

Namn	Dokumenttitel Bilaga G5 PM Sättningar	Version 2.0
Författare Mattias Lindgren	Ansvarig Tomas Hård	Datum 2020-03-19
Projektnamn Nya Östbergatunneln	Projektnummer 410498	Diarienummer 18MB1337



Nya Östbergatunneln

Bilaga G5 PM Sättningar Tillståndsansökan Nya Östbergatunneln

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
1.0	2020-02-07	För granskning
2.0	2020-03-19	Gällande

Sammanfattning

Denna PM beskriver översiktligt markförhållanden och jordlagerförhållanden längs med inventeringsområdet för planerad Nya Östbergatunneln. 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	Marksättningsars utbildande	7
2.3	Beteckningar och höjdsystem	8
3.	Beräkningsförutsättningar	9
3.1	Beräkningsgång och programvara	9
3.2	Grundvatten och portryck.....	9
3.3	Jordlagerförhållanden	9
3.4	Redovisning.....	11
4.	Resultat	12
4.1	Henriksdal	13
4.2	Sickla udde.....	19
4.3	Sickla kanal norra	25
4.4	Hammarby sjöstad	29
5.	Sammanfattning av beräkningar	33
6.	Referenser.....	34

Bilagor

Bilaga	Titel
1	Översigtskarta med provtagningspunkternas placering och grundvattenrör

1. Inledning och syfte

Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) planerar att bygga en ny dagvattentunnel, benämnd Nya Östbergatunneln, från SVOA's Sicklaanläggning vid Hammarbybacken till Saltsjön vid Finnboda. Nya Östbergatunneln blir en förlängning på dagvattentunneln från Östberga. Syftet med Nya Östbergatunneln är att den ska ta hand om dagvatten från Enskedefältet och Björkhagen.

Inför byggnation av Nya Östbergatunneln 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 av den nya tunneln. Detta görs huvudsakligen genom teoretiskt beräknade sättningar orsakade av antagna förändrade grundvattentryck inom influensområdet för grundvatten.

Nya Östbergatunneln planeras byggas under en tidsperiod om som längst 5 år och under byggtiden finns risk att grundvattenbortledning kan ske. När dagvattentunneln är i drift förväntas den vara konstant fylld med vatten och ingen grundvattenbortledning sker. Tunneln planeras att vart ca 5:e år tömmas för rengöring vilket pågår under ca 1 månads tid.

Sättningar kan uppstå vid grundvattennivåsänkning på grund av grundvattenbortledning i byggskedet. När tunneln är färdigbyggd och ingen grundvattenbortledning sker bedöms att grundvattennivån i jorden inom en kort tidsperiod återgår till samma nivå som innan byggnationen påbörjades.

2. Allmänna förutsättningar

Detta dokument behandlar markrörelser, som kan uppkomma genom konsolidering av kohesionsjordar, orsakade av grundvattennivåsänkning vid byggnation av dagvattentunneln. 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.

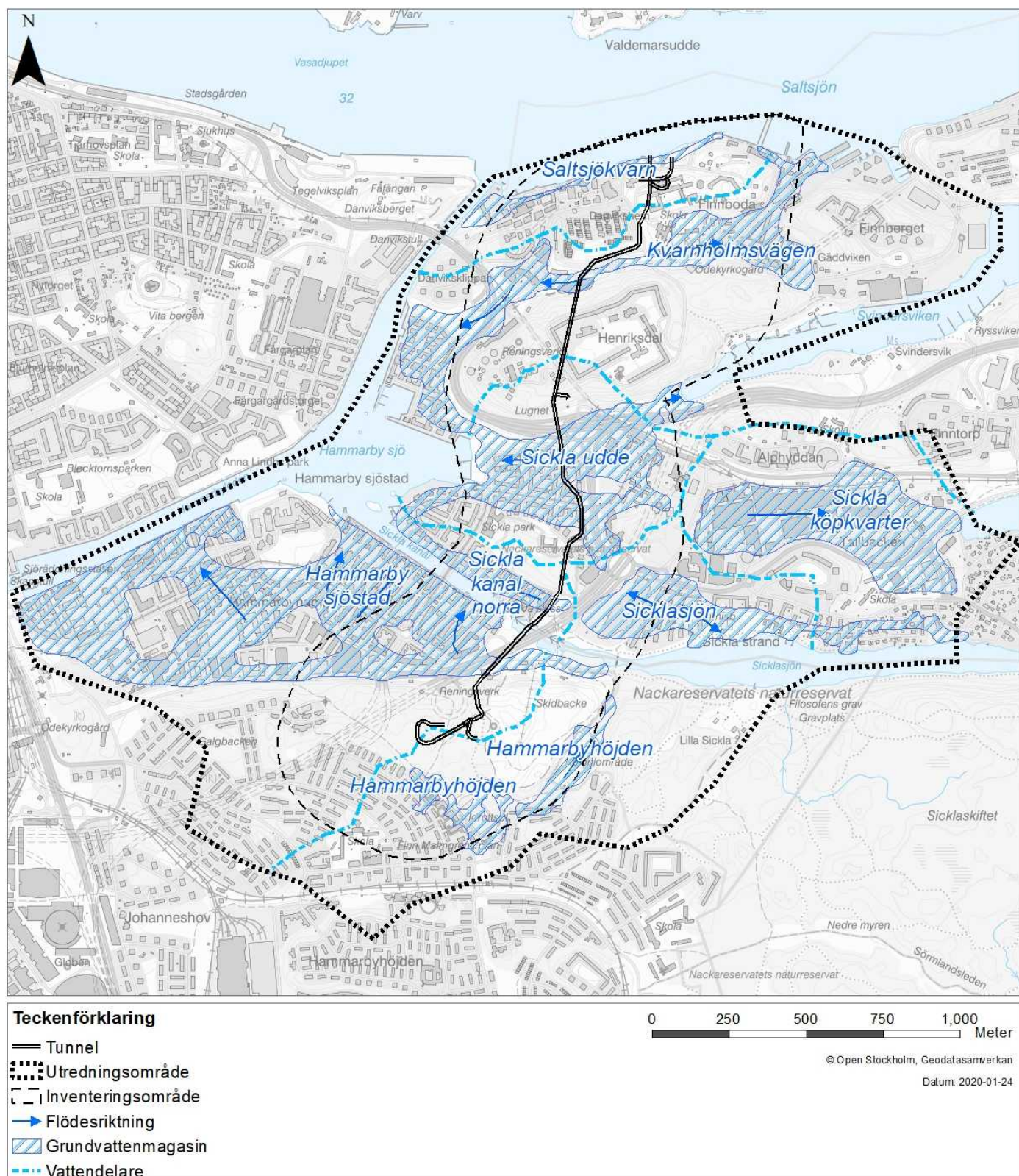
Utförda sättningsberäkningar baseras på resultat från inventerade och kompletterande undersökningar. Detaljerade resultat från geotekniska undersökningar, provtagningar och laboratorieanalyser på ostörda lerprover redovisas i Markteknisk undersökningsrapport [1].

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 av tunneln, har följande områden med sättningsbenägen lera identifierats: Henriksdal, Sickla udde, Sickla kanal norra och Hammarby sjöstad. I Figur 1 visas inventeringsområdets utbredning samt grundvattenmagasin längs tunnelsträckan. Influensområdet för bedömd grundvattenpåverkan redovisas i Bilaga 1.



Figur 1 Inventeringsområde och grundvattenmagasin. Grundvattenmagasinet Kvarnholmsvägen ligger vid lerområdet Henriksdal.

2.2 Marksättningsars 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 portrycksutjämning 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 förkonsolideringsspanningen (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 förkonsolideringsstrycket. 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.

2.3 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.

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 ett).

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 Tabell 1 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:

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

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

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

$$b_1 = 1,1$$

K_{init} = utvärderas ur CRS för aktuell σ'_0 . OBS $K_{\text{init}} \neq K_i$ 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 och 5 år för att redovisa sättningarnas utbildande på grund av grundvattensänkning under den planerade byggtiden. Beräkningar har även utförts för befintliga förhållanden vilka redovisas för tidsperioderna 1, 2, 5, 10, 20, 40 och 100 år. Vid befintliga förhållanden sker ingen grundvattensänkning och de sättningar som beräknats är pågående sättningar uppkomna av nuvarande spänningssituation i jorden.

De redovisade resultaten avser beräknade totalsättningar 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 områdesfigurer samt i Bilaga 1.

Figur 2 Lerområde Henriksdal. Grundvattenmagasinet i området benämns Kvarnholmsvägen.

4.1.1 Generellt

Lerområdet i Henriksdal sträcker sig i en dalgång mellan fastmarks- och höjdpartierna vid Danvik och Henriksdal. Lerområdet är långsmalt och går i sydvästlig till nordostlig sträckning, mellan Henriksdalshamnen och Finnboda hamn. Tunneln sträcker sig i sydlig – nordlig riktning. Genom området sträcker sig Värmdövägen (väg 222), Kvarnholmsvägen och Saltsjöbanan. I området finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter men även skolor och idrottsplatser.

