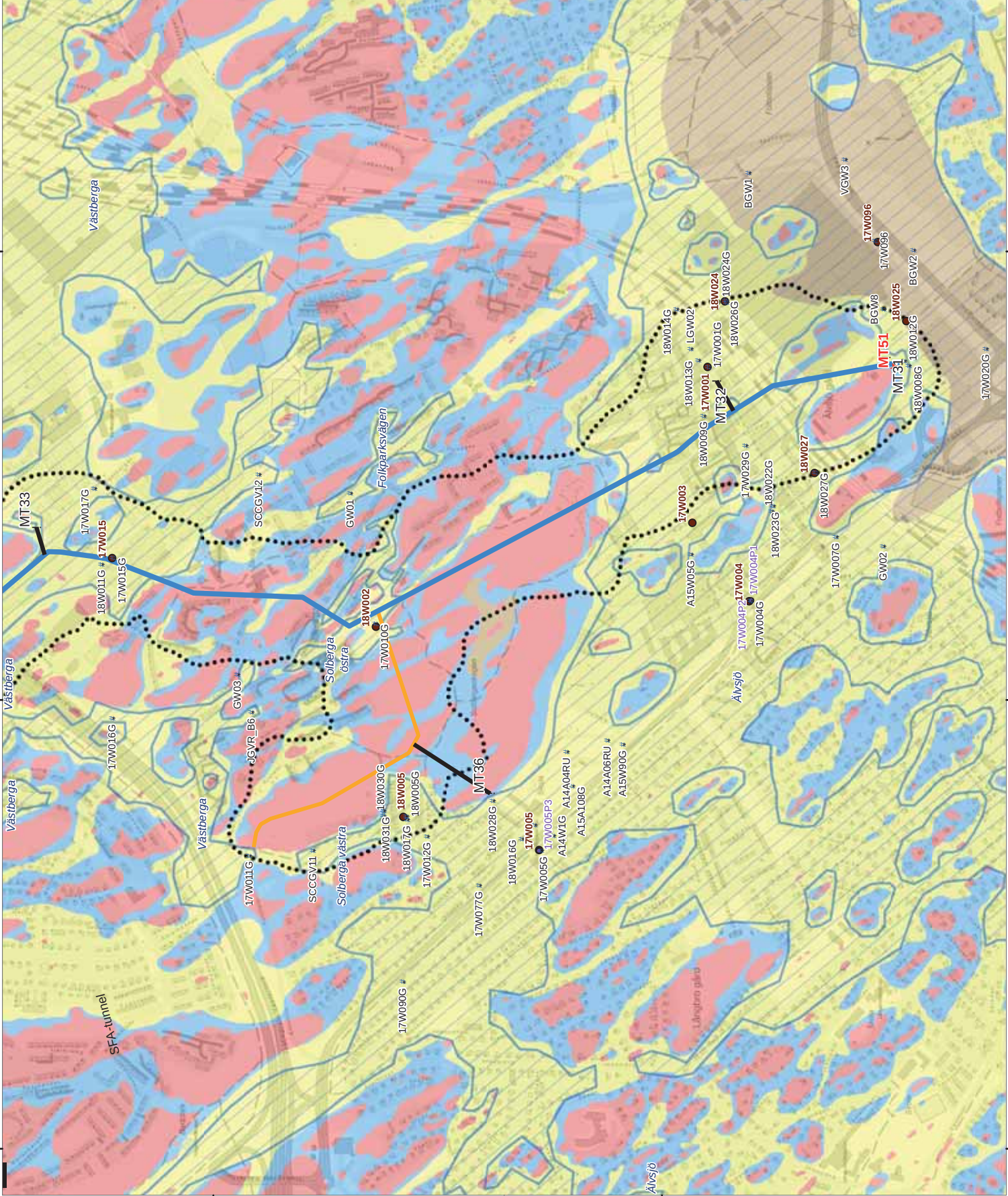
Datum: 2018-09-07

A3, Skala: 1:8 000

Koordinatsystem: Swebel 99 18 00



WSP Sverige
Avdelning Mark och Vatten



Namn	Dokumenttitel Bilaga G6 - Hydrogeologiska beräkningar		Version 1.0
Författare Linnea Maldonado, Patrik Lissel	Ansvarig Tomas Hård	Handlingsstatus/Läge GÄLLANDE	Datum 2019-01-10
Projektnamn MÄSSTUNNELN		Projektnummer 361903	Diarienummer 16SV816



MÄSSTUNNELN

Bilaga G6 – Hydrogeologiska beräkningar Tillståndsansökan Mässtunneln

Stockholm Vatten AB

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
0.1	2018-03-19	Preliminär handling för granskning
0.2	2018-09-12	Granskningshandling
0.3	2018-11-09	Granskningshandling
1.0	2018-01-10	Slutversion

Innehållsförteckning

1.	Inledning	4
2.	Bergets genomsläpplighet	5
2.1	Allmänt	5
2.2	SGU:s brunnarkiv.....	5
3.	Beräkning av inläckage till tunnelanläggning	10
4.	Vattenbalansberäkningar	12
4.1	Avgränsning och områdesindelning	13
4.2	Klimatologisk vattenbalans.....	16
4.3	Grundvattnets vattenbalans	16
4.4	Indata	18
4.4.1	Grundvattenbildning.....	18
4.4.2	Dränerande anläggningar	21
4.4.3	Dränerande stråk	22
4.5	Beräkning av vattenbalans mot beräknat inläckage	22
5.	Influensområde.....	25
5.1	Definition	25
5.2	Beräknad utbredning	26
	Referenser	28

Bilagor

Bilaga	Dokumentnummer	Titel
1		Modellbeskrivning

1. Inledning

Denna PM är en bilaga till PM Hydrogeologi (Bilaga G) som ingår i miljöprovningen för Mässtunneln.

Syftet med denna PM är att redovisa beräkningar som ligger till underlag för bedömning av Mässtunnelns förutsebara påverkan på grundvattenförhållanden för den sökta vattenverksamheten.

Beräkningarna inleds med en analys av bergets storskaliga vattenförande egenskaper (kapitel 2).

Dessa egenskaper ingår sedan som underlag till analytiska och numeriska beräkningar för prediktion av inläckage till planerade anläggning (3).

I kapitel 4 redovisas vattenbalansberäkningar för berörda relevanta grundvattenmagasin, dels utan mässtunnelns inverkan och dels med. Dessa beräkningar kan visa på en differentierad känslighet för vattenbalansförändringar i de olika magasinerna. Grundvattenbildningen som räknas fram i vattenbalansberäkningarna ingår som underlag till de analytiska och numeriska beräkningarna (3).

Slutligen redovisas i kapitel 5 beräkningar för prognostisering av det område där det förutses att praktisk påverkan på grundvattenförhållanden kan uppkomma som följd av den beräknade grundvattenbortledningen.

2. Bergets genomsläpplighet

2.1 Allmänt

Detta kapitel utgör en redovisning av utvärderingen av bergets genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) inom område för Mässtunnelns sträckning. Sammanställning har utförts av material från SGU:s brunnarkiv.

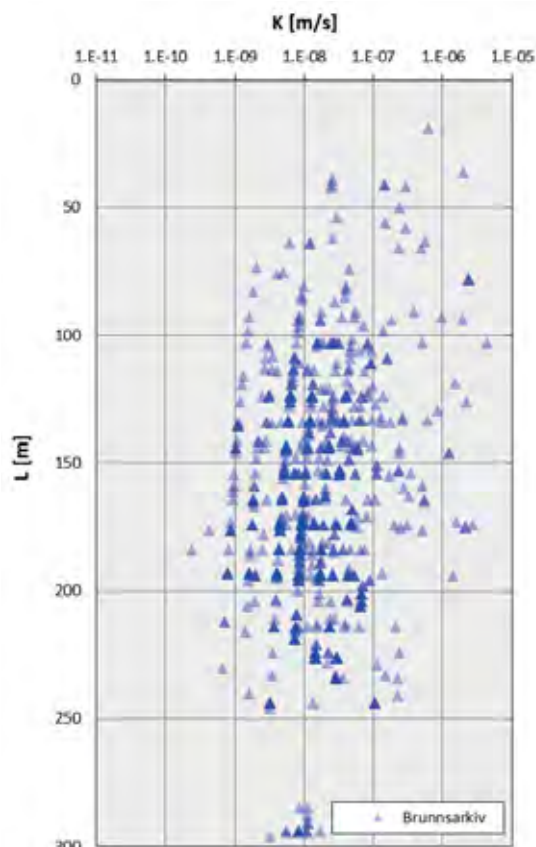
2.2 SGU:s brunnarkiv

Analys av data från brunnarkivet har genomförts genom studie av brunnar inom ett avstånd om ca 3 km från planerad tunnellinge.

Först har en medelkonduktivitet¹ (K) beräknats för respektive brunn som har beräkningsbar data (983 st) och sedan har fördelningen av beräknade K-värden för olika populationer studerats indelade efter brunnsdjup.

Skäl för indelning i olika populationer är att de vattenförande egenskaperna för det kristallina berget generellt kan antas uppvisa ett tätare berg mot djupet (djupavtagande K). Detta har studerats vid ett antal platser i Sverige och är även gällande för aktuellt område, vilket framgår av datapopulationen för alla brunnar (figur 1).

Mönstret i figur 1 avspeglar dock inte det korrekta djupavtagandet, eftersom varje punkt här representerar ett medelvärde av allt berg ovanför punkten. Det har i andra projekt redovisats liknande plottar men mot halva brunnsdjupet som ett "representativt djup"². Sådana plottar visar inte heller det korrekta djupavtagandet, möjligen dock med en något bättre visuell passning (se exempel i figur 9).



Figur 1. Plottade beräknade K-värden för respektive brunn mot brunnsdjup.

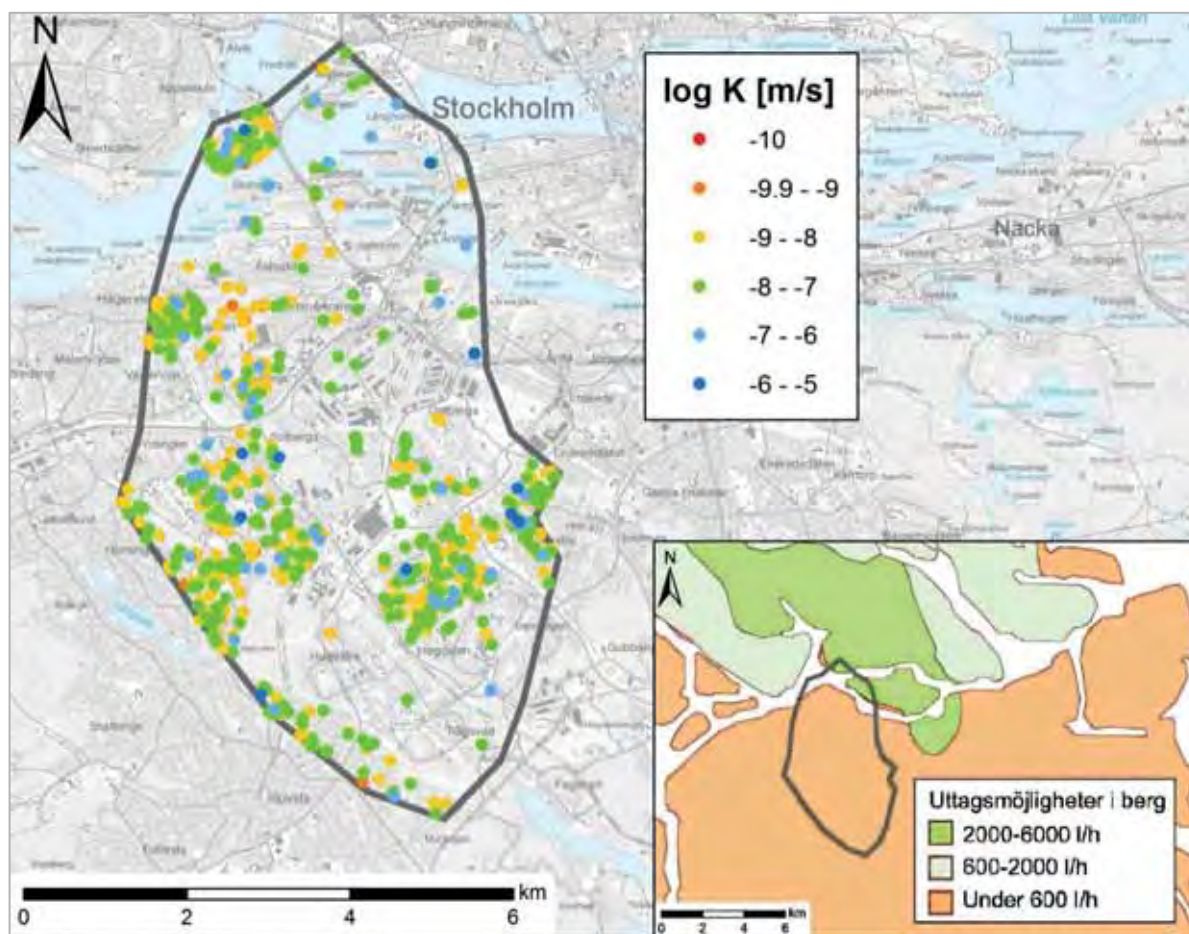
För analys av data ut brunnarkivet har metod enligt (Ryd 2017) använts för beräkning av transmissiviteten T för respektive brunn och K har beräknats som T genom vattenmättat öppet hål i berg. Här har nivån i brunnen (grundvattenytan) antagits ligga 4 m under mark.

