

Projektnamn

Västlänken och Olskroken planskildhet

Dokumenttyp

PM

Ärendenummer

2016/3151

Skapad avJohanna Lithén, Maria Wadsten,
Sören Holm Östergaard**Filnamn**

MPU02-50GT-025-00-0005

Godkänt av

Karl Persson

Godkänt datum

2016-02-10

Version

—

Prefix, Produktsammanställning/entreprenad

MPU 02

Dokumenttitel

PM Hydrogeologi jord

Underlagsdokument till PM Hydrogeologi,
ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och
Olskroken planskildhet

Ändringslogg

Version	Datum	Ändring	Godkänt av

Innehåll

1	Inledning	5
2	Syfte	5
3	Metod	5
4	Hydrogeologiska kartor	5
5	Områdesbeskrivning	6
5.1	Beskrivning av jordarternas bildningssätt	6
5.2	Jordarterna i området	6
6	Hydrogeologiska undersökningar	8
6.1	Inledning	8
6.2	Områdesindelning	9
6.3	Omfattning av undersökningar	11
6.3.1	Tidigare utförda utredningar	11
6.3.2	Utförda undersökningar inom projekt Västlänken	12
6.4	Undersökningsmetodik	15
6.4.1	Borrningar i jord	15
6.4.2	Jordprovtagning	15
6.4.3	Hydrauliska tester	16
6.4.4	Grundvattennivåmätningar	16
7	Delområde OO – Olskroken	17
8	Delområde OC – Olskroken-Station Centralen	17
8.1	Borrningar och siktanalys	17
8.2	Hydrauliska tester	20
8.2.1	Pulstester	20
8.2.2	Kapacitetstester	20
8.2.3	Provpumpningar	20
8.3	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde OC	22
9	Delområde CC – Station Centralen	23
9.1	Borrningar	23
9.2	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde CC	24
10	Delområde CH – Station Centralen-Station Haga	24
10.1	Tidigare utredningar	25
10.2	Borrningar och siktanalys	26
10.3	Hydrauliska tester	27
10.3.1	Pulstester	27
10.3.2	Kapacitetstester	28
10.4	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde CH	28
11	Delområde HH – Station Haga	28
11.1	Borrningar och siktanalys	29
11.2	Hydrauliska tester	31

11.2.1	<i>Pulstester</i>	31
11.2.2	<i>Kapacitetstester</i>	31
11.2.3	<i>Provpumpning</i>	32
11.3	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde HH	33
12	Delområde HK – Station Haga-Station Korsvägen	34
12.1	Tidigare utredningar	34
12.2	Hydrauliska tester.....	35
12.2.1	<i>Provpumpningar</i>	35
12.3	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde HK.....	38
13	Delområde KK – Station Korsvägen	38
13.1	Tidigare utredningar	39
13.2	Borrningar och siktanalys.....	40
13.3	Hydrauliska tester.....	43
13.3.1	<i>Kapacitetstester</i>	43
13.3.2	<i>Pulstester</i>	43
13.3.3	<i>Provpumpning</i>	44
13.4	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde KK.....	45
14	Delområde KA – Station Korsvägen-Almedal	46
14.1	Tidigare utredningar	47
14.2	Borrningar och siktanalys.....	47
14.2.1	<i>Väster om Mölndalsån</i>	47
14.2.2	<i>Öster om Mölndalsån</i>	48
14.3	Hydrauliska tester.....	49
14.3.1	<i>Pulstester</i>	49
14.3.2	<i>Kapacitetstester</i>	50
14.3.3	<i>Provpumpningar</i>	51
14.4	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde KA.....	57
15	Delområde AA – Almedal	58
15.1	Borrningar och siktanalys.....	58
15.2	Hydrauliska tester.....	60
15.2.1	<i>Pulstester</i>	60
15.2.2	<i>Kapacitetstester</i>	60
15.2.3	<i>Provpumpning</i>	61
15.3	Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde AA.....	62
16	Referenser	64

1 Inledning

Kunskap om hydrogeologiska förhållanden i jordlagren inom Västlänkens influensområde utgör grundläggande förutsättningar för att bedöma vilken påverkan på grundvattnet som kan uppkomma vid byggandet av Västlänkens anläggningar.

En stor mängd data har insamlats med olika metoder i syfte att studera jordlagrens vattenförande egenskaper. Dessa data utgör grunden för en övergripande karakterisering av olika grundvattenmagasin.

2 Syfte

Syftet med denna PM är att redovisa en sammanställning av utförda hydrogeologiska undersökningar i jordlagren och en tolkning av dessa. Eftersom grundvattennivåmätningar pågår kontinuerligt rapporteras inte dessa här utan hänvisas till Trafikverkets mätdatabas för omgivningspåverkan (TMO) för den mest aktuella mätserien. Denna PM utgör ett underlagsdokument till PM Hydrogeologi för tillståndsansökan till Mark- och miljödomstolen.

3 Metod

Information som redovisas i denna PM kommer framförallt från de undersökningar och inventeringar som utförts inom ramen för AKF-uppdragen (Anläggningskrav och förutsättningar) inom projekt Västlänken under perioden 2012-2015, som tog fram förutsättningar för projekteringen. Generellt har undersökningarna inom AKF-uppdragen varit huvudsakligen inriktade på att undersöka förhållandena i korridorskala kring Västlänken som underlag för projektering av systemhandling. Geografiskt är därför redovisade undersökningar i huvudsak begränsade till närområdet kring planerade byggnationer. Kompletterande undersökningar, som också redovisas i denna PM, har utförts inom andra delar av influensområdet inom ramen för arbetet med miljöprovningen (inom miljöprovningssuppletet MPU 02).

Information från utförda borrhningar i form av jordlagerföljd och bergytans läge, liksom grundvattennivådata, har använts i en så kallad hydromodell (för beskrivning av denna, se PM Beskrivning MPU hydromodell) för den integrerade tolkningen av grundvattenmagasinen som redovisas i PM Hydrogeologi.