4.1.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca 0 och +22. Marken i lerdalgången är som högst i mitten av området och sluttar ned mot väster och öster. Norr och söder om dalgången finns höjdparter.

4.1.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera som överlagrar friktionsjord ovan berg. Lerans tjocklek är mindre mellan fastmarkspartierna och ökar mot det östra och västra området.

I den östra delen av området, i undersökningspunkt 19W041 består jorden av ca 0,6 m fyllning på 2 m torrskorpelera på 6 m lera över friktionsjord och berg.

Västerut, i undersökningspunkt 19W044 består jorden av ca 6 m fyllning på 9 m lera över friktionsjord och berg.

Tabell 2 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W041.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+10,9	+8,2			2,7		6,1	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
4,0	39	73	3000	550	13,9	0,0069	4,7
5,5	54	81	3000	480	17,5	0,0079	5,1
7,5	67	111	4500	750	19,5	0,0076	4,6

Tabell 3 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W044.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+8,54	+3,64			6,0		9,0	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
7,5	97	142	4850	990	14,6	0,0047	3,7
11,5	110	184	5500	2170	14,3	0,0050	4,6
13,5	198	290	8200	3340	18,9	0,0050	5,3

4.1.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i två punkter, 19W041 och 19W044.

Installation av grundvattenrör har utförts i fyra punkter, 19W041G, 19W042G, 19W010G och 19W044G.

4.1.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör; GW01, 19W041G, BH01, 78A3, GW10, 19W042G, 19W010G, GW09 och 19W044G.

4.1.5.1 Punkt 19W041

Grundvattenrör 19W041G installerades i juli 2019 och mätningar utförda i november 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +8,2 och +9,2.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W041 har nivån +8,2 valts, d.v.s. ca 2,7 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

4.1.5.2 Punkt 19W044

Grundvattenrör 19W044G installerades i juni 2019 och mätningar utförda i november 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +3,6 och +4,1.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W044 har nivån +3,64 valts, d.v.s. ca 4,9 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

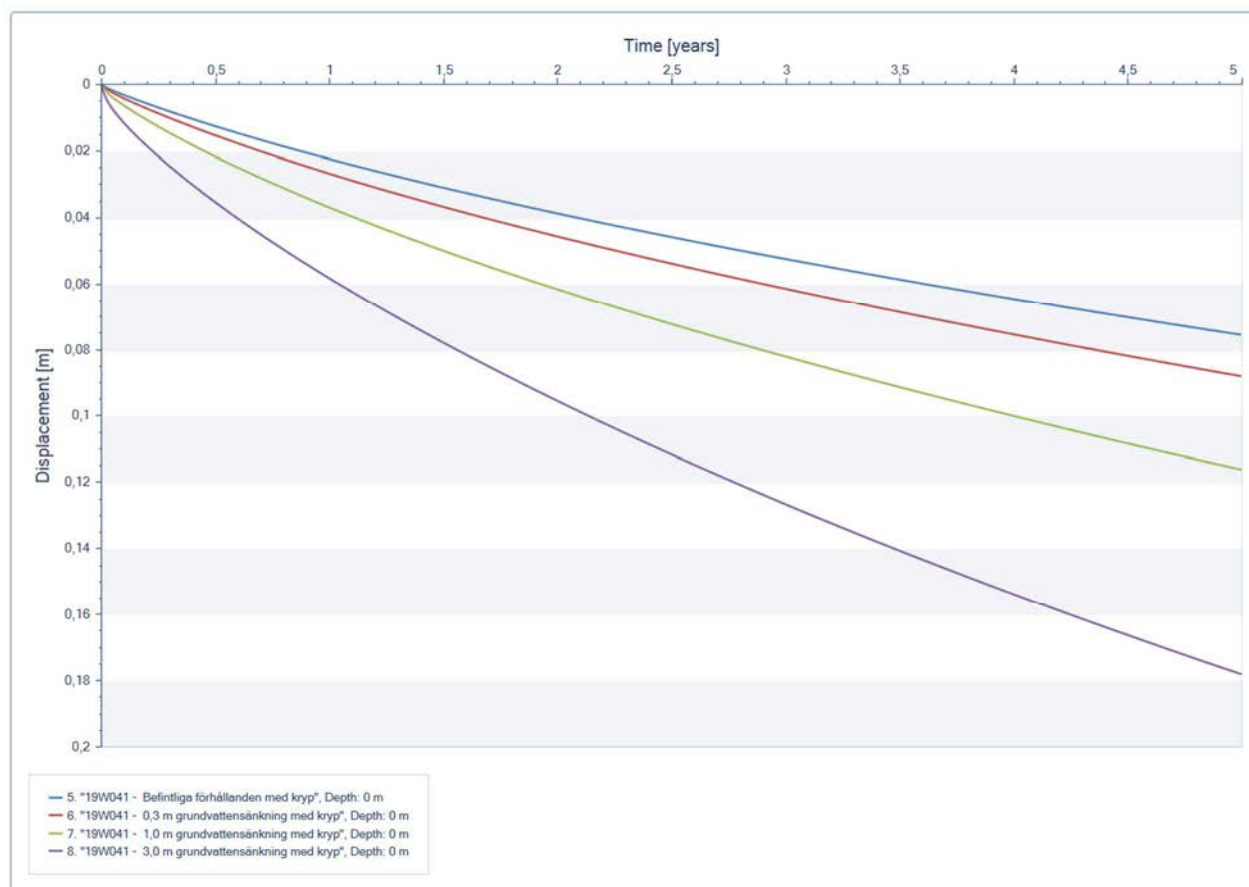
4.1.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för respektive undersökningspunkt i området redovisas nedan.

4.1.6.1 Punkt 19W041

Tabell 4 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W041. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	2,2	3,9	7,6	12,1	18,2	24,8	29,5
0,3	2,7	4,5	8,8				
1	3,7	6,1	11,6				
3	5,8	9,5	17,8				

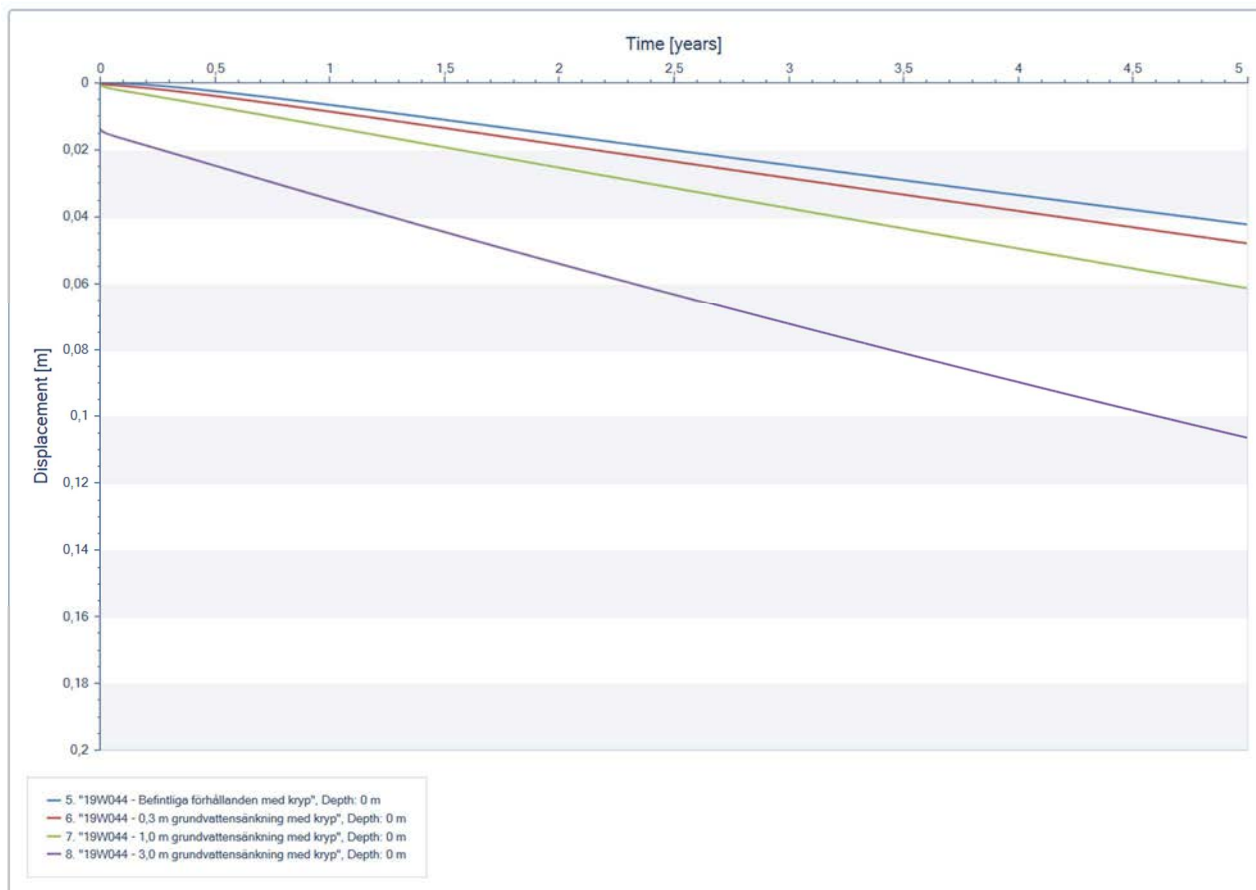


Figur 3. Diagrammet visar marksättnings tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W041.