¹ Ryd, E. 2017. Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg. Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten och landskapslära, Uppsala universitet.

² Svensk Kärnbränslehantering AB. 2000. Förstudie Östhammar. Slutrapport. Rapport R-00-24.

Före analys av fördelningar för olika brunnsdjup har respektive datavärde plottats i GIS för att se om det går att utskilja något mönster som skulle kunna ge stöd för indelning i olika hydrogeologiska domäner. Som bakgrund har SGU:s WMS-tjänst för uttagskapacitet i berg använts (figur 2).

Plottningen ger inget stöd för domänindelning. Hela området ligger även i princip helt inom del som av SGU betecknas med "mindre goda uttagsmöjligheter" (under 600 L/h).



Figur 2. Beräknade K-värden för respektive brunn samt domänindelning (en domän = svart linje). Infällt till höger ses uttagskapacitet i berg enligt SGU:s WMS-tjänst.

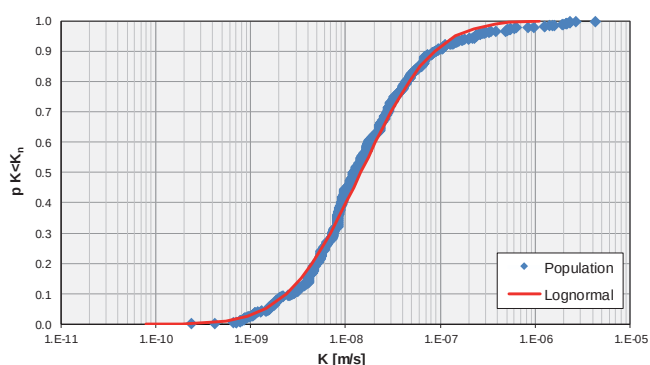
Den efterföljande analysen görs på en population där brunnar med samma koordinat (eller närliggande), vilka tolkats som borrhålslager, slås samman till ett representativt värde för lagret (geometriskt medelvärde av K för ingående brunnar i borrhålslagret). Detta ger en population om 788 värden vilka är lognormalfördelade med statistiska parametrar enligt figur 3.

På populationen

n	788 st	Antal värden i populationen
K_a	7.6E-08 m/s	Aritmetiskt medelvärde
σ_K	3.1E-07 m/s	Standardavvikelse
$\mu_{\ln K}$	18.0 ln m/s	Logmedelvärde
$\sigma_{\ln K}$	1.49	Logstandardavvikelse
K_g	1.5E-08 m/s	Geometriskt medelvärde
K_{3D}	2.2E-08 m/s	Effektiv hydraulisk konduktivitet för "stor skala"
enligt Matherons förmodan: $K_{3D}=K_g \exp(\sigma_{\ln K}^2/6)$		

Anpassad lognormalfördelning

$\mu_{\ln K}$	18.1 ln m/s	Logmedelvärde
$\sigma_{\ln K}$	1.40	Logstandardavvikelse
K_g	1.4E-08 m/s	Geometriskt medelvärde
K_{3D}	2.0E-08 m/s	Effektiv hydraulisk konduktivitet för "stor skala"
enligt Matherons förmodan: $K_{3D}=K_g \exp(\sigma_{\ln K}^2/6)$		



Figur 3. Beräknade K-värde för brunnar inom domänen samt anpassad lognormalfördelning.

Som tidigare nämnts ger figur 1 inte ger en korrekt bild av djupavtagandet för den hydrauliska konduktiviteten då varje punkt representerar allt berg ovanför det plottade djupet och K-värdet medelkonduktiviteten för detta berg. Därför används här en metod där den sammantagna populationen indelas i olika delmängder efter brunnnsdjup. Varje delmängd analyseras därefter för att beräkna en storskalig hydraulisk konduktivitet (K_{3D}) för respektive studerad population³.

De studerade populationerna har här valts till;

- brunnar med mindre djup i berg (L) än 200 m,
- brunnar med mindre djup i berg (L) än 100 m,
- brunnar med mindre djup i berg (L) än 60 m.

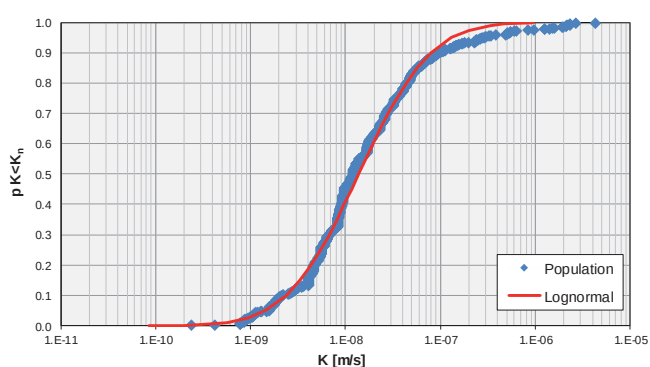
Populationerna är (förväntat) lognormalfördelade (se exempel figur 4 - figur 6). En sammanställning av fördelningarna visar att det finns ett statistiskt säkerställt djupavtagande K (figur 7).

På populationen L<200m

n	644 st	Antal värden i populationen
K_a	8.7E-08 m/s	Aritmetiskt medelvärde
σ_K	3.4E-07 m/s	Standardavvikelse
$\mu_{\ln K}$	18.0 ln m/s	Logmedelvärde
$\sigma_{\ln K}$	1.55	Logstandardavvikelse
K_g	1.5E-08 m/s	Geometriskt medelvärde
K_{3D}	2.3E-08 m/s	Effektiv hydraulisk konduktivitet för "stor skala"
enligt Matherons förmodan: $K_{3D}=K_g \exp(\sigma_{\ln K}^2/6)$		

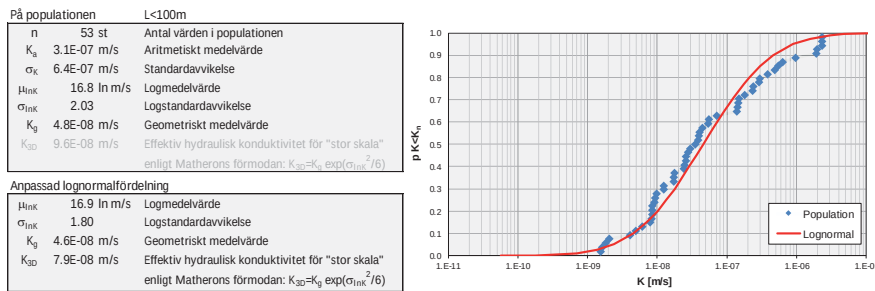
Anpassad lognormalfördelning

$\mu_{\ln K}$	18.1 ln m/s	Logmedelvärde
$\sigma_{\ln K}$	1.37	Logstandardavvikelse
K_g	1.4E-08 m/s	Geometriskt medelvärde
K_{3D}	1.9E-08 m/s	Effektiv hydraulisk konduktivitet för "stor skala"
enligt Matherons förmodan: $K_{3D}=K_g \exp(\sigma_{\ln K}^2/6)$		

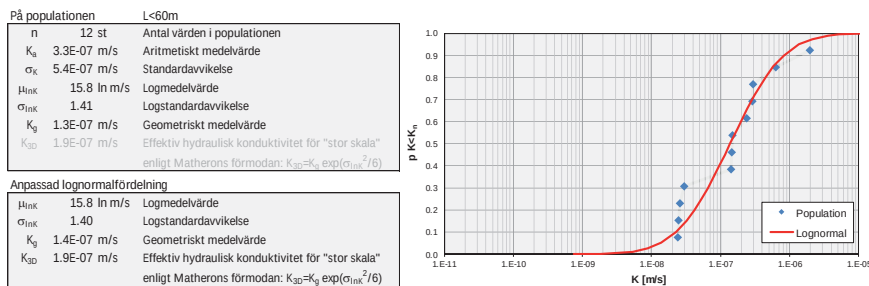


Figur 4. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<200 m.

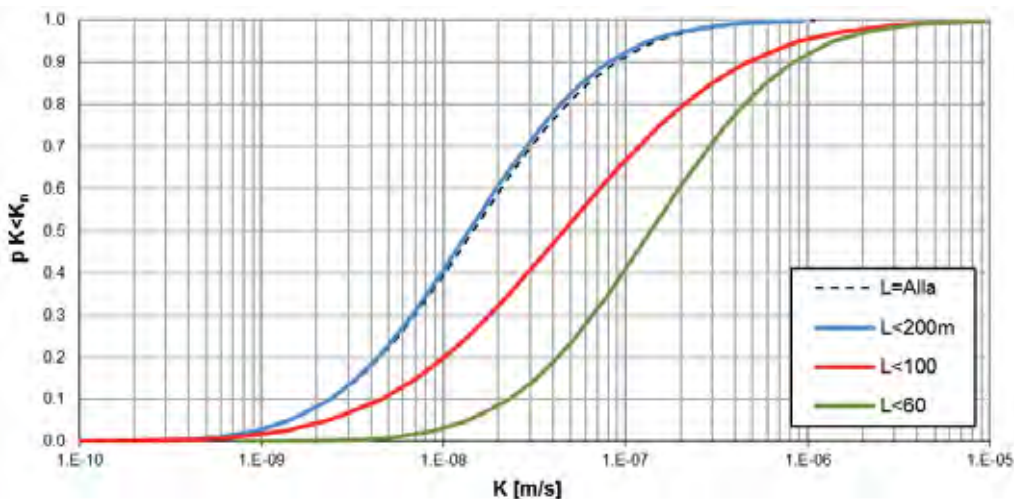
³ Gustafson G. 2009. Hydrogeologi för bergbyggare. Forskningsrådet Formas T2:2009.



Figur 5. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<100 m.



Figur 6. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<60 m.



Figur 7. Sammanställning av anpassade lognormalfördelningar för studerade populationer.