Eftersom fokus för denna PM ligger på tolkningar av grundvattenmagasinens vattenförande egenskaper, redovisas inte sonderingar som är utförda enbart för bestämning av jordlagerföljd. Inte heller redovisas etablerade grundvattenrör avsedda enbart för grundvattennivåmätning.

4 Hydrogeologiska kartor

Figur 1 visar den teckenförklaring som är giltig för alla kartor i föreliggande PM. En gemensam teckenförklaring har gjorts för att skapa ett enhetligt utseende och för att spara utrymme i de figurer som presenteras. Teckenförklaringen innehåller symboler som är ofta förekommande i denna PM. Symboler som är specifika för enskilda figurer redovisas i respektive figurs teckenförklaring.

Teckenförklaring PM Hydrogeologi Jord	
	Influensområde grundvatten
	Bergtunnel
	Betongtunnel
	Ytspår
	Inventerad fyllning
	Fyllning
	Torv
	Kohesionsjord
	Friktionsjord
	Urberg
	Vatten

Figur 1. Gemensam teckenförklaring för kartor i föreliggande PM.

5 Områdesbeskrivning

Göteborgs topografi varierar relativt kraftigt med generellt låglänta områden längs Göta älv och andra vattendrag, och mer kuperade bergsområden söder om centrala staden och öster om Mölndalsåns dalgång. Bergsryggarna i söder omges av mellanliggande dalgångar i nordnordvästlig-sydsydöstlig riktning. Nivåskillnaderna mellan de låglänta områdena kring Göta älv och de högre bergsområdena i söder är ungefär 40 m. Figur 2 visar jordartskarta för centrala Göteborg söder om Göta älv. I kartan visas också influensområde grundvatten för Västlänken.

5.1 Beskrivning av jordarternas bildningssätt

Information om de lösa jordlagrens bildningssätt kan läsas i bland annat "Beskrivningen till jordartskartan Marstrand SO/Göteborg SV" (Adriellsson och Fredén, 1987) och Geologisk beskrivning av Sävdaåns dalgång (Engdahl och Påsse, 2014). Merparten av de lösa jordlagren i Göteborgsområdet avsattes under avsmältningen av den senaste inlandsisen.

Under deglaciationen drog sig iskanten successivt in över landet med en isrörelseriktning från SO. Under och i direkt anslutning till iskanten avsattes morän och isälvsediment. Längre ut i de då vattenfyllda dalgångarna avsattes finare partiklar som sand och lera. Den successiva reträtten av isen medförde att sand deponerades ovanpå underlaget av morän och isälvsmaterial närmare iskanten. Lera och silt som fördes ut som sedimentplymer från isälvarna kunde hålla sig i suspension och deponeras längre ut i bassängen ovanpå sanden. Den glaciala leran är oftast fin och homogen överst med successivt avtagande lerhalt mot djupet. I den undre delen av jordlagerföljden finns ofta skikt av sand och silt.

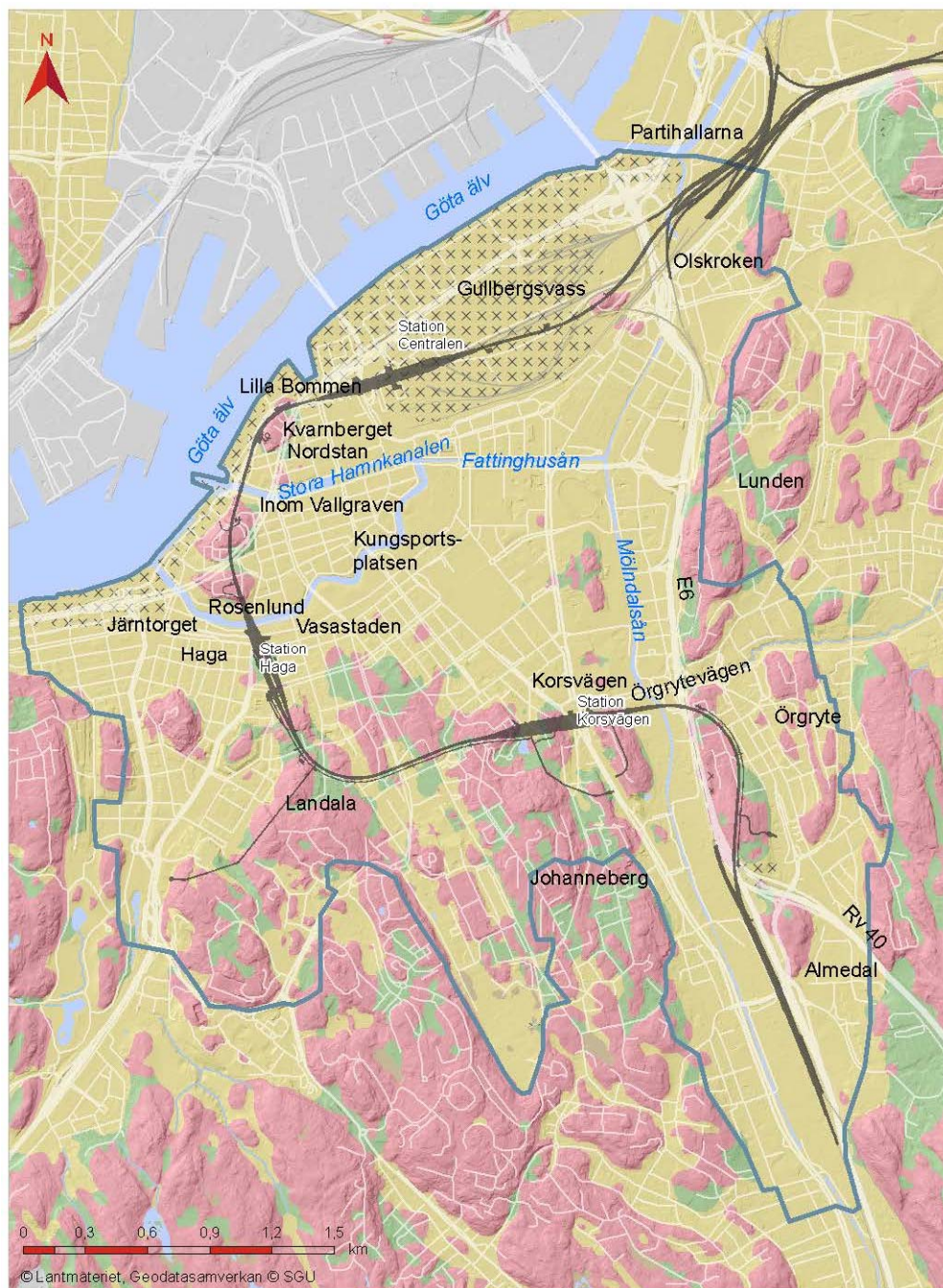
För ungefär 10 000 år sedan var landhöjningen, till följd av att jordskorpan varit nedpressad under nedisningen, långsammare än havsnivåns stigning som skedde till följd av tillfört smältvatten från isar. Denna händelse benämns den postglaciala transgressionen och har påverkat områden som är belägna på nivåer lägre än 25 meter över havet. Då skedde en omlagring så att man kan finna postglacial sand och finsediment ovanpå tidigare avsatta sediment.