4.1.6.2 Punkt 19W044

Tabell 5 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W044. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,7	1,6	4,2	8,2	14,6	20,3	24,3
0,3	0,8	1,8	4,8				
1	1,3	2,5	6,1				
3	3,5	5,4	10,6				



Figur 4. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W044.

4.1.7 Bedömning

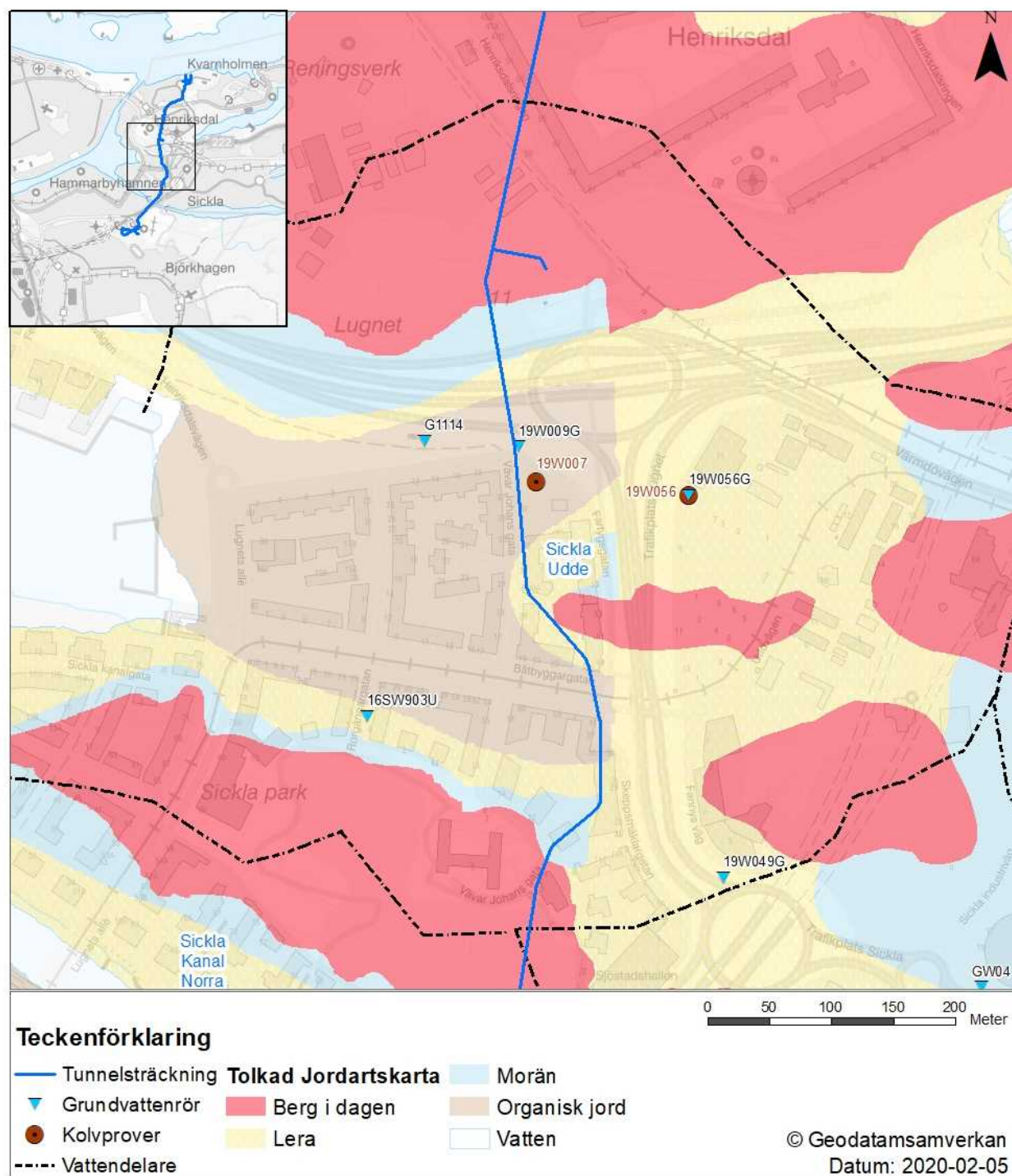
Leran i området vid undersökningspunkterna 19W041 och 19W044 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

I området vid undersökningspunkt 19W044 ligger en större mäktighet fyllningsjord (6 m i beräkningspunkten) ovan den naturliga jorden vilket bedöms orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

4.2 Sickla udde

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



Figur 5 Lerområde Sickla udde.

4.2.1 Generellt

Lerområdet i Sickla udde breder ut sig mellan fastmarks- och höjdpartierna vid Henriksdal, Hammarby sjöstad och Sickla. Tunneln sträcker sig i sydlig – nordlig riktning. Genom området sträcker sig Sicklavägen (väg 260), Värmdövägen (väg 222), Tvärbanan och Saltsjöbanan. Södra länken passerar i områdets östra del, huvudsakligen under mark. I området finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter. De flesta byggnader, vägar och Tvärbanan är grundlagda på pålar eller påldäck.

4.2.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca 0 och +15. Marken i större delar av området är relativt plan med nivåer som ökar mot norr och öster.

4.2.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera. Leran innehåller delvis gytta och överlagrar friktionsjord på berg. Lerans tjocklek ökar från öst till väst, mot vattnet. I området mellan Hammarby Sjö och Sicklavägen innehåller jorden ovan leran gytta eller gytjig lera.

I undersökningspunkt 19W007 består jorden av ca 8 m fyllning på ca 8 m lera ovan friktionsjord och berg.

I undersökningspunkt 19W056 består jorden av ca 2,2 m fyllning på 0,8 m torrskorpelera på 5,9 m lera ovan friktionsjord och berg.

Tabell 6 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W007.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+7,8	+0,8			8,0		7,7	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
10,0	84	137	4000	1020	15,8	0,0035	4,8
11,5	78	173	5000	1590	14,5	0,0025	4,2

Tabell 7 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W056.

Marknivå	Grundvattennivå		Jordlager ovan lös lera [m]			Lermäktighet [m]	
+4,75	+1,75		3,0			5,9	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'_c [kPa]	σ'_L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	$\beta'k$ [-]
4,5	91	114	4550	770	15,3	0,0073	4,6

4.2.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i två punkter, 19W007 och 19W056.

Installation av grundvattenrör har utförts i tre punkter, 19W009G, 19W056G och 19W049G.

4.2.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, G1114, 19W009G, 19W056G, 16SW903U och 19W049G.

4.2.5.1 Punkt 19W007

Grundvattenrör 19W009G installerades i maj 2019 och mätningar utförda i juni 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +0,5 och +0,9.

Grundvattenröret sitter ca 30 m norr om provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W007 har nivån +0,8 valts, d.v.s. ca 7,0 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

4.2.5.2 Punkt 19W056

Grundvattenrör 19W056G installerades i september 2019 och mätningar är utförda i oktober 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +1,7 och +2,0.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W056 har nivån +1,75 valts, d.v.s. ca 3,0 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