Bergets djupavtagande hydrauliska konduktivitet kan beskrivas med en potensfunktion enligt ekvation 1 nedan⁴.

$$K_{ber} = Cd^L \quad (\text{ekv 1})$$

där

C = konstant

d = djup i berg

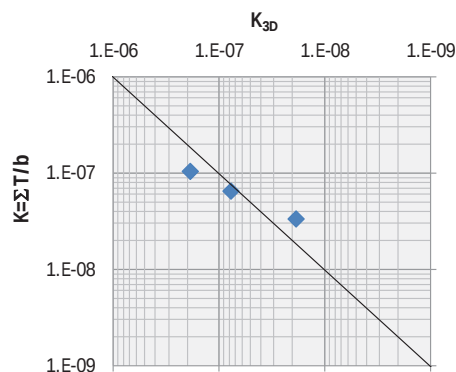
L = trend för djupavtagande

För bestämning av konstanter (C och L) som ger ett djupavtagande som stämmer med utvärderad population används K_{3D} -värdena för de olika delpopulationerna som passningsparametrar (kolumn A, figur 8) till det beräknade K-värdet med potensfunktionen

⁴ Ericsson, L-O.et al. Storregional grundvattenmodellering – fördjupad analys av flödesförhållanden i östra Småland. Jämförelse av olika konceptuella beskrivningar. Svensk Kärnbränslehantering AB. 2006. Rapport R-06-64.

($K_{\text{Normalberg}}$, kolumn G). Passningen görs manuellt genom en transmissivitetssummering av respektive studerad bergmaktighet, där medelvärdet för konduktiviteten för studerad maktighet antas till T/b (kolumn B). K för de översta 5 m antas inte följa potentrenden utan ges ett värde om $1,5 \times$ beräknat K för underliggande 5 m. K -värde för zoner har antagits till 10 ggr K -värde för normalberg (högre C-konstant).

A	B	C	D	E	F	G	H
K_{3D}	$K=\Sigma T/b$	dT	b	d, djup	midpoint	$K_{\text{normalberg}}$	K_{zon}
[m/s]	[m/s]	[m ² /s]	[m]	[m]		[m/s]	[m/s]
		4.6E-06	10	10	5	5E-07	5E-06
		7.9E-07	10	20	15	8E-08	8E-07
		3.5E-07	10	30	25	3E-08	3E-07
		2.0E-07	10	40	35	2E-08	2E-07
1.9E-07	1.0E-07	2.3E-07	20	60	50	1E-08	1E-07
		7.5E-08	10	70	65	8E-09	8E-08
		6.0E-08	10	80	75	6E-09	6E-08
7.9E-08	6.4E-08	9.0E-08	20	100	90	4E-09	4E-08
		1.1E-07	40	140	120	3E-09	3E-08
		7.1E-08	40	180	160	2E-09	2E-08
1.9E-08	3.3E-08	2.7E-08	20	200	190	1E-09	1E-08

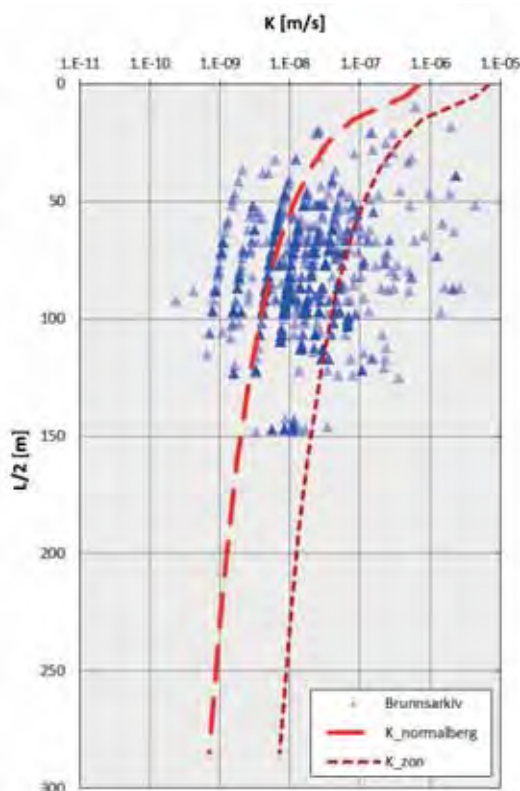


Figur 8. Princip för beräkning av konstanterna C och L mot passningsparametrar K_{3D} (tabellutsnitt).

Olika värden på C och L kan ge i princip lika god passning mot K_{3D} -värdena, varför det slutliga valet av konstanter även inbegriper en rimlighetsbedömning av konduktiviteter på större djup. I detta fall har det bedömts att det sannolikt inte är tätare berg på 200 m djup än ca $K=1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Valda konstanter för normalberg är $C=6,0 \cdot 10^{-6}$ och $L=-1,6$, resulterande i funktion för djupantagande K enligt figur 9. För zoner har antagits $C=6,0 \cdot 10^{-5}$ och $L=-1,6$.

Osäkerheten i metoden ligger till stor del i den av brunnborraren bedömda brunnskapaciteten (påverkar beräknat K_{medel} för brunnen). Fördelen med metoden är det stora dataunderlaget och den "slumpartade" spridningen av datapunkter, jämfört med riktade undersökningar mot svaghetszoner.

En annan osäkerhet som brukar anföras rörande data från brunnarkivet är den bias som introduceras för de fall man borrar efter vatten. Då är det vanligt att man avbryter borrhning då man nått en viss kapacitet eller överger borrhning vid ett visst djup om sökt kapacitet inte erhållits. Detta kan ge en skev bild av permeabilitetens djupavtagande. Men i den urbana miljön inom domänen är borrhning efter vatten sällan förekommande och den absoluta merparten (>95%) av brunnarna är energibrunnar. För dessa finns inte ovanstående invändning.



Figur 9. Plottade beräknade K -värden för respektive brunn mot $L/2$ jämte anpassad funktion för djupavtagande K -värde för normalberg och zoner.

3. Beräkning av inläckage till tunnelanläggning

Beräkningar har gjorts dels med analytisk modell och dels med numeriska modeller. De numeriska modellerna beskrivs närmare i bilaga 1 – modellbeskrivning.

Den analytiska beräkningen har gjort efter ekvation 2 nedan (Gustafson, 2009):

$$q = \frac{2\pi K_b H}{\ln\left(\frac{2H}{r}\right) + \left(\frac{K_b}{K_i} - 1\right) \ln\left(1 + \frac{t}{r}\right) + \xi} \quad (\text{ekv 2})$$

där

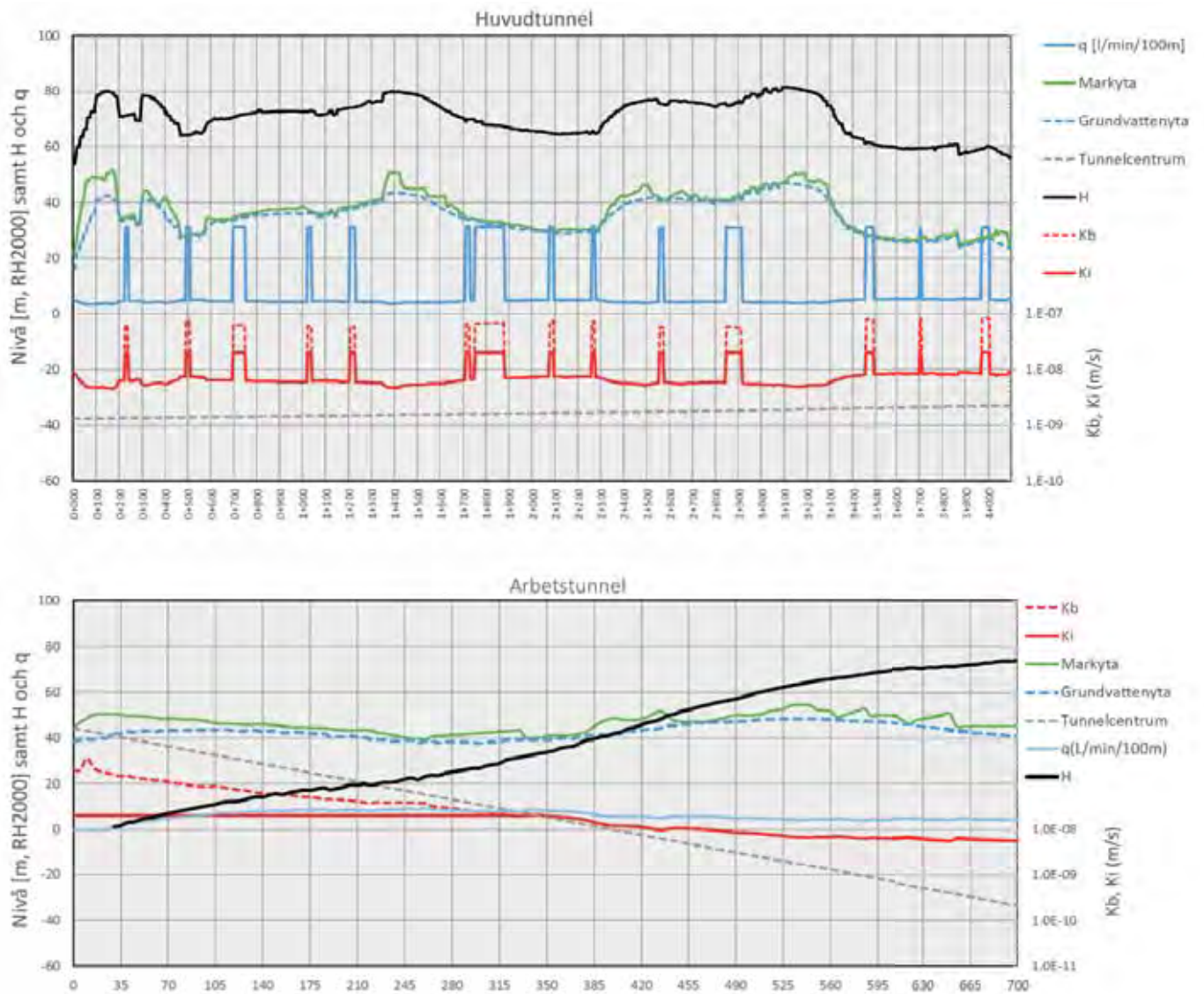
q	Inläckage till tunnel per längdmeter
r	Ekvivalent tunnelradie
H	Grundvattentryck vid tunnelcentrum
K_b	Bergets hydrauliska konduktivitet
K_i	Injekteringszonens hydrauliska konduktivitet
t	Injekteringszonens mäktighet
ξ	Skinfaktor

Giltigheten i den analytiska modellen ovan har testats genom simulering av relevanta akviferuppsättningar och tunnelgeometrier i numeriska modeller. Det är välkänt att det för en ytligt förlagd tunnel inte kommer att beräknas ett korrekt inläckage (q) med ekvation 1. Detta då grundvattenytan ovanför en tunnel kommer att sänkas av som följd av ett större inläckage vilket minskar H och därmed q . Den analytiska modellen förutsätter dock konstant grundvattenyta ovanför tunneln. Ofta erhålls en överprediktion om ca 5%-10% med den analytiska modellen jämfört med en numerisk modell där hänsyn tas till avsänkning av grundvattenytans läge, men med i övriga samma parameter för beräkning av q .

För huvudtunnel och nischer uppgår beräknat inläckage med ekvation 1, till cirka 7,8 L/min/100 m, och motsvarande värde beräknat i numerisk grundvattenmodell uppgår till 7.0 L/min/100 m. Detta visar på storleksordning i skillnad mellan metoderna för aktuell anläggning (ca 11%). Längs sträckan 1+750 till 1+875 går tunneln längs med en antagen sprickzon. Här överpredikterar den analytiska modellen inläckaget (lokalt) med upp till 25% jämfört med numerisk modell. Den stora diskrepansen beror i detta fall på att den analytiska modellen antar i princip obegränsad tillgång till vatten som kan bidra till inläckage medan den numeriska modellen "tömmer" sprickzonen varvid inläckaget till tunneln blir mer begränsat. Den numeriska modellen bedöms spegla verkliga förhållanden bättre än den analytiska i detta avseende.

För visualisering i fördelning av predikterat inläckage längs huvudtunneln används den analytiska modellen, se figur 10. Här ses hur antagna svaghetszoner med mer konduktivt

berg inverkar på beräknat inläckage. Notera att detta avser en situation efter att dessa med konduktiva zoner tätats genom injektering (skillnad i K_b jämfört med K_i i figuren). Beräknat inläckage till huvudtunneln varierar mellan 3,5 L/min/100 m och 31,5 L/min/100 m.