5.2 Jordarterna i området

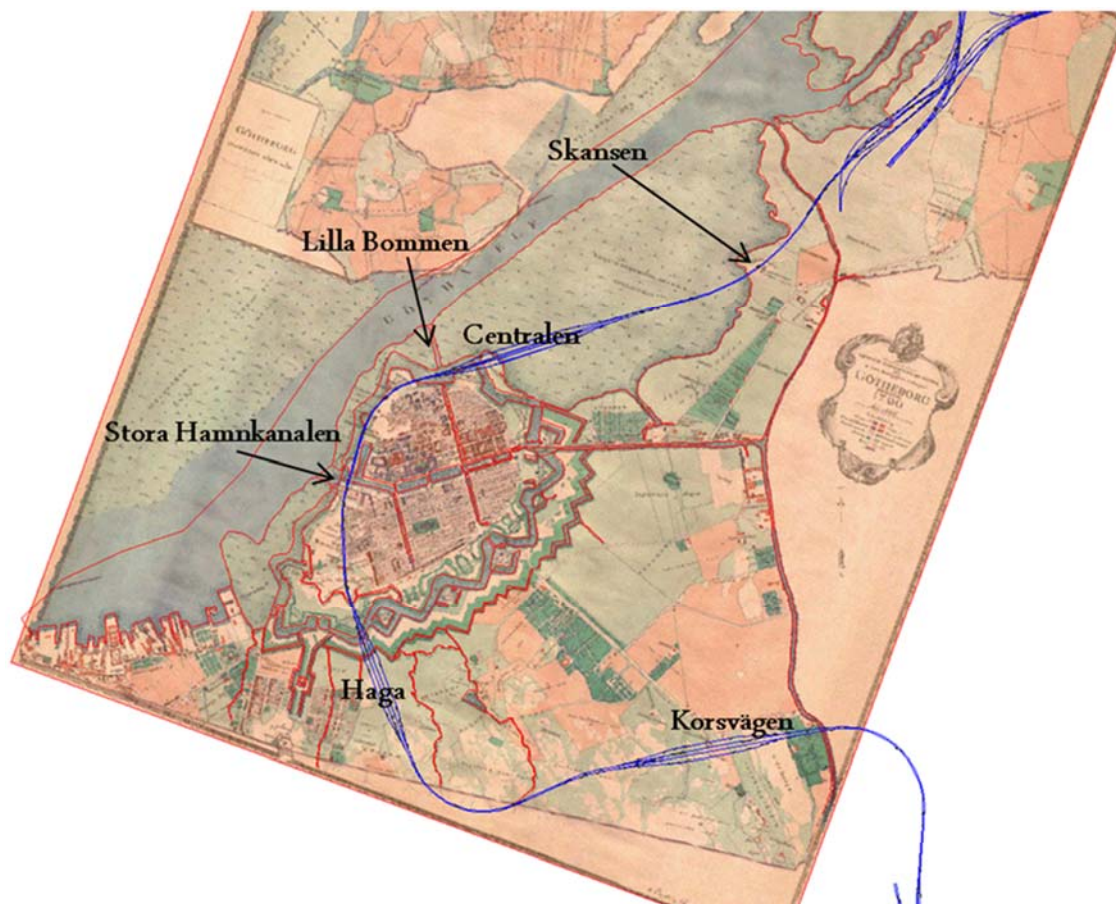
I höjdområdena i söder går berget i dagen medan berget är täckt av lera med stor mäktighet i de låglänta områdena kring vattendragen och i dalgångarna. Generellt utgörs jordlagren överst av fyllning, vilken vilar på ett relativt mäktigt lager av lera. Under leran finns normalt ett lager med friktionsjord innan berget tar vid.

Historiskt har flera omfattande utfyllnader utförts av områden som tidigare utgjordes av sankmarker och grunda vattenområden, till exempel områdena kring Partihallarna och Gullbergsvass, se Figur 2. Som fyllnadsmaterial användes framförallt muddermassor från älven samt olika schakt- och rivningsmassor.

I Figur 3 visas en karta över Göteborgs utbredning år 1790 med kanaler och våtmarker som idag är igenfyllda. När stadens befästningar anlades på 1600-talet låg strandlinjen precis utanför Kvarnberget och Nordstan omgärdades av vatten i både norr och öster. De då befintliga Östra och Västra Hamnkanalerna är nu igenfyllda. Den nuvarande Vallgraven har tidigare haft olika utbredning och det har även funnits en mindre vallgrav mellan Fattighusån och Kungssportsplatsen. Även inom andra delar av området kan man på äldre kartor se vattenkanaler, dammar och åar, vilka nu fyllts igen eller kulverterats.



Figur 2. Jordartskarta för centrala Göteborg söder om Göta älv.



Figur 3. Göteborgs utbredning 1790 samt Västlänken och Olskroken planskildhet. Området nordöst om Göteborgs centrum utgjorde tidvis översvämningsområden med vassbeväxta ytor, vilket även gällde för områden vid Järntorget (PM Geoteknik stabilitet).