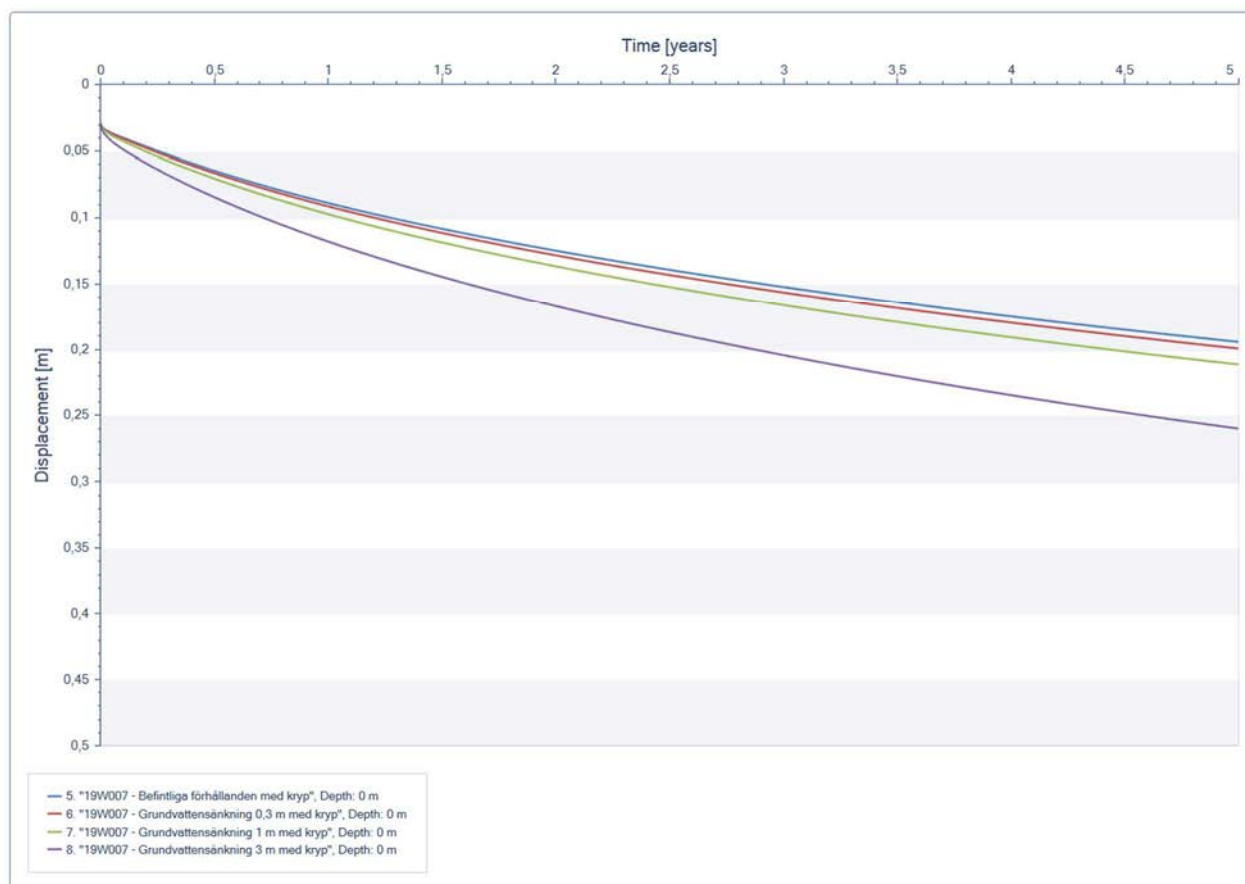
4.2.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för respektive undersökningspunkt i området redovisas nedan.

4.2.6.1 Punkt 19W007

Tabell 8 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W007. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	8,9	12,5	19,4	25,8	31,1	34,2	35,9
0,3	9,2	12,9	19,9				
1	9,8	13,7	21,1				
3	11,8	16,8	26,0				

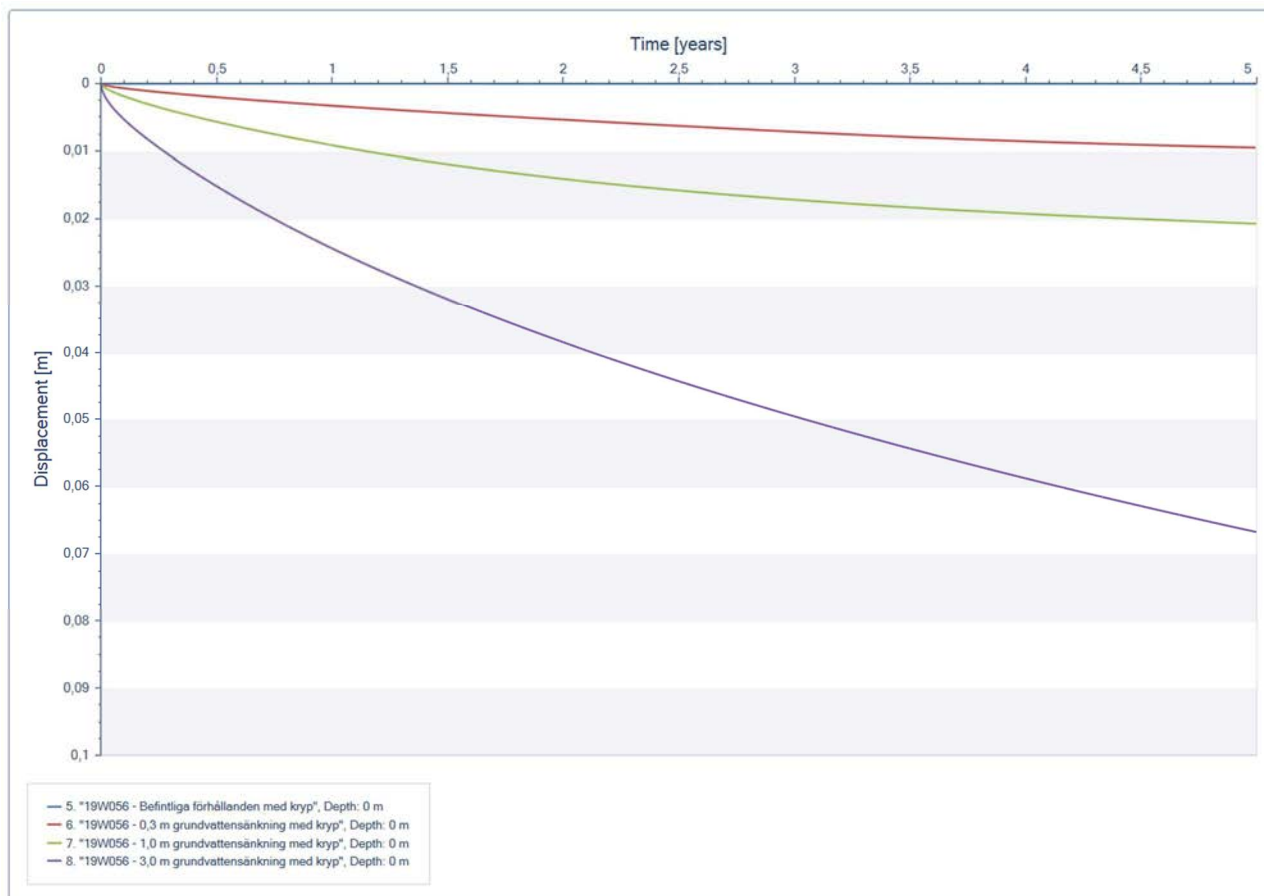


Figur 6. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W007.

4.2.6.2 Punkt 19W056

Tabell 9 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W056. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,3	0,3	0,5	0,9				
1	0,9	1,4	2,1				
3	2,4	3,8	6,6				



Figur 7. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W056.

4.2.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 19W007 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

I området vid punkt 19W007 ligger en större mäktighet fyllningsjord (8 m i undersökningspunkten) ovan den naturliga jorden vilket bedöms orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.

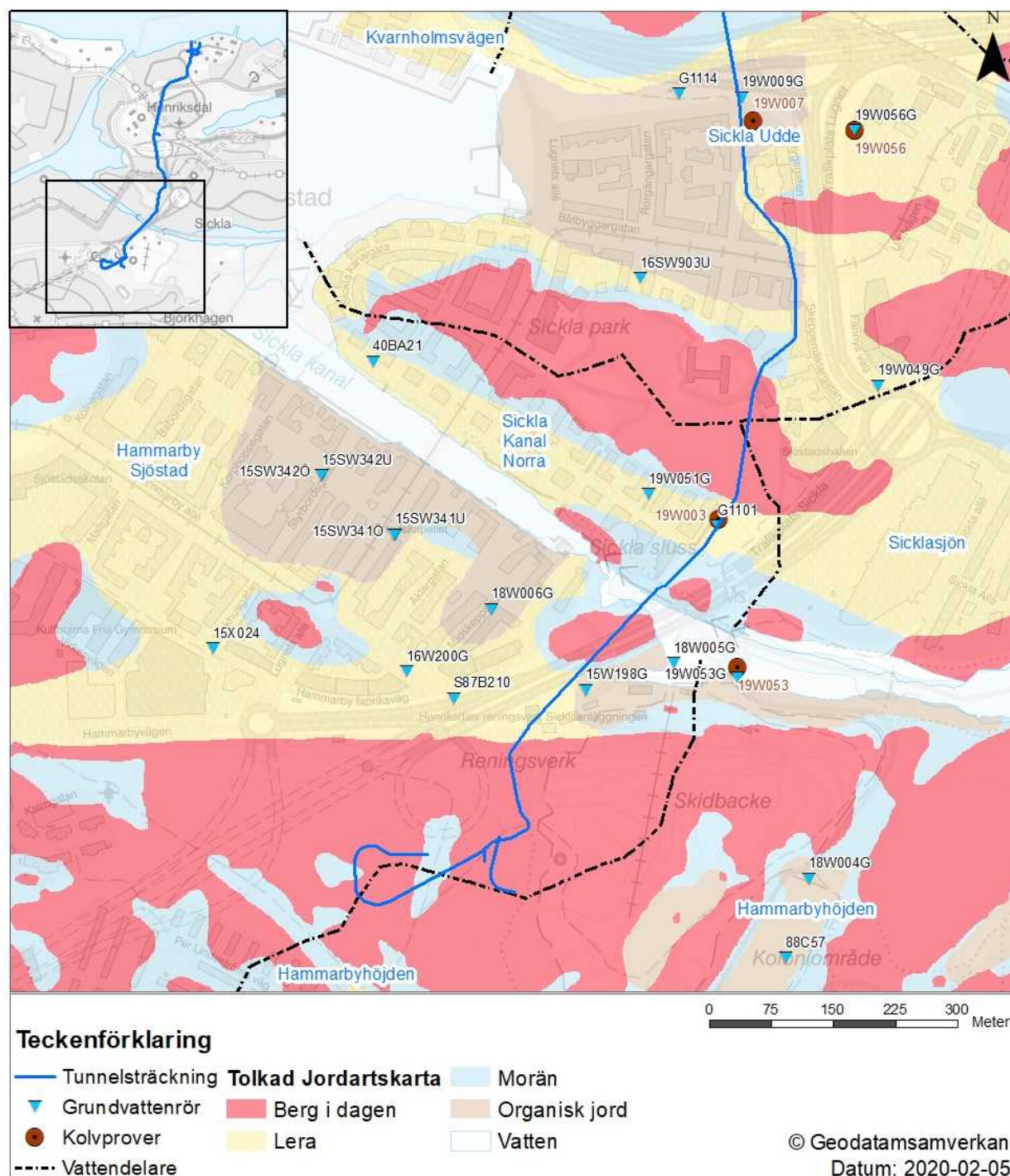
I punkt 19W056 bedöms leran vara normalkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Beräkningen bedöms delvis osäker då endast en kolvprovtagning (och CRS-försök) har kunnat användas för beräkningarna.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