Figur 10. Analytisk beräknat inläckage till huvudtunnel och arbetstunnel.

Inläckage till vertikalschakter har beräknats med numerisk metod. Först har beräkning gjorts i separata lokala modeller med hög diskretisering för framtagande av inläckagevärden. Därefter har dessa inläckage simulerats i den storskaliga modellen för prediktion av påverkan på grundvattenförhållanden.

Beräknat inläckage för hela anläggningen redovisas i tabell 1 nedan, dels för hela anläggningen och dels uppdelat på delsträckor.

Tabell 1. Beräknat inläckage (numeriskt) för planerad anläggning jämte uppdelning på delsträckor.

Beräknad grundvattenbortledning

Planerad anläggning

0+000 - 4+100

Anläggningsdel	[L/min]	L [m]	[L/min/100m]
Huvudtunnel + nischer	301	4 275	7.0
Arbetstunnel	44	760	5.8
Schakter	9	-	-
Hela anläggningen	353	5 035	7.0

Delsträckor

Midsommarkransen

0+000 - 1+390

Västberga

1+390 - 3+095

Älvsjö

3+095 - 4+100

[L/min]	L [m]	[L/min/100m]	[L/min]	L [m]	[L/min/100m]	[L/min]	L [m]	[L/min/100m]
106	1476	7.2	126	1776	7.1	69	1023	6.7
-	-	-	44	760	6	-	-	-
2	-	-	3	-	-	3	-	-
109	1476	7.4	173	2536	6.8	72	1023	7.0



Figur 11. Översikt över delsträckor för beräknat inläckage till planerad anläggning.

4. Vattenbalansberäkningar

Vattenbalanser har upprättats för hydrauliskt avgränsade delområden längs Mässtunnelns sträckning. Vattenbalansberäkningarna har utförts för undre magasin i jord och ger en bild av storleksordningen på grundvattenflödet genom magasinerna. Resultatet ger underlag för att kunna bedöma om det finns stor eller liten tillgång på grundvatten före och efter utbyggnad av Mässtunneln. Vilket i sin tur resulterar i en bedömning om grundvattenmagasinens känslighet för vattenbalansförändringar som bland annat kan orsakas av grundvattenbortledning till Mässtunnelns undermarksanläggningar.

4.1 Avgränsning och områdesindelning

Avgränsning för vattenbalansberäkningar har utgått från ett utredningsområde. Detta är ett hydrauliskt avgränsat område inom vilket geologiska och hydrogeologiska förhållanden studeras med syfte att kunna prediktera påverkan och effekter av planerad vattenverksamhet. Avgränsning av utredningsområdet utgörs i huvudsak av gränser över vilka inget flöde sker (vattendelare eller gränser där flödet sker parallellt med gränsen). Där gränser med förutsebart nollflöde inte stått att finna inom rimligt avstånd från planerade anläggningar har gränser med förutsebart lite flöde valts. Dessa principer har även varit styrande för indelning av utredningsområdet i delområden för vattenbalansberäkningar.

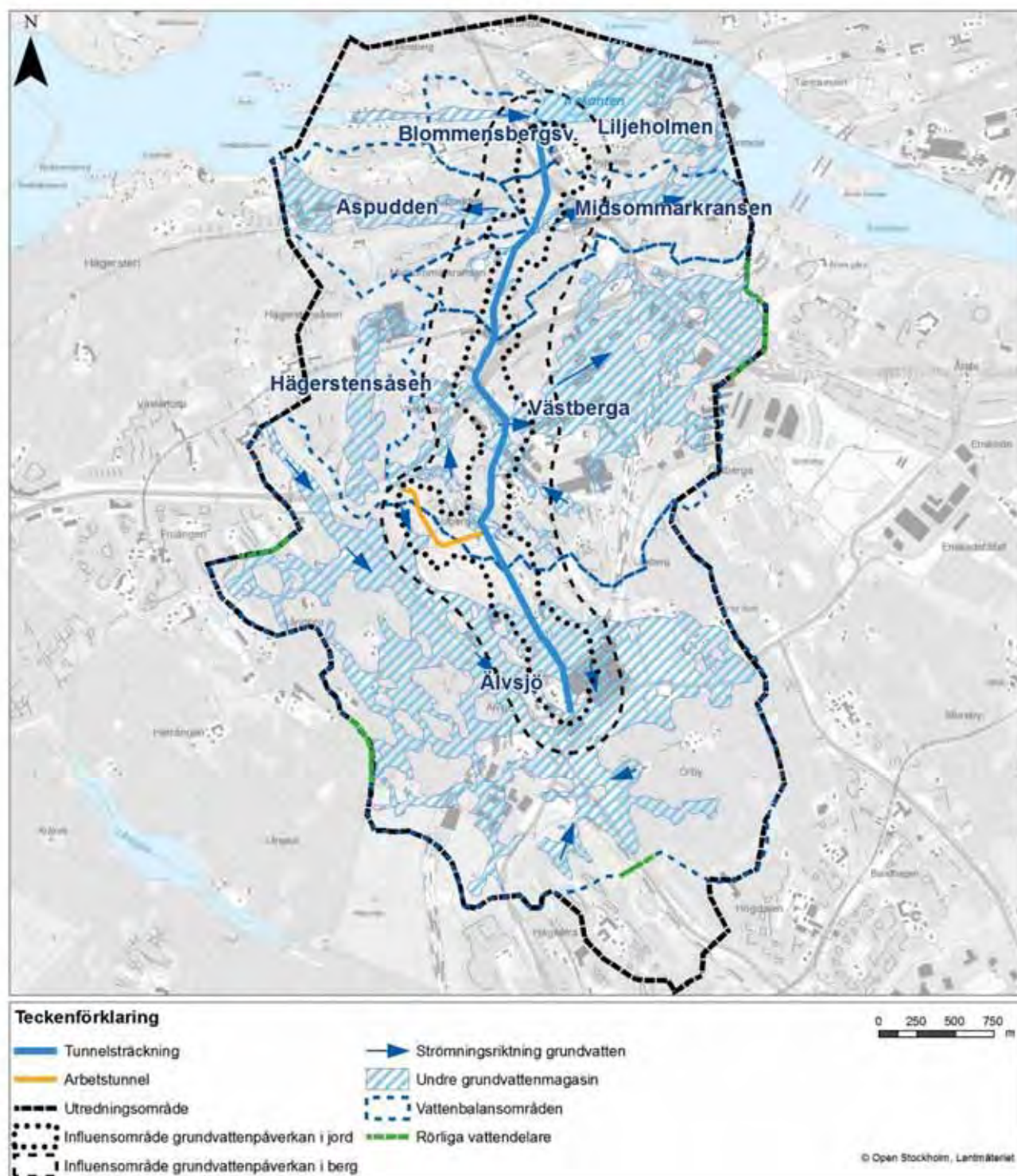
I fyra delområden finns mindre sträckor längs gränsdragningen med rörliga vattendelare. Här kan ett visst flöde ske över gränsen, dock i så liten omfattning att det inte har någon praktisk betydelse för vattenbalansberäkningen. Flödet in och ut vid dessa partier har uppskattats till 1 L/min eller mindre, vilket i sammanhanget är försumbart.

Utredningsområdet har indelats i sju vattenbalansområden, varav fem berörs av beräknat influensområde (influensområde i berg, se kapitel 5). Vattenbalansberäkningar har gjorts för de vattenbalansområden som berörs av beräknat influensområde.

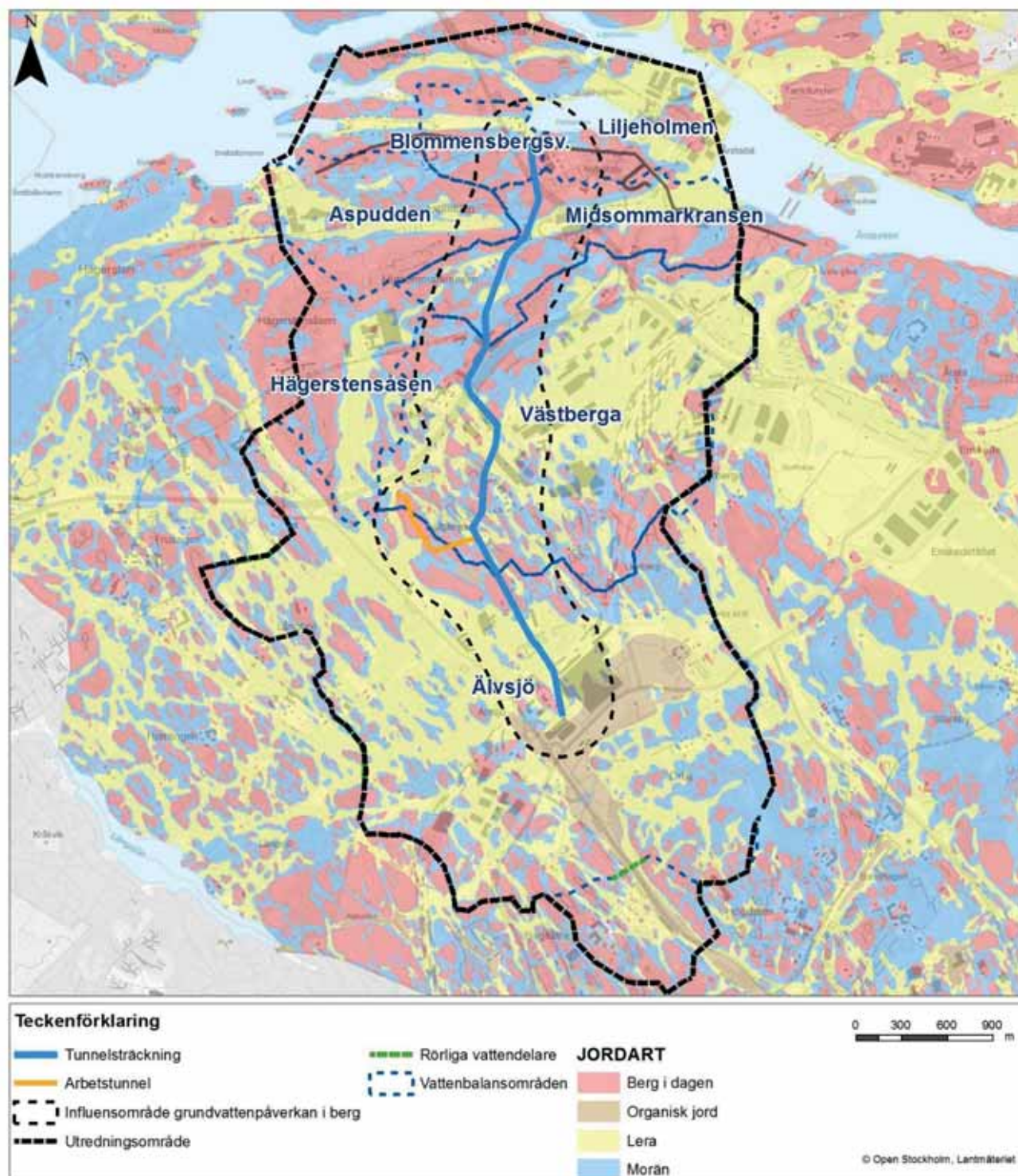
I tabell 2 redovisas de fem vattenbalansområdena inom vilka beräkningar gjorts från norr till söder och deras areor. I figur 12 visas vattenbalansområdenas utbredning och berörda grundvattenmagasin samt strömningsriktning och i figur 13 visas vattenbalansområdena tillsammans med jordartskartan.

Tabell 2. De fem vattenbalansområdena som ingår i vattenbalansberäkningarna, samt area.