Fyllningen har normalt en mäktighet av cirka 1 till 3 m, men lokalt kring Station Centralen, och från Lilla Bommen till Stora Hamnkanalen, se Figur 2, uppgår den till cirka 5 till 7 meter, där det förekommer områden med igenfyllda vattenområden, återfyllda kanaler och/eller hamnbassänger. Fyllningen på större djup utgörs ofta av muddermassor eller schaktmassor och är mer finkornig än fyllningen på yttligare nivåer. Den senare utgörs av överbyggnadsmaterial men även rivningsrester från äldre bebyggelse.

Under fyllningen följer en naturligt avlagrad lera, vars mäktighet varierar kraftigt. I områdena kring Partihallarna, delar av Olskroken, Göteborgs Central, Lilla Bommen och Rosenlund/Haga förekommer stora lerdjup med mäktigheter mellan 40 och 100 meter, se Figur 2. Kring Korsvägen och i området kring Mölndalsåns dalgång söder om Örgrytevägen är lerdjupen mellan 20 och 40 meter.

Under leran följer vanligtvis ett lager friktionsjord med några meters mäktighet som vilar på berget. Närmast områden med berg i dagen avtar i regel friktionslagrets mäktighet till 0,5-1,0 meter eller saknas helt. Friktionsjorden består till stora delar av sand men även grövre material som grus, sten och block förekommer.

6 Hydrogeologiska undersökningar

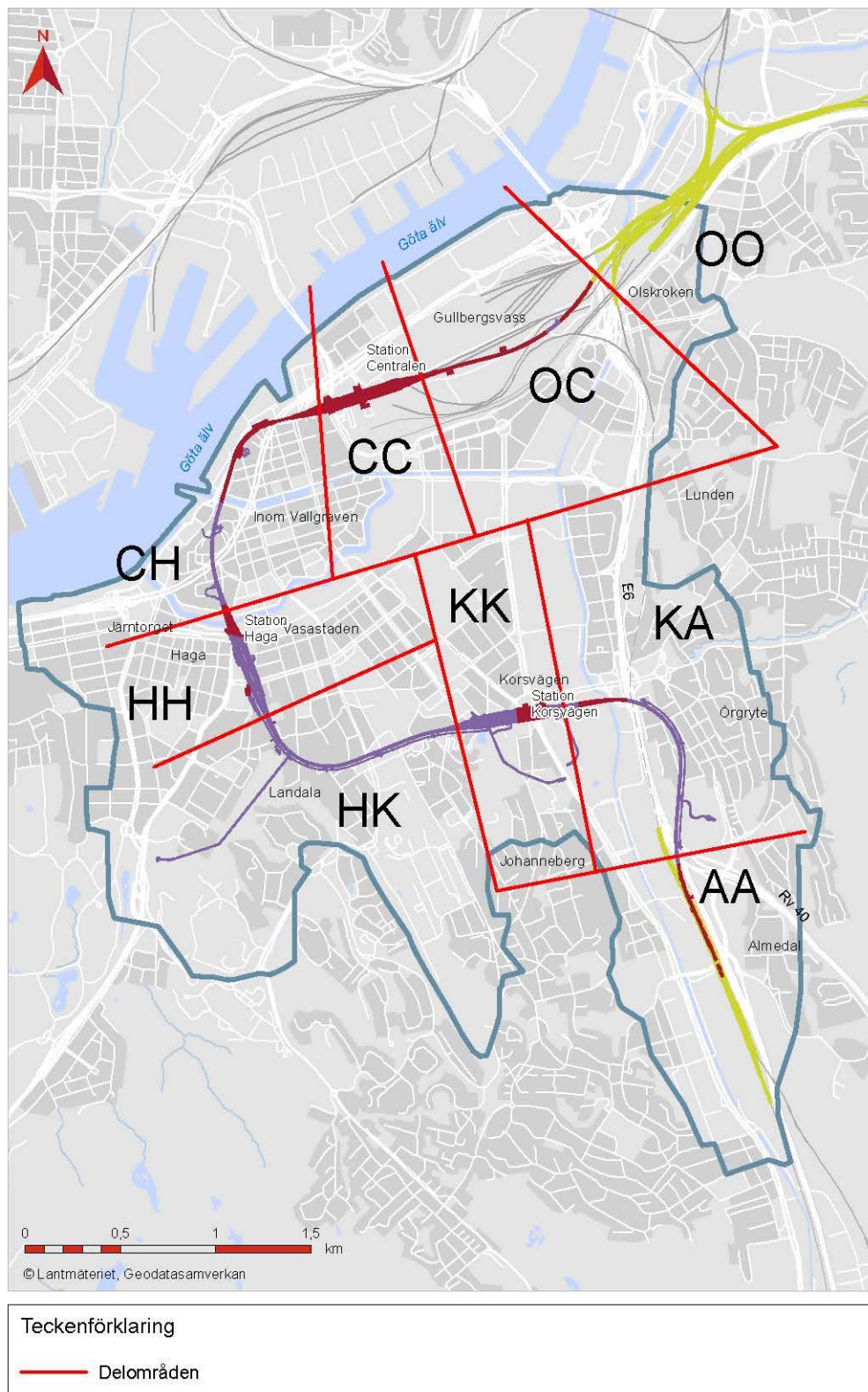
6.1 Inledning

Hydrogeologiska fältundersökningar i jordlagren för projekt Västlänken har utförts huvudsakligen av uppdraget AKF4 (Hydrogeologi). Sonderingar samt etablering av grundvattenrör och porttrycksmätare har även utförts av uppdraget AKF5 (Geoteknik). Kompletterande borrhningar och provpumpningar samt etablering av grundvattenrör har utförts inom ramen för MPU.