Enligt [5] uppgår beräknade sättningar vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 1 och 14 centimeter efter 2 år samt mellan 5 och 34 cm efter 50 år. Risk för pågående sättningar noteras för områdets västra och södra delar.

4.3 Sickla kanal norra

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



Figur 8 Lerområde Sickla kanal norra i mitten av kartbilden.

4.3.1 Generellt

Lerområdet i Sickla kanal norra är långsmalt och sträcker sig längs med och mellan Sickla kanal och fastmarks- och höjdpartierna vid Sickla udde. Tunneln sträcker sig i sydvästlig – nordöstlig riktning. Genom området sträcker sig Sickla Kanalgata, Tvärbanan och Södra Länken genom områdets västra respektive östra delar. I området finns huvudsakligen byggnader för bostäder.

4.3.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca 0 och +11. Marken i större delar av området är relativt plan, marknivåerna ökar från kanalen mot nordost.

4.3.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera som överlagrar friktionsjord ovan berg. Lerdjupet inom området ökar något från nordost till sydväst, mot Sickla kanal.

I den östra delen av området, i undersökningspunkt 19W003 består jorden av ca 3 m fyllning på 10 m lera över friktionsjord och berg.

Tabell 10 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W003.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+6,46	+3,06			2,9		10,1	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
6,0	64	120	4750	750	12,2	0,0041	3,2
7,5	64	104	4250	570	15,8	0,0041	4,9

4.3.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 19W003.

Installation av grundvattenrör har utförts i en punkt, 19W051G.

4.3.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, 40BA21, 19W051G, G1101 och G1101_2.

4.3.5.1 Punkt 19W003

Grundvattenrör G1101 sitter ca 10 m söder om provtagningspunkten och mätningar utförda i mars 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +3,0 och +3,9. I beräkningarna för punkt 19W003 har nivån +3,06 valts, d.v.s. ca 3,4 m under markytan vilket motsvarar en nivå i underkant torrskorpeleran.

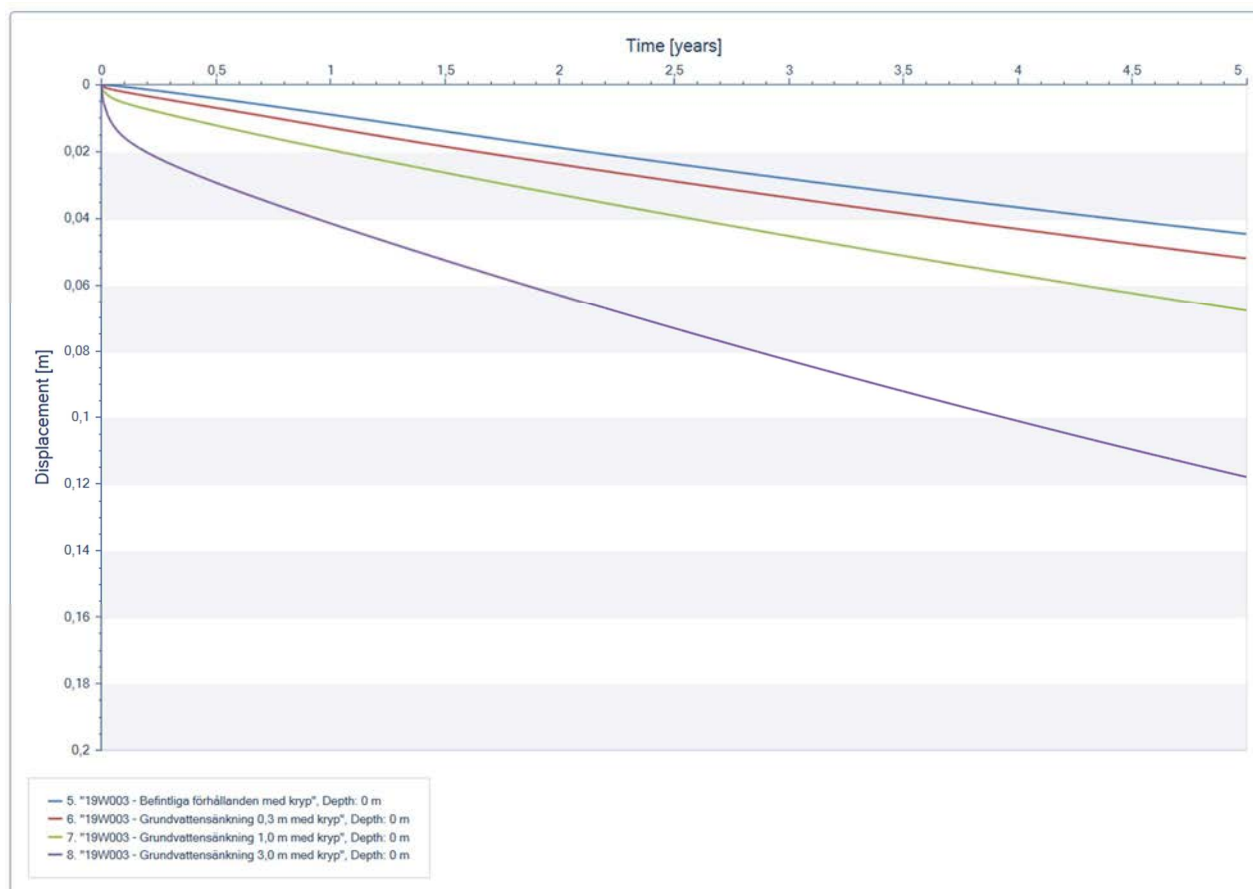
4.3.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan.

4.3.6.1 Punkt 19W003

Tabell 11 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W003. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,9	1,9	4,4	7,7	12,0	15,6	18,3
0,3	1,3	2,4	5,2				
1	1,9	3,3	6,8				
3	4,1	6,3	11,8				



Figur 9. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W003.

4.3.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 19W003 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