Beteckning	Vattenbalansområde	Area (m ²)
1	Blommensbergsvägen	425 000
2	Aspudden	1 017 000
3	Midsommarkransen	1 186 000
4	Västberga	3 699 000
5	Älvsjö	6 311 000



Figur 12. Vattenbalansområden och undre grundvattenmagasin längs Mälsstunneln.



Figur 13. Vattenbalansområden och jordartskarta.

Då grundvattenströmning genom lera mellan övre och undre magasin i sammanhanget är mycket liten, uppskattningsvis cirka 5 mm/år, samt kan ske i båda riktningarna (upp eller ner) har vattenbalansberäkningarna antagit denna strömning till noll (försumbar i sammanhanget). Grundvattenströmningen till det undre magasinet har därmed antagits ske endast i områden där de ytliga jordarterna består av morän eller där hållmark förekommer, se figur 13 ovan för jordartskarta.

Att vattendelare förskjuts något som en effekt av avsänkningen från Mässtunneln bedöms vara försumbart för vattenbalansberäkningarna. Detta då förskjutningarna är förutsägbart små och berör korta sträckor inom ett fåtal områden

4.2 Klimatologisk vattenbalans

En klimatologisk vattenbalans har upprättats för att beskriva hur mycket vatten som rör sig genom området till följd av nederbörd. Den klimatologiska vattenbalansen säger att avrinningen (Q) är lika med skillnaden mellan nederbörd (P) och avdunstning (ET) enligt $Q=P-ET$. Avrinningen kan även betecknas nettonederbörd, P_n .

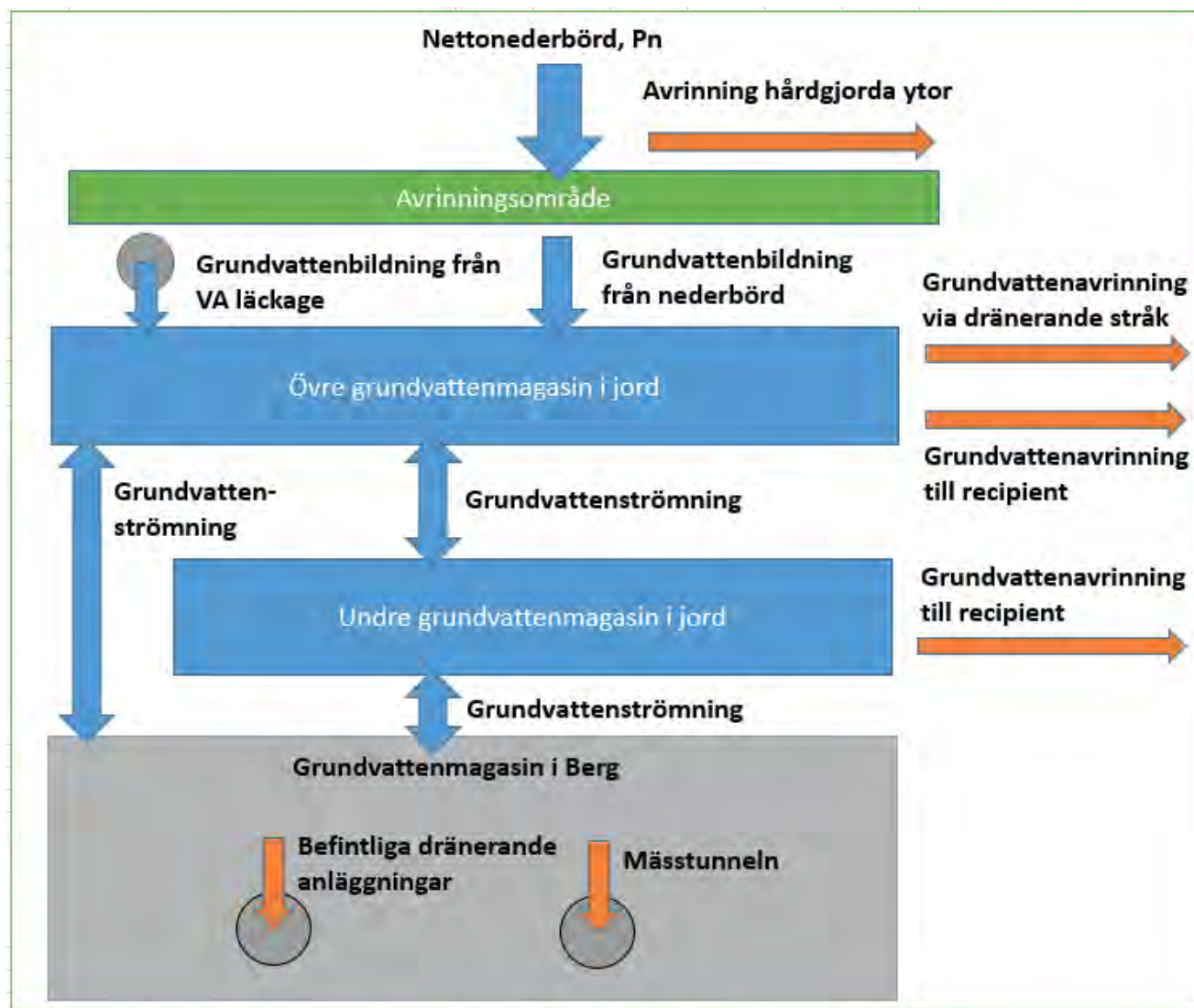
Den uppmätta nederbörden är i princip alltid mindre än den verkliga. Detta beror på vindförluster, vidhäftningsförluster, mätfel etc. SMHI har beräknat storleken på dessa mätfel varpå en korrigerad nederbörd (P_k) istället kan användas i vattenbalansberäkningen (SMHI, 2003). Avdunstningen är inte en parameter som mäts utan den blir en "restterm" i ekvationen. SMHI har en översiktlig kartering som kan visa på storleksordningen av avdunstningen. Avrinningen är bättre känd genom uppmätning av flöden från större avrinningsområden.

Den korrigerade nederbörden för vald representativ mätstation (station 9821) är enligt SMHI 592 mm/år för referensnormalperioden 1961-1990. Genom uppräknings till medelvärde för period 1991-2016 har värdet 605 mm/år valts som representativt för nuvarande förhållanden inom aktuellt område.

Avdunstningen uppges i SMHI:s översiktliga kartering till 400-500 mm/år och avrinningen till ca 190 mm/år. Den klimatologiska vattenbalansen kan därmed tecknas ($P_k-ET=P_n$): $605 - 415 = \underline{190 \text{ mm/år}}$ som en bästa uppskattning av nuvarande förhållanden. Nettonederbörden är den andel vatten som finns potentiellt tillgänglig för grundvattenbildning. Detta beskrivs närmare i nästföljande kapitel.

4.3 Grundvattnets vattenbalans

Vatten tillförs grundvattenmagasinen i jord och berg, dels som nybildning som beror på nettonederbörden och dels som grundvattenflöde från andra magasin, exempelvis vid strömning från ett övre till ett undre grundvattenmagasin. I urbana områden tillkommer även tillskott från otäta VA-ledningar. Bortledning av grundvatten sker direkt eller indirekt från samtliga grundvattenmagasin, övre (öppet) och undre magasin i jord samt magasin i berg. Bortledningen medför en lokal omfördelning av vattenströmning mellan magasin. I figur 14 redovisas en konceptuell bild av vattenbalansens olika delar.



Figur 14. Schematisk skiss av vattenbalans.

En vattenbalans för undre magasin i jord har upprättats inom de fem valda vattenbalansområdena. Det är denna del av vattenbalansen som är relevant för bedömning av grundvattenmagasinens känslighet för grundvattenbortledning till Mässtunneln. Strömning mellan övre-undre magasin inom lerområden har antagits vara försumbar, se kapitel 4.1. Således är det den areal där det öppna grundvattenmagasinet i jord ligger direkt på berg samt eller hållmark som utgör grund för uppskattning av grundvattenströmning till undre magasin i jord respektive berg.

Grundvattenbildning till berg kan principiellt endast förekomma där det finns en grundvattenyta som ligger nere i berg. I andra fall sker nybildningen till ett magasin i jord som täcker berget och därefter sker en grundvattenströmning till berg från detta övre magasin, se figur 14. Det är då huvudsakligen den hydrauliska gradienten som, tillsammans med vattengenomsläppligheten i jord och berg, bestämmer strömningens storlek.

På samma sätt betraktas grundvattenbildning till undre grundvattenmagasin. Läckage genom lera utgör normalt ett mycket litet tillskott till undre magasin. Likaså utgör läckage

genom berg till undre magasin vanligen ett mindre tillskott för magasin med måttlig areell utbredning. För stora magasinsutbredningar kan tillskottet via berg vara större. Strömning genom friktionsjord i randzoner mellan jord och berg utgör normalt det dominerande tillskottet. Dock är det den hydrauliska gradienten som, tillsammans med vattengenomsläppligheten, bestämmer tillskottets storlek. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet så ökar den hydrauliska gradienten och därmed grundvattenströmningen. Således ökar tillskottet till det undre magasinet från omgivande berg och övre magasin om trycknivån i det undre magasinet sänks.

Nybildningen av grundvatten i den urbana miljön påverkas normalt inte av trycksänkningar då denna är knuten till storlek på nederbörd, infiltrationskapacitet knuten till hårdgörningsgrad samt läckage från VA-system.

Att väsentliga delar av nybildat grundvatten i övre magasin bortförs av dräneringssystem och att denna andel dräneringsvatten minskar om den andel som tillförs grundvattenmagasin i berg eller undre magasin i jord ökar är även givet. Dräneringssystem kan tex vara husdränering, vägdränering, avloppsledningsnät och andra dränerande stråk.

4.4 Indata

Som det visats i flera studier (exempelvis i projekt Västlänken) så begränsar jordarterna i obetydlig grad nybildningen av grundvatten i urban miljö. Kalt bergs beskaffenhet, sprickfrekvens och lutningsförhållanden kan dock göra det. Ofta medför det att det uppkommer lokal tillfällig ytaavrinning på berget och det avrunna vattnet infiltrerar istället nedanför bergblotningen. Inom aktuellt område är andel kalt berg i dagen sparsamt förekommande. Vanligen är berget till stor del täckt av hårdgjorda ytor som då ofta är mer styrande (tätare) är det underliggande berget.

I den urbana miljön begränsar hårdgjorda ytor till stor del infiltrationen och en betydande del av nederbörden avgår som dagvatten utan att ha infiltrerat i marken. Andelen hårdgjorda ytor varierar inom urbana miljöer t.ex. har industriområden betydligt större andel hårdgjorda ytor än bostadsområden.

4.4.1 Grundvattenbildning

Nybildning av grundvatten i den urbana miljön kan översiktligt indelas i nybildning via nederbördsinfiltration samt tillskott från läckande VA-system, i huvudsak trycksatta dricksvattenledningar.

För att kunna uppskatta hur mycket av nederbörden som kan infiltrera i marken och bilda grundvatten i den urbana miljön har utredningsområdet delats in i fyra olika typområden; högurbana områden, medelurbana områden, lågurbana områden och grönområden. Högurbana områden innefattar industriområden eller kommersiella områden där ytan till stor del består av asfalt eller takytor. Medelurbana områden är tätbebyggda bostadsområden

med större parkeringsplatser och lågurbana områden villaområden. Grönområden är parker eller skogsområden.

För varje typområde har ett mindre område valts ut och en arealberäkning har gjorts för fyra olika kategorier av ytor; takytor, asfalterade ytor, grönytor och övriga ytor (plattsättning, grusade ytor och liknande). Areorna har sedan räknats om till en procentandel av typområdets area. För varje yta har en uppskattning gjorts av grundvattenbildning via nederbörd. Uppskattningen utgår ifrån nettonederbörden om 190 mm/år. För takytor har grundvattenbildningen uppskattas till 0 mm/år, asfalt 70 mm/år, grönytor 190 mm/år och övriga ytor 90 mm/år.