Förutom de undersökningar som utförts för projekt Västlänkens räkning, finns en stor mängd information om de hydrogeologiska förhållandena i jordlagren i Göteborg från tidigare utredningar och genomförda byggnationer. En inventering av befintligt material från utförda hydrogeologiska utredningar inom utredningsområdet genomfördes av AKF4 för projekt Västlänken och har sedan kompletterats inom ramen för MPU. Väsentlig information från tidigare utredningar redovisas inom beskrivningen för respektive delområde i denna PM.

6.2 Områdesindelning

I efterföljande avsnitt ges en beskrivning av de hydrogeologiska undersökningarna som utförts inom projekt Västlänken. Redovisningen följer en geografisk uppdelning enligt Figur 4 nedan.

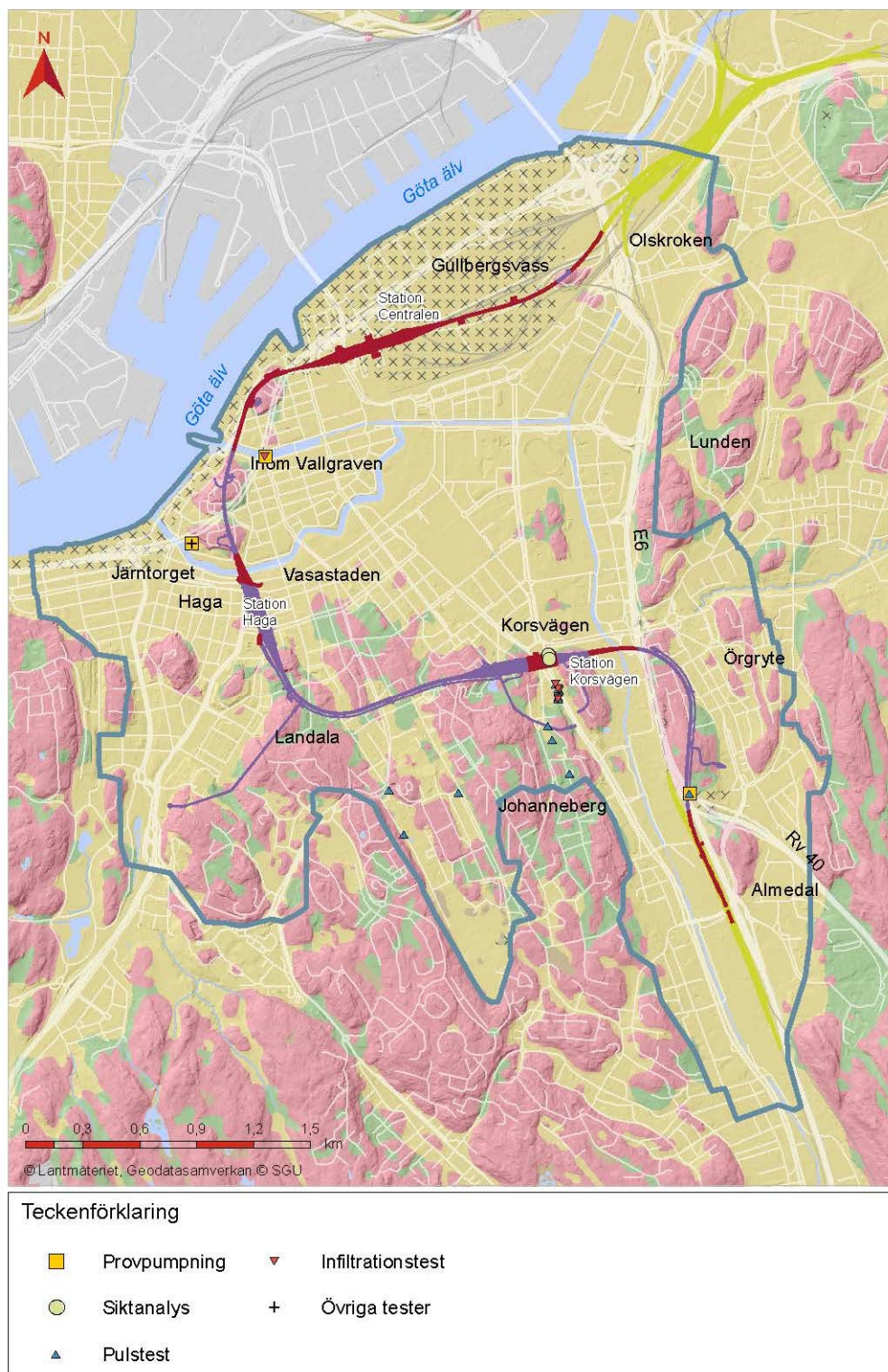


Figur 4. Områdesindelning.