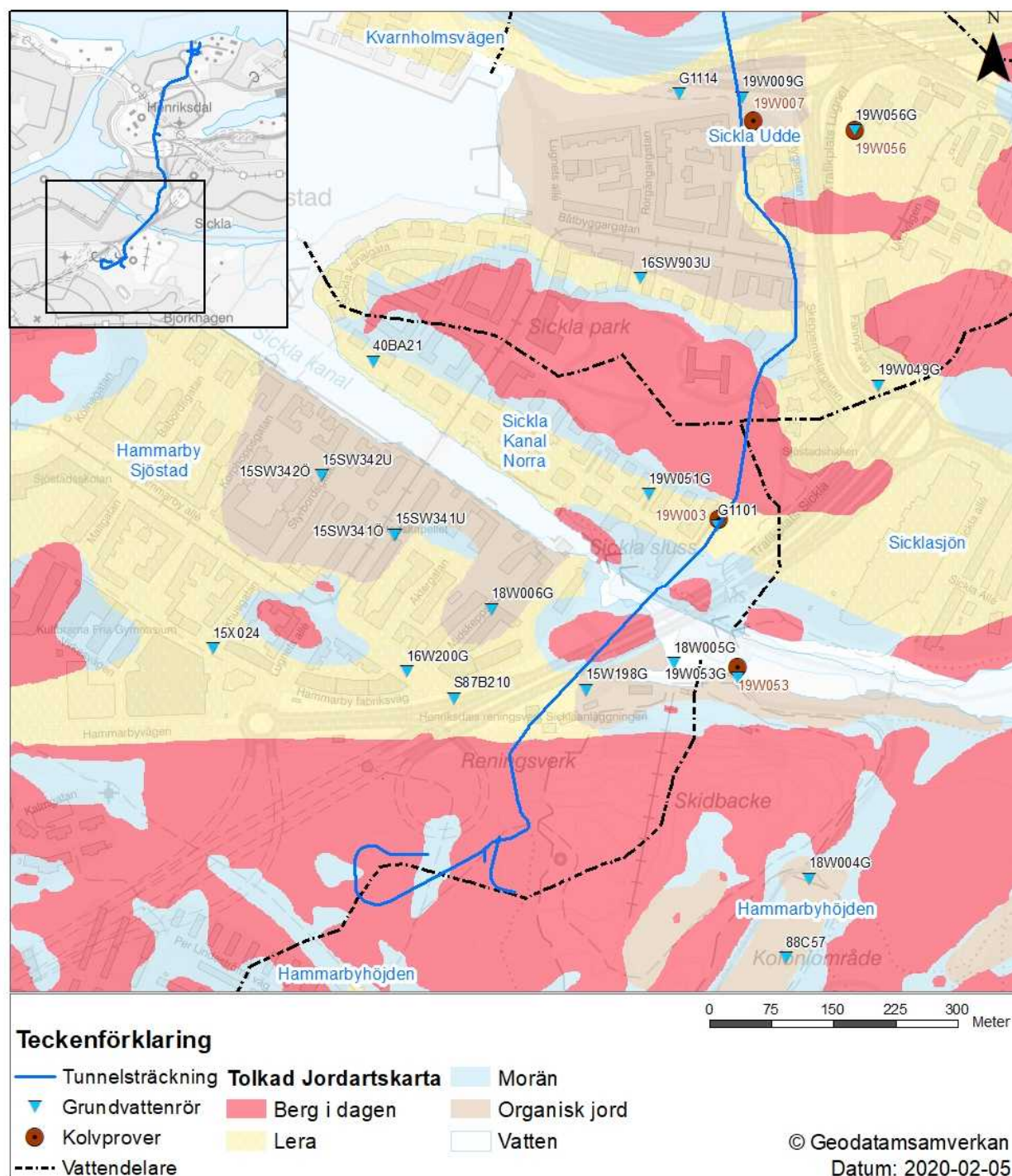
I området ligger en större mäktighet fyllningsjord (3 m i undersökningspunkten) ovan den naturliga jorden vilket bedöms orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

Enligt [5] uppgår beräknade sättningar vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 2,5 och 9 centimeter efter 2 år samt mellan 3 och 13 cm efter 50 år.

4.4 Hammarby sjöstad

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



Figur 10 Lerområde Hammarby sjöstad i den sydvästra delen av kartbilden.

4.4.1 Generellt

Lerområdet i Hammarby sjöstad sträcker sig från fastmarks- och höjdpartiet vid Hammarbyhöjden i söder till Sickla kanal i norr. I lerområdet finns det "öar" med fastmarkspartier. Tunneln sträcker sig i sydvästlig – nordöstlig riktning. Genom området sträcker sig Södra Länken, Hammarbyvägen samt Tvärbanan. I den västra delen av området finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter, i den östra delen finns Hammarbybacken och grönområden.

4.4.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca +1 och +18. Marken i större delar av området är relativt plan och med avtagande marknivåer mot Sickla kanal. I östra delen av området är marken kuperad och marknivån stiger vid Hammarbybacken.

4.4.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera som överlagrar friktionsjord ovan berg. Gytta/gyttlig lera förekommer i områdena mot Sickla kanal och Sicklasjön. Lerans mäktighet är som störst i det östra området, öster om den planerade tunneln. I lerområdet väster om tunneln varierar lermäktigheten men generellt ökar lermäktigheten mot nordost och mot Sickla kanal.

I den östra delen av området, i undersökningspunkt 19W053 består jorden av ca 1,5 m fyllning på 0,2 m torv på 12 m lera över friktionsjord och berg.

Tabell 12 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W053.

Marknivå	Grundvattennivå		Jordlager ovan lös lera [m]			Lermäktighet [m]	
+5,8	+4,2		1,7			12,1	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
4,0	44	82	2405	1230	24,6	0,0214	4,4
6,0	43	61	2350	240	15,2	0,0132	3,4
8,0	Osäkert värde	75	3000	430	18,5	0,0073	4,5

4.4.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 19W053.

Installation av grundvattenrör har utförts i en punkt, 19W053G.

4.4.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, 15SW342U, 15SW342Ö, 15SW341U, 15SW341Ö, 15X024, 16W200G, S87B210, 18W006G, 15W198G, 18W005G och 19W053G. Slussen mellan Sickla kanal och Sicklasjön ligger ca 15 m norr om punkten. Nivån på vattenytan i Sickla kanal är ca +3,2 och på vattenytan i Sicklasjön ca +5,4.

4.4.5.1 Punkt 19W053

Grundvattenrör 19W053G installerades i juni 2019 och mätningar utförda i september 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +4,0 och +4,6.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W053 har nivån +4,2 valts, d.v.s. ca 1,6 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

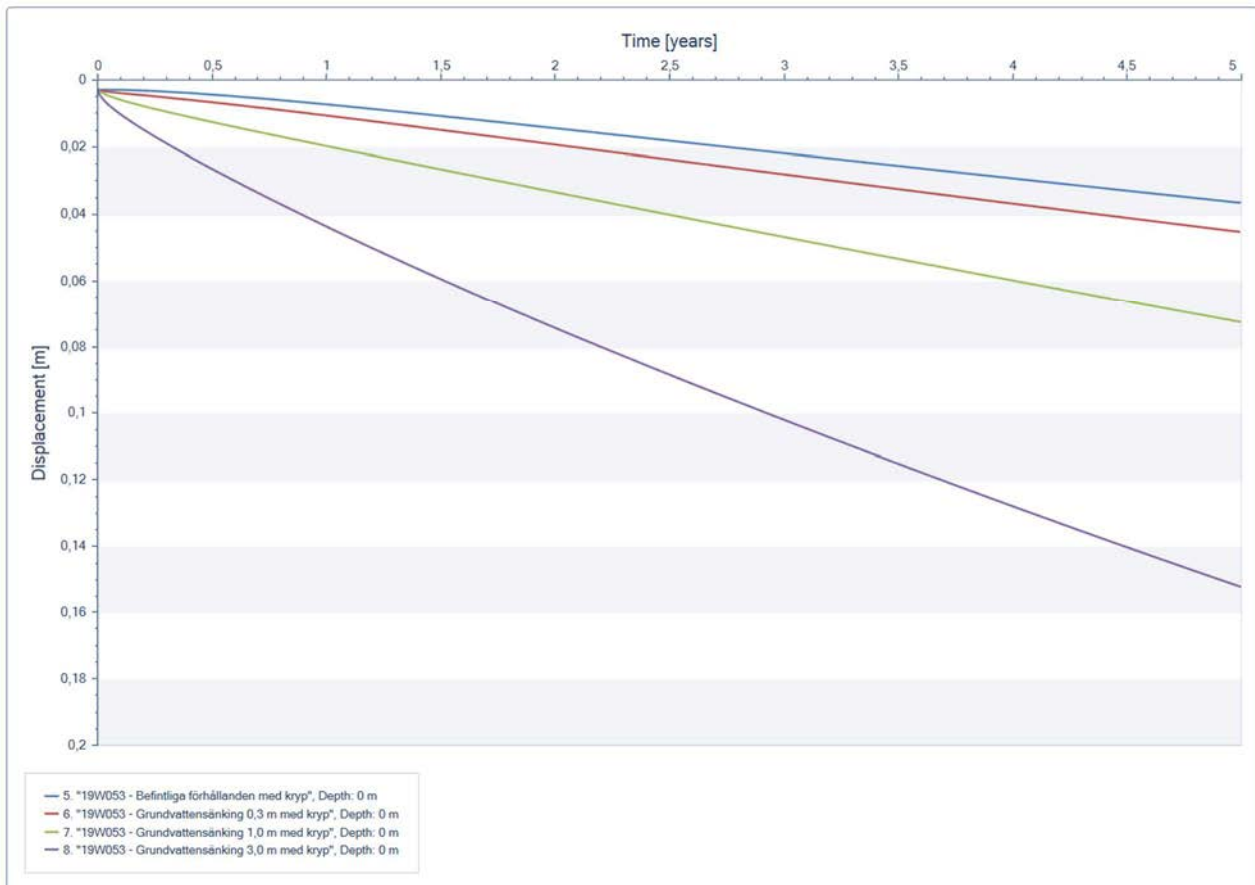
4.4.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan.

4.4.6.1 Punkt 19W053

Tabell 13 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W053. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,7	1,4	3,7	7,0	12,7	20,9	31,7
0,3	1,1	1,9	4,5				
1	2,0	3,3	7,3				
3	4,4	7,4	15,1				



Figur 11. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W053.