Medelläckage från VA-ledningar som använts i beräkningarna är 85 mm/år. Medelläckaget har beräknats utifrån data från Stockholm Vatten över dricksvattenproduktion, dricksvattenförsäljning [6] och avloppsreningsverkens upptagningsområde [7], vilket antas vara ungefär detsamma som dricksvattenförsörjningsområdet. Tillskott antas gälla för områden med bebyggelse [8], [9]. I grönområden har läckaget därför satts till noll. För lågurbana områden med fler serviser som kan läcka antas läckaget vara något högre än medeltalet och för högurbana områden med färre serviser antas läckaget vara något lägre.

Den beräknade sammantagna grundvattenbildningen redovisas i tabell 3 nedan.

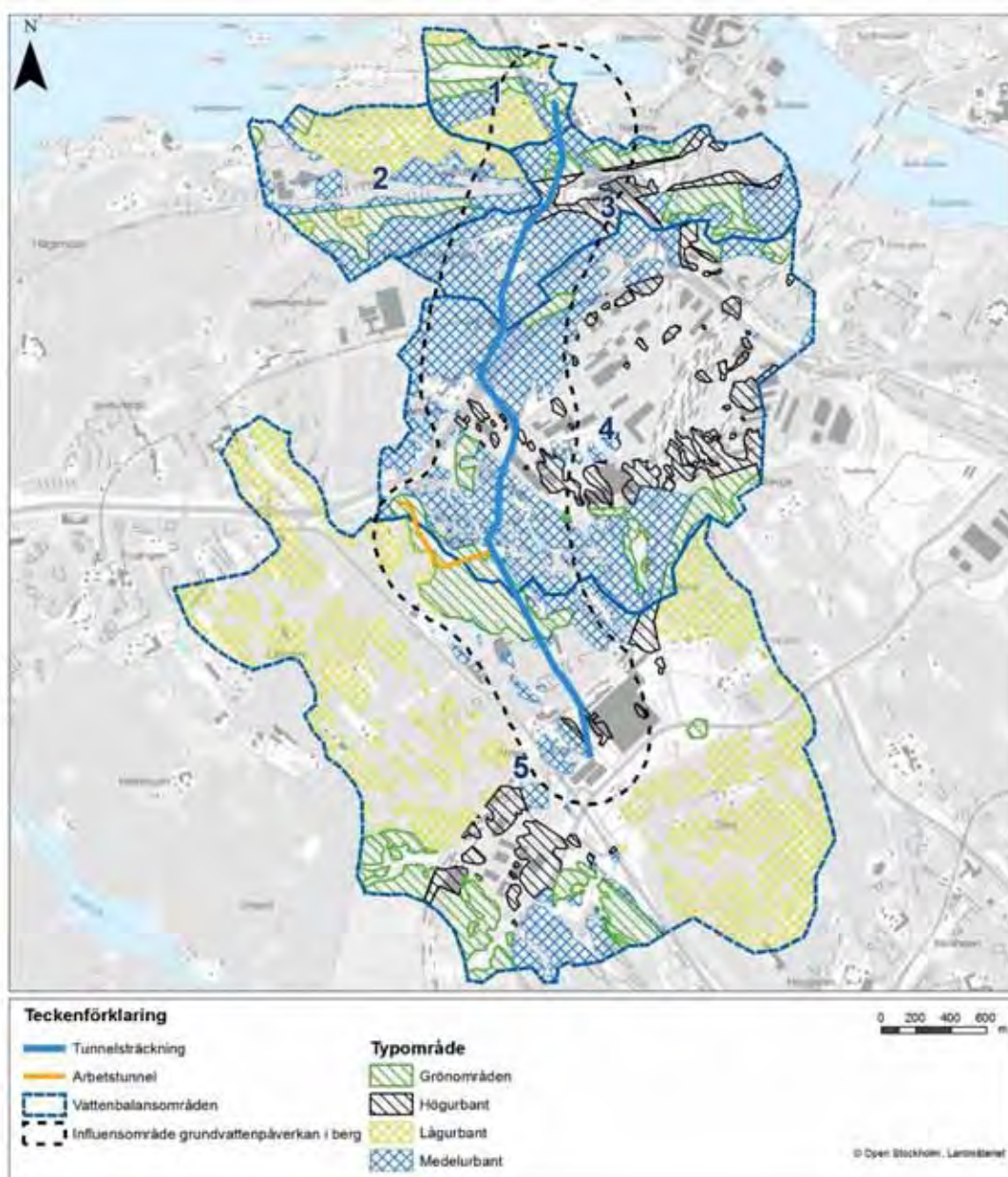
Tabell 3. Sammanställning olika ytors bidrag till grundvattenbildning (W), andel yta inom de olika typområdena samt den totala grundvattenbildningen per år för varje typområde.

Ytor	Typområde: <i>W [mm/år]</i>	Hög- urbant	Medel- urbant	Låg- urbant	Naturmark
Takytor	0	30%	22%	18%	
Asfalt	70	60%	38%	18%	
Grönytor	190	7%	37%	62%	100%
Övriga ytor	90	3%	3%	2%	
		<i>mm/år</i>	<i>mm/år</i>	<i>mm/år</i>	<i>mm/år</i>
Grundvattenbildning från nederbörd		60	100	140	190
Grundvattenbildning från VA-läckage		70	85	95	0
Grundvattenbildning totalt		130	185	230	190

I tabell 4 visas en sammanställande fördelning av typområdesytor inom vilka grundvattenströmning till undre magasin bedöms ske jämte total areal för dessa områden. Typområdenas geografiska läge och utbredning redovisas i figur 15.

Tabell 4. Sammanställning av typområdesfördelning (m²) inom ytor där grundvattenströmning till undre magasin kan ske.

Vattenbalans- område	Blommen- bergsvägen	Aspudden	Midsommar- kransen	Västberga	Älvsjö
Högurbant	6 386	0	160 461	312 612	225 646
Medelurbant	91 370	294 317	617 856	123 5196	349 315
Lågurbant	136 609	324 734	0	0	1 688 516
Grönområden	129 297	132 538	145 092	271 055	525 173
Totalt	363 662	751 589	923 409	1 818 863	2 788 650



Figur 15. Typområden inom de olika vattenbalansområdena.

4.4.2 Dränerande anläggningar

En sammanställning har gjorts av befintliga undermarksanläggningar i berg och jord som kan påverka grundvattenförhållandena inom utredningsområdet. Där uppgifter om inläckage till befintliga tunnlar saknas har detta uppskattats utifrån uppmätt inläckage i andra tunnlar i Stockholmsområdet som ligger inom samma hydrogeologiska domän och samma bergdomän, vilket i medeltal är ca 5 l/min/100 m tunnel. En differentiering har sedan gjorts utifrån tunnelns medelnivå i förhållande till grundvattennivån. För djupare liggande tunnlar har inläckaget justerats upp till 6 l/min/100 m och för ytligare liggande tunnlar ner till 4 l/min/100 m. Ytterligheter har därmed inte tagits med utan inläckaget ligger fortfarande inom ett spann av vanligt förekommande inläckage till tunnlar där mätningar gjorts.

I vattenbalansberäkningarna ingår följande:

Vattenbalansområde Blommenbergsvägen:

- Årstadal-Eolshällstunneln. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.
- SFA-tunnel ej byggd. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 6 l/min och 100 meter tunnel [11].

Vattenbalansområde Aspudden:

- Tunnelbanans röda linje 13 mot Norsborg. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 4 l/min och 100 meter tunnel.
- Årstadal-Eolshällstunneln. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.

Vattenbalansområde Midsommarkransen:

- Tunnelbanans röda linje 14 mot Fruängen. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.
- Tunnel okänt namn ca 130 m genom bergsknalle (antas ytlig). För beräkningarna antas ett medelinläckage på 2 l/min och 100 m tunnel
- Tunnelbanans röda linje 13 mot Norsborg. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.
- SFA-tunnel ej byggd. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel [11].

Vattenbalansområde Västberga:

- Västberga-Årstadalstunneln. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.
- Årstafältet-Årstavikentunneln. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.

- Tunnel okänt namn genom bergsknalle ca 90 m (antas ytlig) För beräkningarna antas ett medelinläckage på 2 l/min och 100 m tunnel

Vattenbalansområde Älvsjö:

- Älvsjö-Mälartunneln. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.
- Älvsjö-Mälartunneln, arbetstunnel. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 2 l/min och 100 meter tunnel.
- Älvsjö-Enskedetunneln. För beräkningarna antas ett medelinläckage på 5 l/min och 100 meter tunnel.

Dräneringen till Mässtunneln:

Dräneringen till Mässtunneln utgår från beräkningarna i kapitel 3, som ger ett medelinläckage på 7,0 L/min och 100 meter anläggning.

4.4.3 Dränerande stråk

Grundvattenavrinning via dränerande stråk inom berg och moränområden har utifrån topografi och jorddjup uppskattats inom varje vattenbalansområde. De dränerande stråken har identifierats genom att studera ortofoton och kunskap om vilka typer av anläggningar som generellt är dränerande.

4.5 Beräkning av vattenbalans mot beräknat inläckage

Grundvattenbildningen varierar under året men också från år till år vilket påverkar inläckaget till tunneln. För att underlätta beräkningarna är de utförda för vattenomsättningen under ett genomsnittligt år. Grundvattenbildningen har sedan jämförts med beräknat inläckage till befintliga undermarksanläggningar, Mässtunneln samt SFA-tunneln.

Det ska beaktas att det vid en grundvattensänkning, t ex genom grundvattenbortledning från ett undre magasin, normalt sker ett ökat tillskott av grundvatten till magasinet. Tillskottet kommer vanligen från en ökad strömning från övre magasin och även (oftast till mindre del) genom ökad strömning från underliggande berg. En annan effekt av trycksänkning i ett undre magasin är att utflödet av grundvatten från magasinet kan minska. Ovanstående principer är även giltiga för grundvattenmagasin i berg. För övre grundvattenmagasin i urban miljö medför en grundvattensänkning oftast att andel ytligt grundvatten som avgår till dränerande stråk minskar. Samma effekt är även giltig för dränerande konstruktioner i djupare magasin, d v s att en trycksänkning i anslutning till sådana konstruktioner medför att grundvattenbortledningen (inläckaget) till dessa minskar. En avsänkning av grundvattenytans läge, där denna ligger relativt ytligt och därmed kan vara styrd av dränerande stråk, kan enligt resonemang ovan ses som att "grundvattenbildningen" till magasinet ökar, även om det i egentlig mening snarare är att utdräneringen av grundvatten

minskar. Vad gäller läckande, ej trycksatta, VA-ledningar, kan en grundvattensänkning dock leda till ökad grundvattenbildning i den mån att utläckage, där läckagepunkten ligger ovan eller nära grundvattenytan, kan öka vid en grundvattensänkning. Ett inläckage till en otät VA-ledning kan även omvandlas till ett utläckage från densamma. Det är därför av betydelse att beakta att det för magasin där nivån till större eller mindre del styrs av befintliga dränerande konstruktioner finns en viss "buffert" vid en måttligt ökad grundvattenbortledning. Denna buffert utgörs av det grundvatten som dräneras till befintliga konstruktioner och denna buffert minskar effekten (nivåsänkningen) av en ökad grundvattenbortledning. Den tillgängliga mängden vatten att omfördela genom minskad dränering till olika befintliga anläggningar eller ändrat läckage från VA-ledningar är svår att bestämma. Vattenbalansen visar dock hur stor del av tillgängligt vatten som bortleds samt resulterar i en bedömning om grundvattenmagasinens känslighet för vattenbalansförändringar som bland annat kan orsakas av grundvattenbortledning till Mässtunnelns undermarksanläggningar.

Sammanfattningsvis innebär en grundvattennivåsenkning en omfördelning av vatten inom systemet. Tillrinningen från ovanliggande och angränsande magasin till det avsänkta magasinet ökar, även tillskottet från VA-ledningar ökar medan avrinningen minskar. För det fall där den tillgängliga mängden vatten att omfördela är begränsad sänks grundvattennivån tills avledningen minskat så att balans åter råder.