6.3 Omfattning av undersökningar

6.3.1 Tidigare utförda utredningar

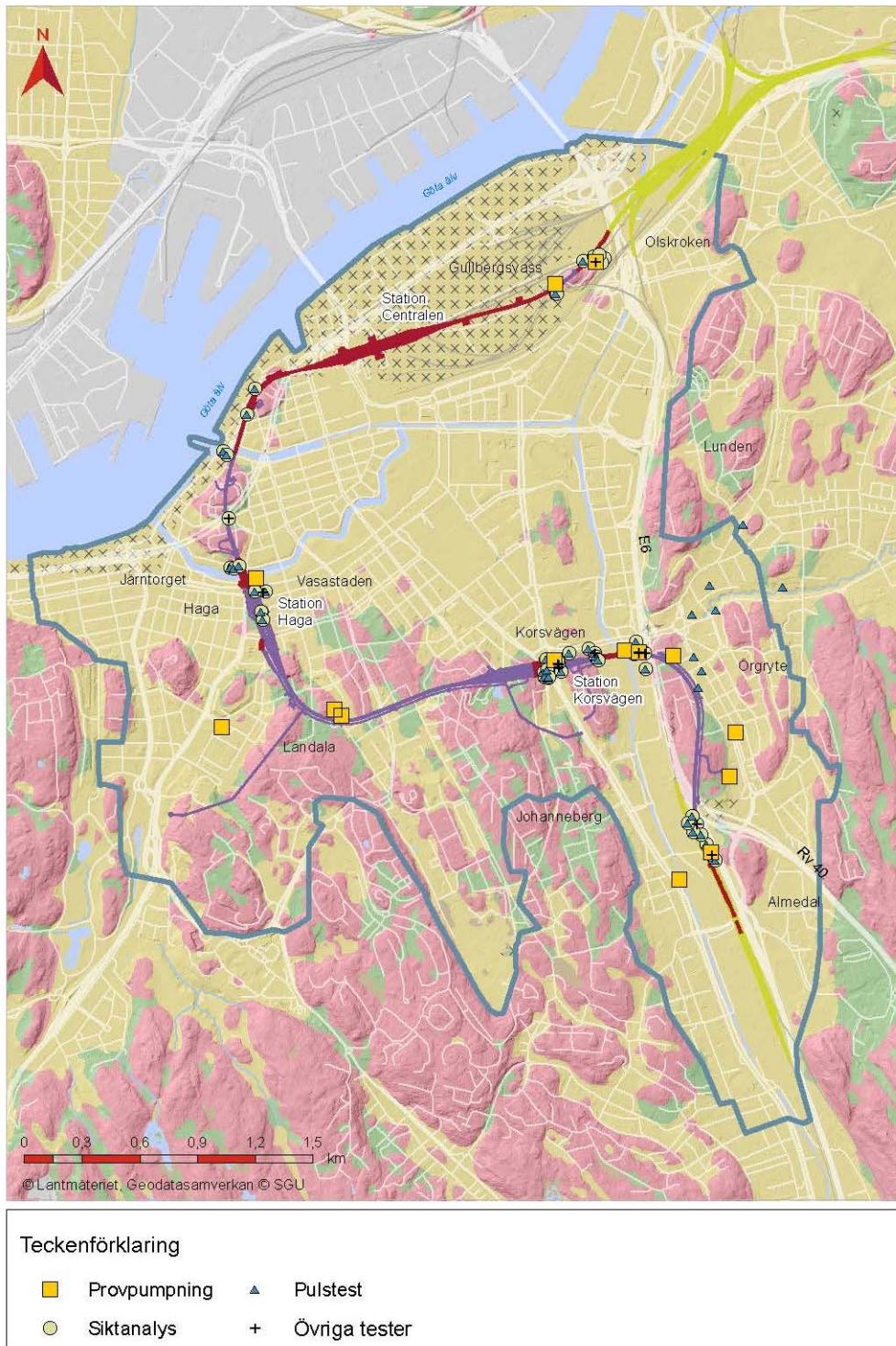
Information från ett antal tidigare utredningar har inhämtats. Lägen för var data till dessa utredningar har insamlats redovisas i Figur 5. En kort sammanfattning av resultaten från utredningarna med avseende på jordlagrens egenskaper redovisas i respektive delområdeskapitel.



Figur 5. Lägen för tidigare utförda hydrogeologiska undersökningar i jord.

6.3.2 Utförda undersökningar inom projekt Västlänken

Undersökningar har utförts inom AKF-uppdragen samt inom MPU. En stor mängd borrhålar och etablering av grundvattenrör har utförts och i de flesta borrhålen har jordprovtagning och siktanalyser utförts. I många av borrhålen har dessutom olika hydrauliska tester utförts. Läge och undersökningstyp redovisas i Figur 6.



Figur 6. Läge och undersökningstyp för undersökningar i jord, utförda inom projekt Västlänken.

Inom Västlänken har 10 provpumpningar i sammanlagt 14 pumpbrunnar utförts. Dessa redovisas inom respektive delområde i avsnitt 7 till 15. En sammanställning av vilka borrhålar och tester som har utförts redovisas även i Tabell 1. Även hammarborrhål vid tunnelpåslag redovisas då de dels borraras för att ta jordprover och dels för att studera de hydrogeologiska förhållandena i undre friktionslagret (och ytberget).

Grundvattenrör som enbart etablerats för att utgöra kontrollpunkter för grundvattennivå och porttrycksspetsar för att mäta porttryck redovisas ej i sammanställningen. Dessa finns redovisade i Trafikverkets mätdatabas för omgivningspåverkan, TMO.

Tabell 1. Sammanställning av borrhåsar och hydrauliska tester.

Område	Namn	Grundvatten-magasin	Borrhåls-längd (m)	Siktanalys	Utförda hydrauliska tester
OC Olskroken-Centralen	OC4001B	Undre	12,6	Nej	Provpumpning
	OC4001U	Undre	19,3	Ja	Pulstest
	OC4002B	Undre	15,0	Nej	Provpumpning
	OC4002U	Undre	19,0	Ja	Pulstest
	OC4003U	Undre	14,1	Ja	Pulstest
	OC4005O	Övre	3,0	Ja	Pulstest
	OC4006O	Övre	2,7	Ja	
	OC4007U	Undre	10,0	Ja	
	OC4008U	Undre	17,7	Ja	
	OC4009U	Undre	11,1	Ja	
	OC4010U	Undre	12,6	Ja	
	OC4011U	Undre	12,0	Ja	
	OC4012U	Undre	15,1	Ja	
	OC4001H	Berg	18,0	Ja	Återhämtning vid borrhåsar
CH Centralen-Haga	CH4001U	Undre	10,3	Ja	Pulstest
	CH4003U	Undre	22,4	Ja	Pulstest
	CH4004U	Undre	15,0	Ja	Pulstest
	CH4005U	Undre	8,5	Ja	Pulstest
	CH4008U	Undre	15,3	Ja	Viss hydraulisk information från borrhåsar
	CH4001H	Berg	16,5	Ja	
HH Haga	HH4007U	Undre	16,7	Ja	Pulstest
	HH4008U	Undre	14,3	Ja	Pulstest
	HH4009U	Undre	18,0	Ja	Pulstest
	HH4001B	Undre	61,1	Nej	Provpumpning
	HH4001H	Berg	35,3	Nej	
	HH4001U	Undre	32,0	Ja	Pulstest
	HH4002U	Undre	19,7	Ja	Pulstest
	HH4005O	Övre	12,8	Ja	Pulstest
	HH4006O	Övre	11,1	Ja	Pulstest
HK Haga-Korsvägen	HK4001B	Undre	26,0	Nej	Provpumpning
	HK4001H	Berg	72,0	Nej	Provpumpning
	HK4215H	Berg	115,5	Nej	Provpumpning
	KK4001B	Undre	19,7	Nej	Provpumpning
	KK4001H	Berg	19,0	Ja	Återhämtning vid borrhåsar
	KK4001U	Undre	11,5	Ja	Pulstest
KK Korsvägen	KK4002H	Berg	38,0	Nej	Återhämtning vid borrhåsar
	KK4002U	Undre	19,2	Ja	Pulstest
	KK4003H	Berg	38,5	Nej	Återhämtning vid borrhåsar
	KK4003U	Undre	12,2	Ja	Pulstest