4.4.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 19W053 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

Enligt [5] uppgår beräknade sättningar vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 1 och 9 centimeter efter 2 år samt mellan 3 och 17 cm efter 50 år. Risk för pågående sättningar noteras för områdets västra delar.

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 av Nya Östbergatunneln.

Grundvattensänkningen antas vara tillfällig under byggtiden, som mest 5 år. Därefter förväntas tunneln fyllas med vatten och grundvattennivån snabbt återställas till samma nivå som innan byggnationen påbörjades. Tunneln planeras under drifttiden vara fylld med vatten och ingen grundvattenbortledning förväntas då ske.

I sättningsberäkningarna har grundvattensänkning antagits ske momentant från dag ett. I verkligheten kommer avsänkningen av porttrycknivån troligen ske gradvis tills en ny jämviktsnivå ställt in sig, då förloppet sker långsamt i täta jordar som lera.

Vid följande provtagningspunkter visar beräkningarna att pågående marksättningar sker: 19W041 (Henriksdal), 19W044 (Henriksdal), 19W007 (Sickla udde), 19W003 (Sickla kanal norra) och 19W053 (Hammarby sjöstad). Vid dessa punkter uppgår beräknade pågående sättningar efter 100 år till mellan 18 och 36 cm utan att grundvattennivån har påverkats. Endast för punkten 19W056 (Sickla udde) visar beräkningarna att pågående sättningar inte sker. För undersökningspunkten finns dock endast ett CRS-försök utfört och beräkningen bedöms osäker.

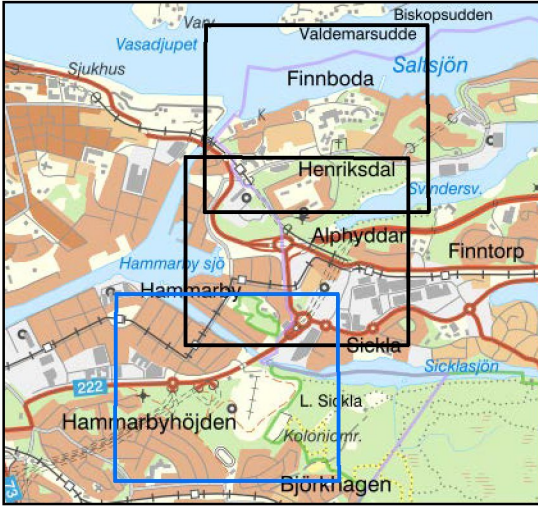
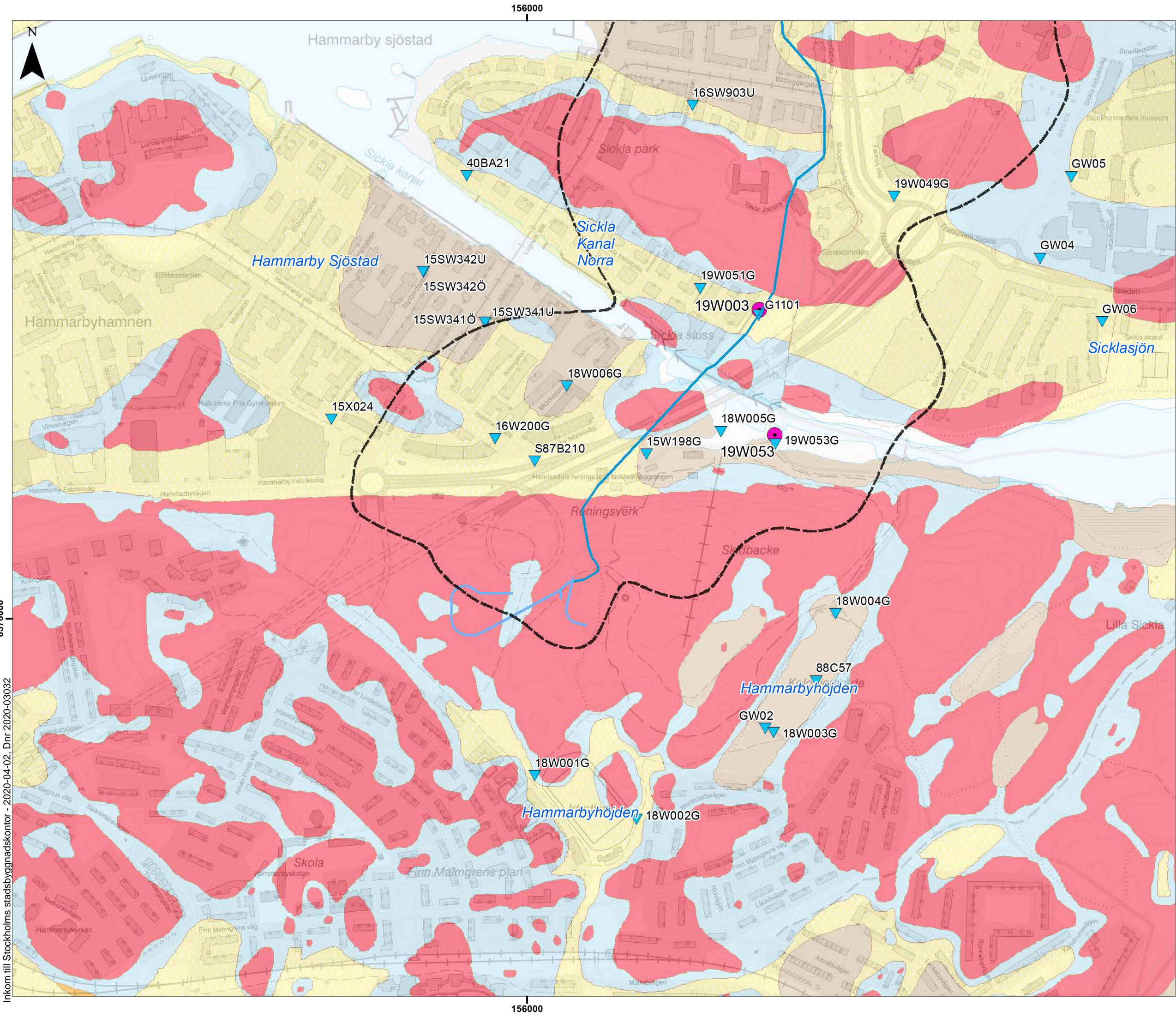
I de beräknade punkterna uppgår sättningarna vid 0,3 m grundvattensänkning till mellan 1 och 20 cm efter 5 år (den beräknade byggtiden). Vid 1,0 m grundvattensänkning uppgår sättningarna till mellan 2 och 21 cm och vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 7 och 26 cm. De största sättningarna har beräknats för lerområdet vid Sickla Udde.

Sättningar beräknade för områdena Sickla udde, Sickla kanal norra och Hammarby sjöstad enligt [5] är generellt lägre än här redovisade beräkningar. Detta bedöms bero på skillnader i antaganden och beräkningsprinciper. Resultaten i [5] kompletterar beräkningar utförda i denna PM, främst i antal beräkningspunkter.

Vid beräkningarna har det inte funnits långtidsmätningar av grundvattennivåer och årstidsvariationen för respektive grundvattenrör har saknats. Därmed finns en risk att valda grundvattennivåer inte motsvarar en representativ medelnivå. Bedömd grundvattennivå har stor inverkan på storleken på de beräknade sättningarna.

6. Referenser

- [1] Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Nya Östbergatunneln, systemhandling. Dokumentnamn: NÖT01-G1-DDC-T-0001. Daterad 2019-10-30. WSP projektnummer 10281494.
- [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.
- [5] PM Hydrogeologi – Bilaga C7 PM Sättningar, Miljöprovning för tunnelbana från Kungsträdgården till Nacka och söderort, Dokumentnamn: 2320-M25-22-0001_bilaga 7, Daterad: 2017-12-21, Stockholms läns landsting, FUT.



Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenrör
- Sättningsberäkningar

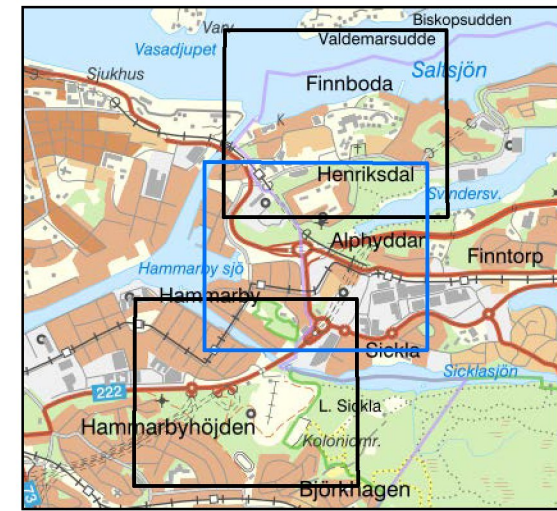
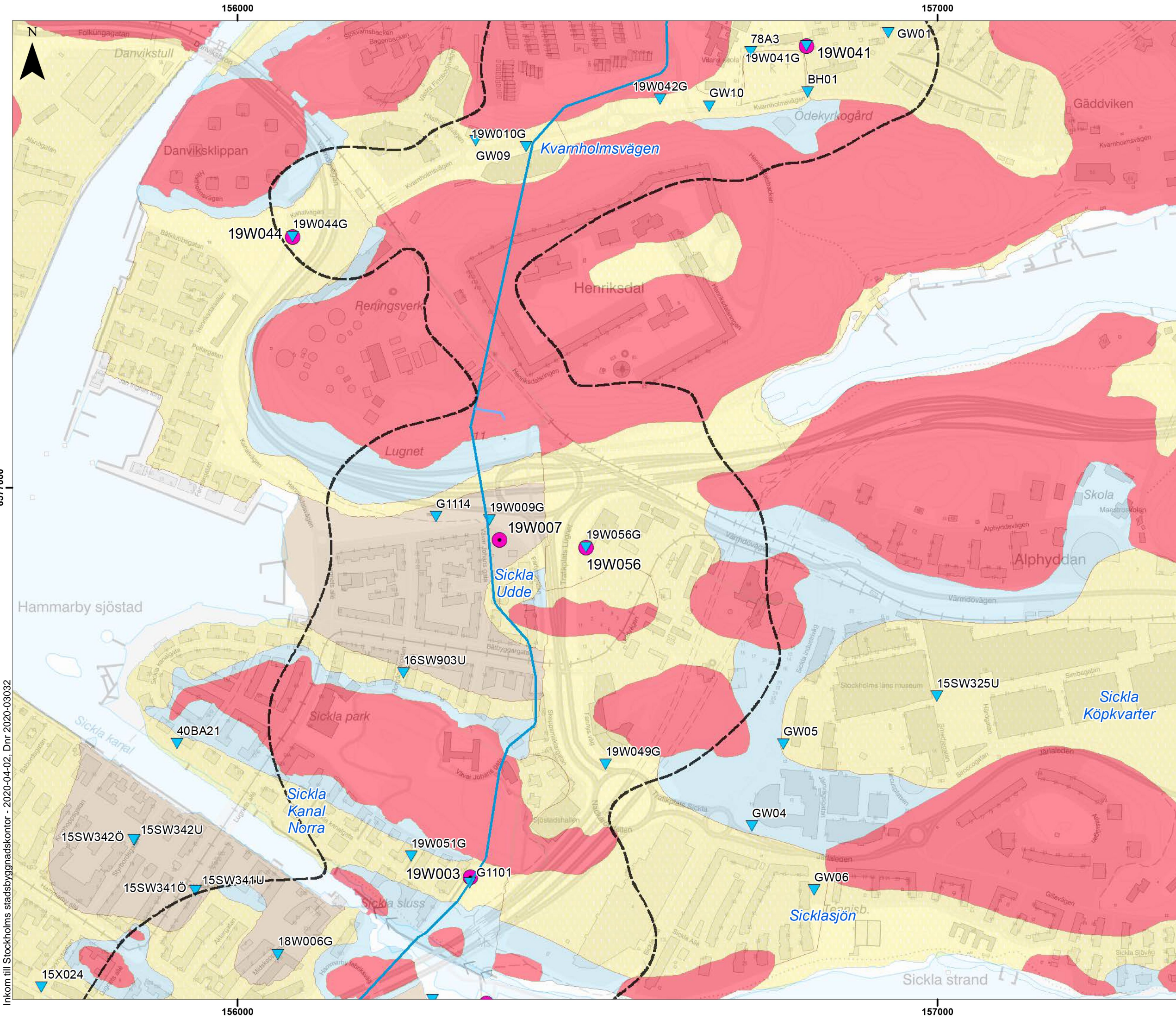
Jordart

- Berg i dagen
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Vatten
- Växellagring

Nya Östbergatunneln PM Sättningar, Bilaga 1

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:5,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 62.5 125 250 Meters





Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenrör
- Sättningsberäkningar

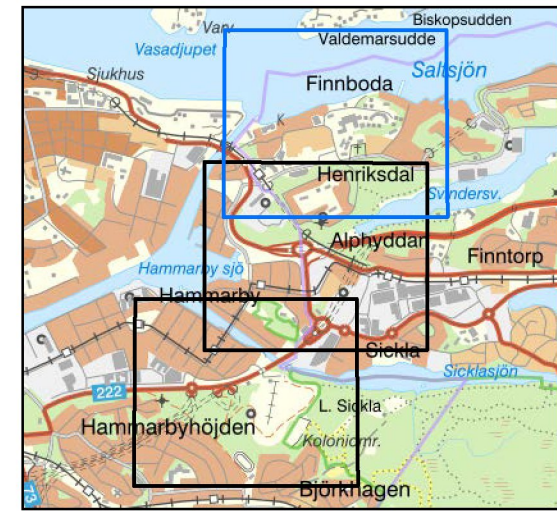
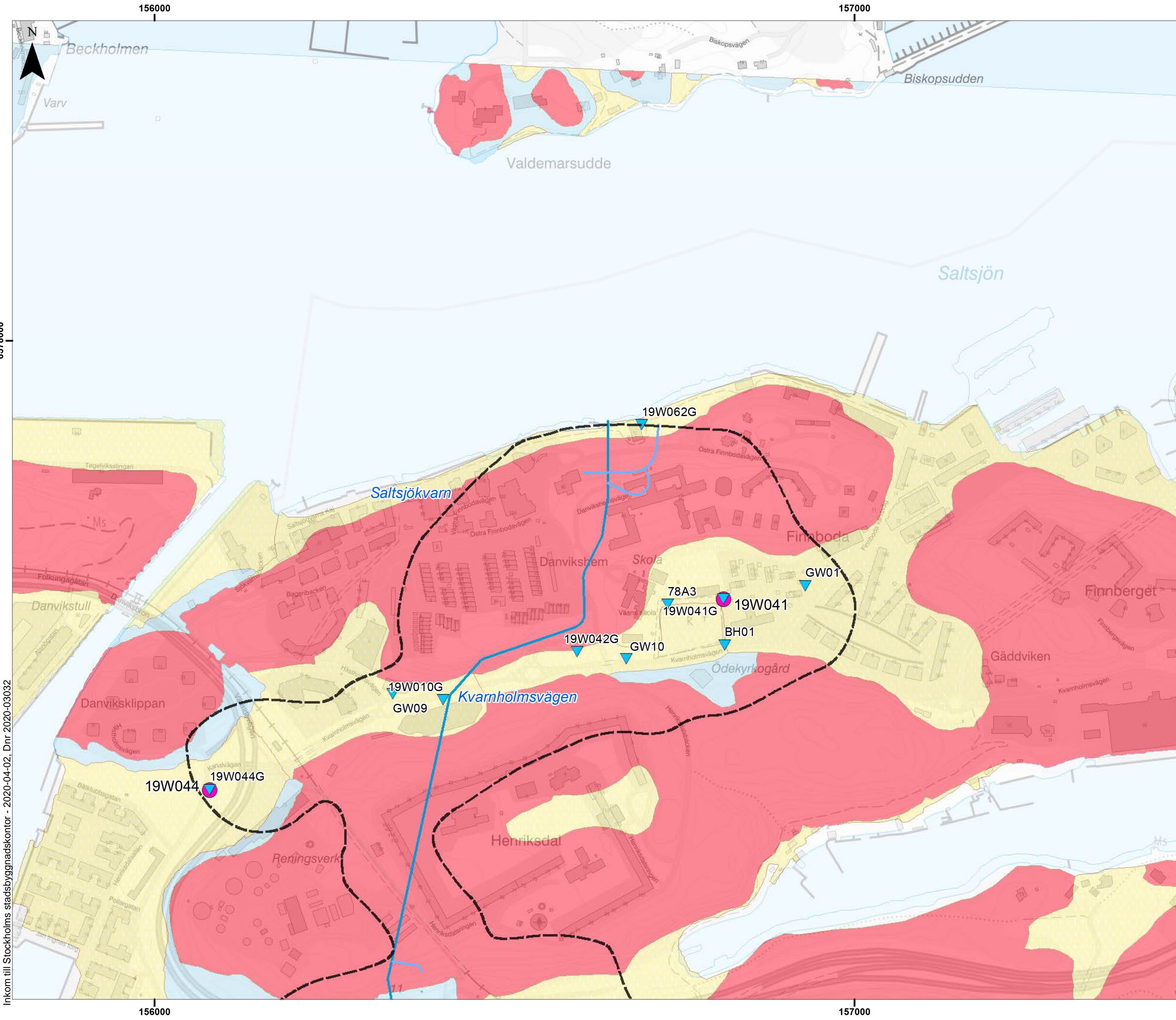
Jordart

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

Nya Östbergatunneln PM Sättningar, Bilaga 1

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:5,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 62.5 125 250 Meters





Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenrör
- Sättningsberäkningar

Jordart

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

Nya Östbergatunneln PM Sättningar, Bilaga 1

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:5,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 62.5 125 250 Meters