I tabell 5 redovisas resultat av beräkningarna av vattenbalansen innan etablering av Mässtunneln och SFA-tunneln och i tabell 6 redovisas resultat av beräkningarna av vattenbalansen efter etablering av Mässtunneln och SFA-tunneln.

Tabell 5. Vattenbalansberäkningar för området, innan etablering av Mässtunneln och SFA.

Vattenbalansområde	Blommen- bergsvägen	Aspudden	Midsommar- kransen	Västberga	Älvsjö
Grundvattenbildning (l/min)	140	294	310	610	1107
Dränerande stråk (l/min)	2	2	1	4	3
Befintlig dränering berg (l/min)	11	63	106	36	254
Flöde ut ur systemet (l/min)	127	229	203	570	851
Andel av grundvattenbildning som bortleds via befintlig dränering	9 %	22 %	35 %	7 %	23 %

Tabell 6. Vattenbalansberäkningar för området, efter etablering av Mässtunneln och SFA.

Vattenbalansområde	Blommen- bergsvägen	Aspudden	Midsommar- kransen	Västberga	Älvsjö
Grundvattenbildning (l/min)	140	294	310	610	1107
Befintlig dränering (l/min)	17	65	107	40	257
Dränering SFA (l/min)	50	0	47	0	0
Dränering Mässtunneln (l/min)	17	0	101	145	87
Flöde ut ur systemet (l/min)	59	229	55	425	763
Andel av grundvattenbildning som bortleds till Mässtunneln	12 %	0 %	33 %	24 %	8 %
Andel av grundvattenbildning som bortleds via dränerande anläggningar i berg totalt	58 %	22 %	82 %	30 %	31 %

Resultatet av vattenbalansberäkningarna visar att beräknat inläckage till Mässtunneln endast utgör en mindre del av den beräknade grundvattentillgången i undre magasin i jord inom respektive vattenbalansområde. Procentuellt är inläckaget som störst inom vattenbalansområde Midsommarkransen. Här beräknas ca 33 % grundvattentillgången i undre magasin i jord komma att bortledas till Mässtunneln. Vattenbalansberäkningarna visar att vissa delområden kan vara mer känsliga för vattenbalansförändringar då en stor andel tillgängligt grundvatten redan dräneras bort genom befintliga dränerande anläggningar i berg.

Grundvattenmagasinen inom vattenbalansområde Midsommarkransen bedöms som känsliga för vattenbalansförändringar då grundvattenbildningen begränsas av att tillrinningsområdet är litet och den del av tillrinningsområdets yta där grundvattenbildning kan ske till stor del består av högurbant område. Det finns redan många dränerande anläggningar inom området och midsommarkransen är ett av de två vattenbalansområden där vattenbalansen kommer att påverkas av både Mässtunneln och SFA-tunneln. När båda tunnarna är byggda beräknas ca 80 % av grundvattentillgången i undre magasin i jord dräneras bort till undermarksanläggningar i berg. Det andra området som kommer att påverkas av båda tunnarna är Blommensbergsvägen, där det beräknas att ca 60 % av grundvattentillgången i undre magasin i jord kommer att dräneras bort av undermarksanläggningar i berg.

5. Influensområde

5.1 Definition

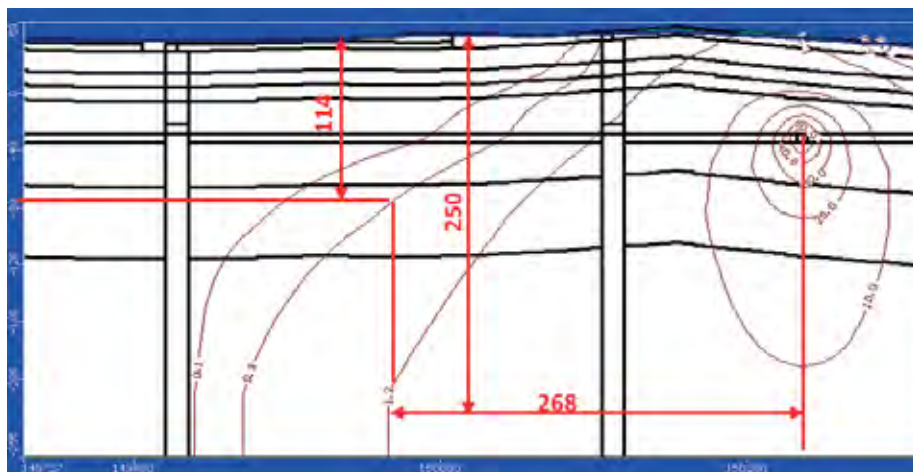
Influensområde definieras här som det område inom vilket praktisk påverkan på grundvattenförhållanden kan förutses kunna komma att uppstå som följd av planerad vattenverksamhet.

Som gräns för praktisk påverkan antas en grundvattensänkning om 0,3 m (R_{03}).

Grundvattensänkning, eller snarare avsänkning av grundvattentrycket, är tredimensionell och kommer principiellt att ha större utbredning mot djupet (djupt nere i berget) än ytligt (i jord eller ytligt berg).

För avgränsning av ett praktiskt influensområde för ytligt grundvatten (i jord), används konservativt en beräknad trycksänkning i ytligt berg. Detta då det är osäkert hur den hydrauliska kontakten mellan jord och berg är beskaffad i varje given punkt. Om den är god kan trycksänkningen i jord få i princip samma utsträckning som trycksänkningen i ytligt berg. Är kontakten mindre god kommer trycksänkning i jord att bli mindre än trycksänkningen i ytligt berg.

För avgränsning av ett praktiskt influensområde för trycksänkning i (djupt) berg används här en betraktelse som utgår från risk för påverkan på vattennivån inne i en bergborrad brunn. Som gräns för försumbar påverkan har antagits en avsänkning inne i brunnen om 0,3 m. Vidare beaktas att en djupborrad brunn har kontakt med ytligt (mer konduktivt) berg såväl som djupare (mindre konduktivt) berg. Generellt kommer trycknivån i det mest konduktiva berget vara styrande för nivån inne i brunnen. Med beaktande av att en viss trycksänkning i djupt (mindre konduktivt) berg därmed inte kommer att motsvara samma avsänkning inne i en brunn har det bedömts att risk för icke försumbar avsänkning inne i brunn kan motsvaras av 0,25 x teoretisk trycksänkning i berg på 250 m djup. Valet 250 m har gjorts då det är mycket få brunnar som når djupare. Genom studie av relationen för icke försumbar trycksänkning på 250 m djup ($0,3/0,25 = 1,2$ meter) och på vilken yligare nivå denna trycksänkning i berg kan beräknas motsvara 0,3 meter, har ett djup om 115 meter beräknats. Principen för betraktelsen framgår av figur 16.



Figur 16. Princip för översättning av teoretisk trycksänkning om 1,2 m på 250 m djup till $R_{0.3}$ för trycksänkning i "djupt berg".

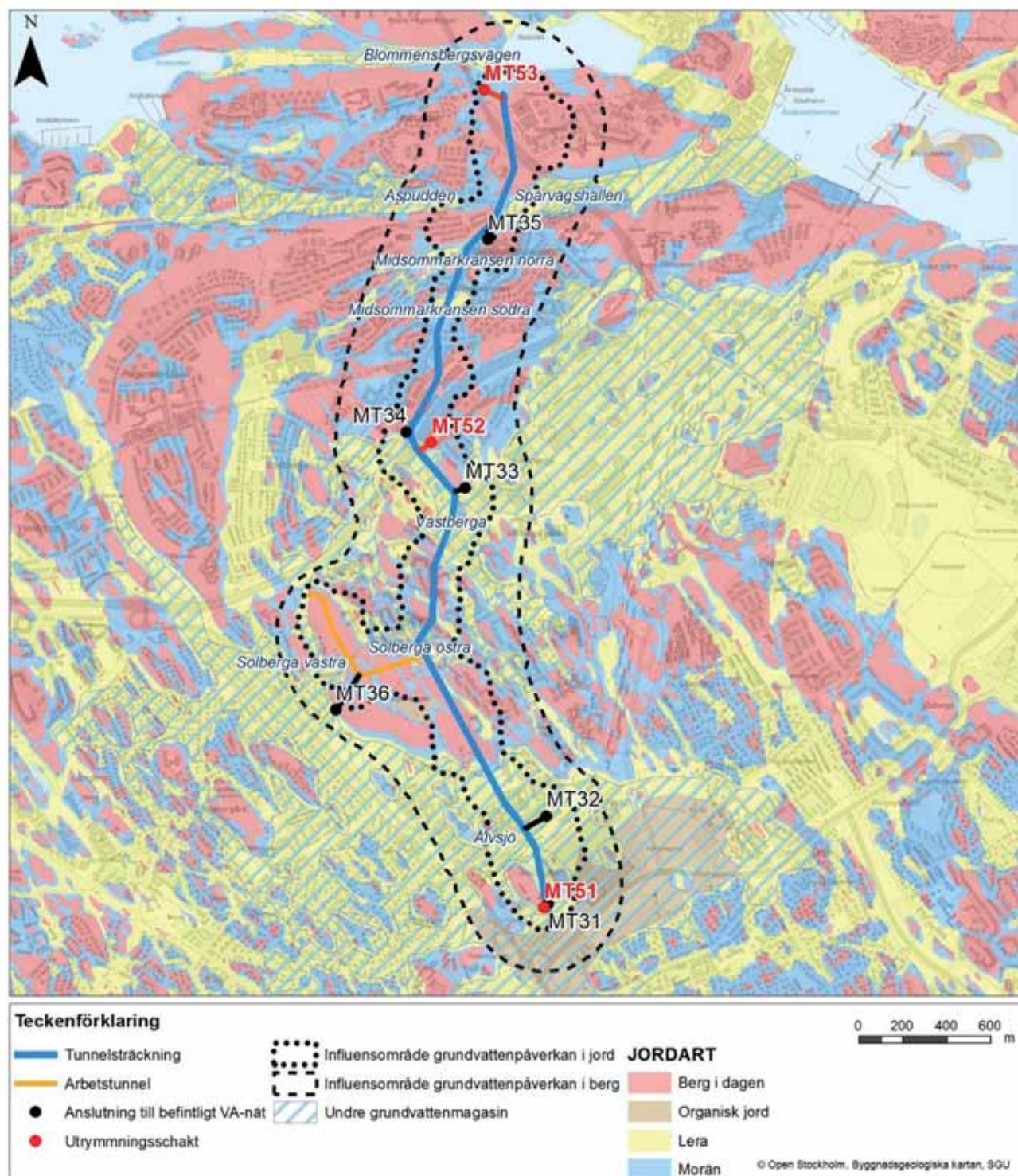
5.2 Beräknad utbredning

Som beskrivits i kapitel 5.1 definieras gräns för praktiskt influensområde en beräknad trycksänkning om 0,3 m. Samma definition hålls för grundvatten i jord och berg. Med avseende på trycksänkningens tredimensionella natur kommer två gränser att redovisas; dels ett influensområde för grundvatten i jord och dels ett för grundvatten i berg.

Influensområde för jordgrundvatten ska tolkas som att det inom detta område förutses finnas risk för förändring av grundvattenförhållanden i sådan utsträckning att det *kan* påverka brunnar, sättningskänslig mark och grundvattenberoende ekosystem.

Influensområde för berggrundvatten ska tolkas som att det inom detta område förutses finnas risk för förändring av grundvattenförhållanden i sådan utsträckning att det *kan* påverka brunnar.

Beräknad utbredning för influensområden framgår av figur 17.



Figur 17. Influensområdet med 0,3 m avsänkning i jord och berg.