Område	Namn	Grundvatten- magasin	Borrhåls- längd (m)	Siktanalys	Utförda hydrauliska tester
	KK4004U	Undre	19,9	Ja	Pulstest
	KK4005U	Undre	22,7	Ja	Pulstest
	KK4006M	Mellan	13,2	Nej	Pulstest
	KK4007M	Mellan	10,0	Ja	Pulstest
	KK4008U	Undre	24,0	Ja	
	KK4009U	Undre	21,0	Nej	Pulstest
	KK4010U	Undre	20,3	Ja	Pulstest
	KK4011O	Övre	1,5	Ja	Pulstest
	KK4012U	Undre	21,5	Ja	
	KK4013U	Undre	18,0	Nej	Pulstest
	KK4014U	Undre	12,3	Ja	Pulstest
	KK4015M	Mellan	11,0	Ja	Pulstest
	KK4016U	Undre	9,5	Ja	Pulstest
KA Korsvägen - Almedal	KA4007U	Undre	9,4	Ja	Pulstest
	KA4008U	Undre	15,1	Ja	Pulstest
	KA4009U	Undre	15,9	Ja	Pulstest
	KA4010U	Undre	18,1	Ja	Pulstest
	KA4005H	Berg	32,0	Ja	Återhämtning vid borring
	KA4001H	Berg	33,6	Nej	Provpumpning, Återhämtning vid borring, Pulstest
	KA4001B	Undre	16,6	Nej	Provpumpning
	KA4001U	Undre	32,0	Ja	Pulstest
	KA4002H	Berg	40,5	Ja	Återhämtning vid borring
	KA4002U	Undre	24,3	Ja	Pulstest
	KA4003H	Berg	40,5	Ja	Återhämtning vid borring
	KA4003U	Undre	20,6	Ja	Pulstest
	KA4004H	Berg	33,5	Ja	Återhämtning vid borring
	KA4004U	Undre	27,0	Ja	Pulstest
	KA4005H	Berg	32,0	Ja	Återhämtning vid borring
	KA4005O	Övre	2,1	Nej	Pulstest
	KA4006U	Undre	12,4	Ja	Pulstest
	KA4006H	Berg	39,0	Nej	Provpumpning
	KA4103U	Undre	9,2	Nej	Pulstest
	KA4104U	Undre	6,7	Nej	Pulstest
	KA4203U	Undre	13,0	Nej	Pulstest
	KA4205U	Undre	20,0	Nej	Pulstest
	KA4206U	Undre	6,3	Nej	Pulstest
	KA4207U	Undre	19,5	Nej	Pulstest
	KA4208U	Undre	16,4	Nej	Pulstest
	KA4213U	Undre	3,7	Nej	Pulstest
AA Almedal	AA4001B	Undre	39,4	Nej	Provpumpning
	AA4001H	Berg	16,0	Ja	Återhämtning vid borring
	AA4001U	Undre	10,7	Ja	Pulstest
	AA4002H	Berg	29,0	Ja	Återhämtning vid borring

Område	Namn	Grundvatten- magasin	Borrhåls- längd (m)	Siktanalys	Utförda hydrauliska tester
	AA4002U	Undre	13,7	Ja	Pulstest
	AA4003U	Undre	11,6	Ja	Pulstest
	AA4004U	Undre	7,2	Ja	Pulstest
	AA4005U	Undre	12,6	Ja	Pulstest
	AA4006U	Undre	13,4	Ja	Pulstest
	AA4004H	Berg	27,0	Nej	Provpumpning
	AA4005H	Berg	35,3	Nej	Provpumpning

6.4 Undersökningsmetodik

6.4.1 Borrningar i jord

Borrning i jord och etablering av grundvattenrör och brunnar har utförts med olika syften. När syftet har varit att undersöka jordlagrens vattenförande förmåga har AKF 4 benämnt detta som "egenskapsborrning". Ett annat syfte med borrning i jord är att etablera grundvattenrör för mätningar av grundvattennivåer. Den senare typen av borrningar har utförts i stor omfattning, men redovisas ej i denna PM.

Stort fokus har lagts på att undersöka förhållandena kring planerade bergtunnelpåslag. Utifrån informationen från Järnvägsutredningen (JU), geotekniska sonderingar (Jb + CPT) innan de hydrogeologiska borrningarna samt preliminär nivå för påslaget, identifierades intresseområdet för hydrogeologiska borrningar. Borrningarna utfördes i 1-3 borrhålskampanjer inom respektive delområde. Resultaten från den första borrhålskampanjen har tillsammans med preliminärt tolkade geotekniska sonderingar och andra resultat legat till grund för eventuella kompletterande borrningar.

De beskrivna tolkningarna av jordlagerföljden är tolkningar baserade på borrningen och är endast indikationer som ligger till grund för olika hydrogeologiska överväganden. Den vertikala övergången mellan mer sorterad friktionsjord och underliggande morän är exempelvis svårbestämd med använd borrhåls- och provtagningsmetod, varför dessa två jordtyper här är svåra att säkert skilja åt. Ett större olikformighetstal U från siktanalyser och lägre vattenföring i botten av jordprofilen vid borrning, indikerar dock ett ökat inslag av moränjord. Tolkning av jordarter och jordartssammansättning här gäller således inom de begränsningarna som provtagningsmetodikerna har. Erhållna borrhålsresultat har jämförts med fälttolkningar av Jb- och CPT sonderingar i borrhålspunkten.