Referenser

- [1] Ericsson, L-O.et al. Storregional grundvattenmodellering – fördjupad analys av flödesförhållanden i östra Småland. Jämförelse av olika konceptuella beskrivningar. Svensk Kärnbränslehantering AB. 2006. Rapport R-06-64.
- [2] Gustafson G. 2009. Hydrogeologi för bergbyggare. Forskningsrådet Formas T2:2009.
- [3] Naturvårdsverket 1997. Grundvattenströmning i kristallint berg. Rapport 4818.
- [4] Ryd, E. 2017. Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg. Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten och landskapslära, Uppsala universitet.
- [5] Svensk Kärnbränslehantering AB. 2000. Förstudie Östhammar. Slutrapport. Rapport R-00-24.
- [6] Stockholm Vatten VA AB 2011. Basfakta.
<http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf1/rapporter/svoa/basfakta-va-2011.pdf>
- [7] Stockholm Vatten VA AB 2016. Miljörapport 2016, Verksamhetsåret 2016, För avloppsverksamheten inom Stockholm Vatten och Avfall, Diarienummer 17SV262.
<http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/kemikalier/SVOA%20miljorapport-2016.pdf>
- [8] Stockholm Vatten och Avfall 2016. Verksamheten 2016.
http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf1/rapporter/svoa/svoa_ar16_a4_ok.pdf
- [9] Stockholm Stad 2015. Dagvattenstrategi Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering, Antagen av kommunfullmäktige 2015-03-09,
http://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/vp/Stockholms_dagvattenstrategi_2015-03-09.pdf
- [10] Ulf Lundblad Jonas Backö 2012. Undersökningsmetoder för att hitta källorna till tillskottsvatten, Rapport Nr 2012–13, http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2012-13.pdf
- [11] Stockholm Vatten VA AB 2015. Stockholms Framtida Avloppsrening, Bilaga F5. Hydrogeologiska beräkningar

Bilaga 1 Modellbeskrivning

Innehåll

1	Storskalig modell	2
1.1	Mjukvara.....	2
1.1	Avgränsning och geometri.....	2
1.2	Hydrauliska parametrar	3
1.3	Nybildning av grundvatten.....	4
2	Lokalmodeller	5

1 Storskalig modell

1.1 Mjukvara

En storskalig numerisk grundvattenmodell har byggts upp i programmet Visual Modflow (VMF).

VMF bygger på finita differenskode MODFLOW (Harbaugh & McDonald 1988) som simulerar grundvattenflöde i tre dimensioner. Koden är en av den mest spridda och allmänt accepterade koderna för numerisk modellering av grundvattenflöden.

Mer information kan fås från exempelvis Waterloo Hydrogeologic på Internetadress <https://www.waterloohydrogeologic.com/>.

1.1 Avgränsning och geometri

För modellavgränsning har en avgränsning gjorts av det hydrauliska system som bedöms kunna påverkas av planerad vattenverksamhet.

Den hydrauliska avgränsningen baseras huvudsakligen på randvillkor som på goda grunder kan ses som "säkra" vad avser flöde. Där det stått att finna har därför topografiskt betingade vattendelare använts i möjligaste utsträckning. Detta avser då vattendelare inom höjdområden dominerade av tunna moränjordar på berg eller berghällar. Där sådana säkra randvillkor inte stått att finna inom rimligt avstånd från planerad anläggning har randvillkor ansatts som tillåter flöde över gränsen.

Generellt har randvillkor ansatts på sådant avstånd från planerade anläggningar att dessa inte ska kunna påverka eller påverkas av de förändringar som görs i modellens fokusområde, d v s centralt i modellen vi planerade anläggningar.

Modellgränserna följer avgränsningen av det hydrauliska systemet enligt ovan och omfattar en areal om ca 16 km². Djupet i modellen är 300 m. Området har indelats i ett rutnät (grid) med en cellstorlek om 7,5 x 10 m inom modellens fokusområde och perifert upp till 7,5 x 30 m.

Modellen har 13 beräkningslager för att kunna representera de olika jordlagren samt underliggande berg. Vad avser simulering av grundvatten i jord har fokus legat på representation av undre magasin i friktionsjord under lera. Diskretisering av berget i



Figur 1. Avgränsning av aktuellt hydrauliskt system, tillika modellavgränsning.

No Flow = gräns över vilken inget flöde går.

GHB = General Head = gräns över vilken vatten kan tillåtas flöda.

ett stort antal beräkningslager har gjorts för att i modellen kunna representera djupavtagande konduktivitet.

1.2 Hydrauliska parametrar

Ansatta hydrauliska parametrar speglar det geologiska material som simuleras i den numeriska modellen. De parametrar som är av huvudsakligt intresse är horisontell och vertikal hydraulisk konduktivitet (K_h , K_v), medan magasincoefficients (S_y , S_s) endast krävs för transienta studier. Här har endast stationära bräkningar erfordrats.

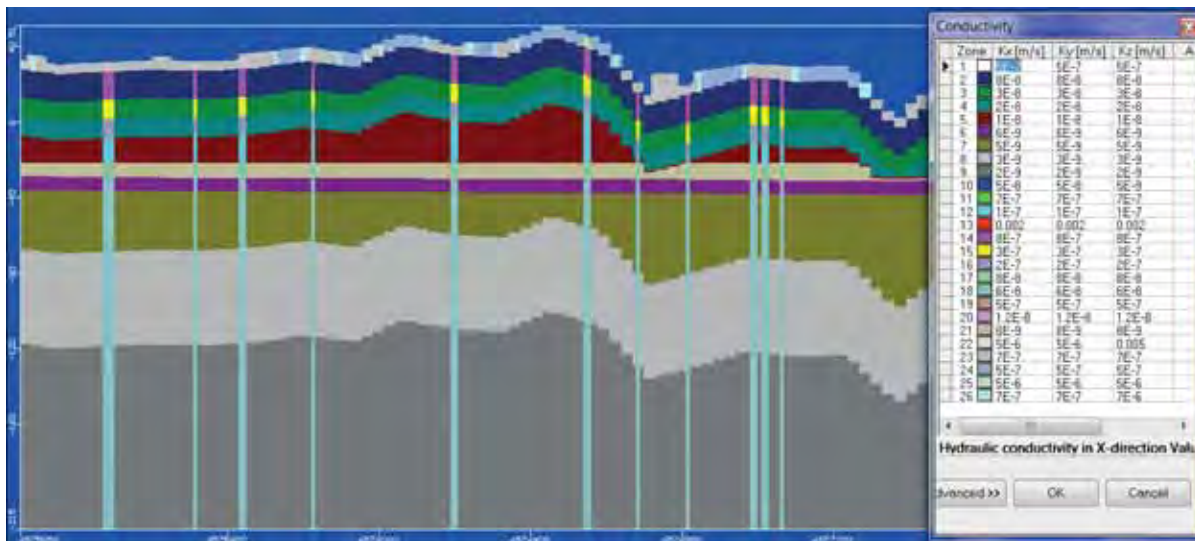
Fördelning i plan för jordlager (beräkningslager 1 och 2) följer i stort den byggnadsgeologiska kartan avseende jordartsindelning jämte tolkning av var undre magasin under lera bedöms förekomma. Kring berghöjder har en särskild övergångszon ansatts för att i modellen kunna simulera en accentuerad strömning från övre magasin till undre magasin inom dessa randzoner.

Lager	Öppet mag	Undre mag	K_h [m/s]	K_v [m/s]
L1	Morän	Lera	5E-08	5E-09
L2		Morän	7E-07	7E-07
L3	Berg			
L4				
L5				
L6				
L7				
L8				
L9				
L10				
L11				
L12				
L13				
	Randzon		7E-07	7E-06

figur 2. Konceptuell modell över jord och berg.

Typiska värden på ansatta hydrauliska egenskaper framgår av figur 2. För berg har antagits successivt tätare berg mot djupet.

Svaghetszoner i berg har simulerats som stråk med högre konduktivitet, 10 ggr högre än omgivande berg. Dessa med konduktiva zoner har antagits sammanfalla med strukturer från SGU:s berggrundskarta samt byggnadsgeologiska kartan. Av modelleringstekniska skäl simuleras zonerna som vertikala, vilket inte behöver överensstämma med verkliga förhållanden. Konceptuellt är det dock viktigt att få med sig de mer vattenförande zonerna i berget i modellen även om deras faktiska läge i rummet är osäkert.



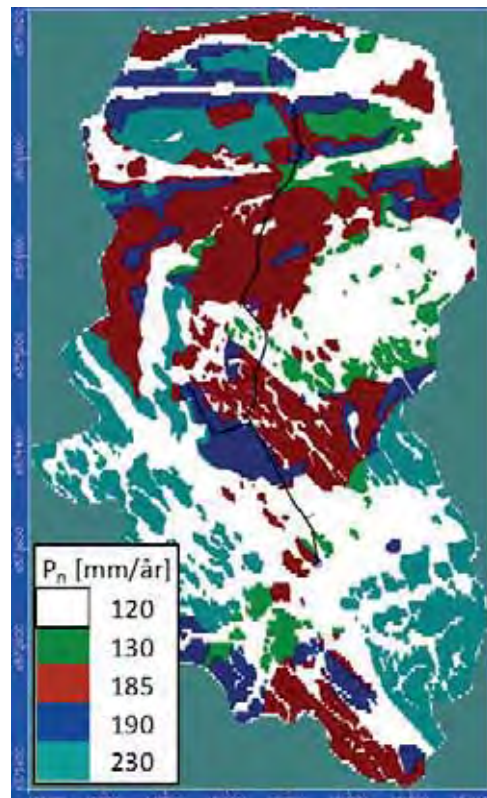
Figur 3. Sektion genom modellen utvisande princip för ansättande av högkonduktiva zoner i berget, representerande antagna mer vattenförande strukturer.

Där tunneln passerar berg med högre konduktivitet än $2E-8$ m/s har kring tunneln ansatts en tätare zon som simulerar injektering av berget. Denna tätare zon representerar en tjocklek om 4 m med $K_i=2E-8$ m/s.

1.3 Nybildning av grundvatten

Nybildning av grundvatten har simulerats genom ansättande av nettonederbörd till modellens översta beräkningslager.

Fördelning av nybildningen har baserats på underlag från genomförda vattenbalansberäkningar, där en bästa bedömning av nybildningens storlek har gjorts baserat på klimatologisk vattenbalans, markanvändning och läckage från VA-system. Ansatta zoner framgår av figur 4.



figur 4. Ansatta nybildningszoner i upprättad numerisk modell. (Notera att inaktiva delar av modellen här råkar ha samma färg som zon för 230 mm/år).

2 Lokalm modeller

För beräkning av inläckage till vertikalschakter har lokala numeriska grundvattenmodeller upprättats. Dessa modeller har en betydligt högre diskretisering i horisontal och vertikalled än den storskaliga modellen, i plan ner till 0,5 m nära schakter och upp till 4 m perifert.

Syftet med dessa lokalm modeller har varit att prediktera inläckage till vertikalschakter, vilket därefter kunnat ansättas motsvarande (mer storskaliga schakter) i den storskaliga modellen för simulering av påverkan på grundvattenförhållanden (avsänkning) vid sådan grundvattenbortledning.

Parametrar (hydraulisk konduktivitet och ansatt nettonederbörd) för dessa lokalm modeller följer i allt väsentligt de som beskrivits för den storskaliga modellen. För nybildning har generellt antagit $P_n=120$ mm/år för dessa lokalm modeller.

Det ytliga berget, ner till ca 20 m, har antagits vara injekterat kring vertikalschakterna ($t=5$ m med $K_i=2E-8$ m/s).

Det har noterats att inläckage till simulerade vertikalschakter i den storskaliga modellen, jämfört med lokalm modeller, tenderar att bli något mindre. Särskilt för vertikalschakter som ligger nära huvudtunneln. Detta har accepterats och tolkats bero på att den finns en större "konkurrens" om tillgängligt grundvatten i den storskaliga modellen som beaktar alla anläggningsdelar. Således kommer inläckage till huvudtunnel och nischer att skapa en viss trycksänkning inom område för vertikalschakter, varpå storlek på trycksänkning vid dessa blir mindre i den storskaliga modellen än i lokalm modellerna och inläckaget följaktligen något mindre.