Generellt har jordborrning utförts direkt med 2" stålrör, där material spolats eller blåses upp genom 8 mm slitsar i stålrörets nedersta meter. Rörtyperna var en kompromiss för att medge dels eventuella större kornstorlekar att flyta in, och dels att kunna vara kvarstående rör för grundvattenobservationsmätning. Rörtyperna medger tyvärr också att finkornigt material flyter in i röret. Siktanalyser av material som spolats eller blåsts upp genom slits i botten av stålrör riskerar att överskatta provernas hydrauliska konduktivitet (visa grövre material), jämfört med kärna/slang-provtagning.

Brunnar med förlorat filter eller formationsfilter har utförts för provpumpningar vid Gullberg (OC4001B och OC4002B), Haga (HH4001B), Annedal (HK4001B), Korsvägen (KK4001B), Lisebergsgaraget (för JU, saknar beteckning), Skår (KA4001B) och Annedal (HK4001B).

Vid Station Centralen har tre skruvprovtagningar gjorts för eftersökning av en igenfylld vallgrav samt för grundvattennivåmätning och bedömning av lokal dräneringsnivå.

6.4.2 Jordprovtagning

Jordprover spolades eller blåstes upp varje meter ifrån 2"-rören. Drygt 130 representativa jordprover, inklusive prov från hammarborrhål och lera/silt, har tagits och genomgått siktanalys och/eller hydrometertest för översiktlig bestämning av hydraulisk konduktivitet enligt Gustafsons formel (Andersson m. fl. 1984).

Samma provtagning har också utförts för jorddelen vid hammarborrningarna. Även några av dessa prover har genomgått siktanalys.

Grundvattnet i jord och berg har provtagits och analyserats på fysikaliska-kemiska parametrar. För provpumpningarna uttogs dessutom tre vattenprover per pumpning för att studera eventuell tidsberoende förändring i kemisk sammansättning. Resultatet från vattenprovtagning redovisas i PM Grundvattenkemi.

6.4.3 Hydrauliska tester

Hydrauliska tester har genomförts, dels i hammarborrhålen som kapacitetstester i samband med utförandet av borrhålen, dels som pulstester (mätning av återhämtningen efter att en tryckstörning i form av en mindre vattenvolym hållts i hålet) i 2"-rören i jord och dels provpumpningar i jordfilterbrunnar och hammarborrhål. Syftet med de hydrauliska testerna är att tillsammans med resultatet från genomförda borrhningar och siktanalyser skapa en tillräckligt god bild av de hydrogeologiska förhållandena.

Pulstesterna ger en översiktlig bild av hydraulisk konduktivitet i filterspetsens absoluta närområde, liksom i bottendelarna av jordprofilen. Rödrivningen till undre magasinet har vanligen avbrutits i bottendelarna av friktionsjorden på berg, varför kompletterande hydrauliska tester ofta återspeglar den hydrauliska konduktiviteten nära bergöverytan. Konduktiviteten från hydrauliskt test, (K_{ht}) har rör för rör jämförts med hydraulisk konduktivitet från siktanalyserna (K_{sa}). Kvoten K_{ht}/K_{sa} är lika med 1 för full överensstämmelse och <1 om $K_{ht} < K_{sa}$. Om $K_{ht}/K_{sa} < 1$ antyder detta att den hydrauliska konduktiviteten från det hydrauliska testet antingen är reducerad, beroende på partiell separation/igensättning, eller att siktanalysen visar ett grövre material än vad som kan förväntas beroende på separation av jordmaterialet, eller en kombination av båda faktorerna. Om jordmaterial har flutit in i röret innan testet, innebär detta att den hydrauliska konduktiviteten underskattas genom att den hydrauliskt testade jorden kommer att bestå av finare material i röret och relativt grövre material utanför röret. Inflyt av material i det testade röret innebär alltså alltid en reducerad uppmätt hydraulisk konduktivitet, och den utvärderade hydrauliska konduktiviteten tenderar att representera det influerna materialets hydrauliska konduktivitet istället. Utvärdering av magasinskoefficient (S) eller specifik magasinskoefficient (S_s) från pulstester ger generellt osäkra värden, men redovisas ändå för att ge en storleksordning på magasinskoefficienten.

Testerna utfördes genom att en bestämd volym vatten fylldes i rören. Grundvattenytans trycknivåförändring mättes med tryckgivare. De första 10 minuterna genomfördes även manuella mätningar. Resultatet har utvärderats för de flesta testerna enligt metod av Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos (1967).

I hammarborrhålen genomfördes istället mätning av grundvattenytans återhämtning i samband med borrhningen. En tryckgivare, för mätning av grundvattenytans trycknivåförändring, hängdes ner i borrhålet direkt efter kapacitetstest av borrhålet när borrhutrustningen dragits upp ur borrhålet. Utvärderingen av återhämtningsmätningen genomfördes med metod enligt Cooper-Jacob (1946).

Sammanlagt 10 provpumpningar har utförts inom projekt Västlänken.

- Gullberg, två olika pumpningar i jordbrunnar
- Hagaparken, pumpning i jordbrunn
- Annedal, pumpning i jordbrunn
- Landala, pumpning i två bergbrunnar
- Korsvägen, pumpning i jordbrunn
- Lisebergsgaraget, pumpning i bergbrunn
- Örgryte, pumpning i bergbrunn
- Skår, pumpning i bergbrunn
- Almedal, pumpning i jordbrunn

Resultaten sammanfattas inom aktuella delavsnitt i denna PM.

6.4.4 Grundvattennivåmätningar

Inom projektet Västlänken har det till och med 2015 etablerats ca 260 grundvattenrör. Av dessa mäts grundvattennivåer regelbundet i ungefär 250. Ett kontrollprogram för grundvatten har tagits fram inom miljöprövningsuppdraget (MPU). Under förskedet (fram till byggstart) sker manuell mätning av

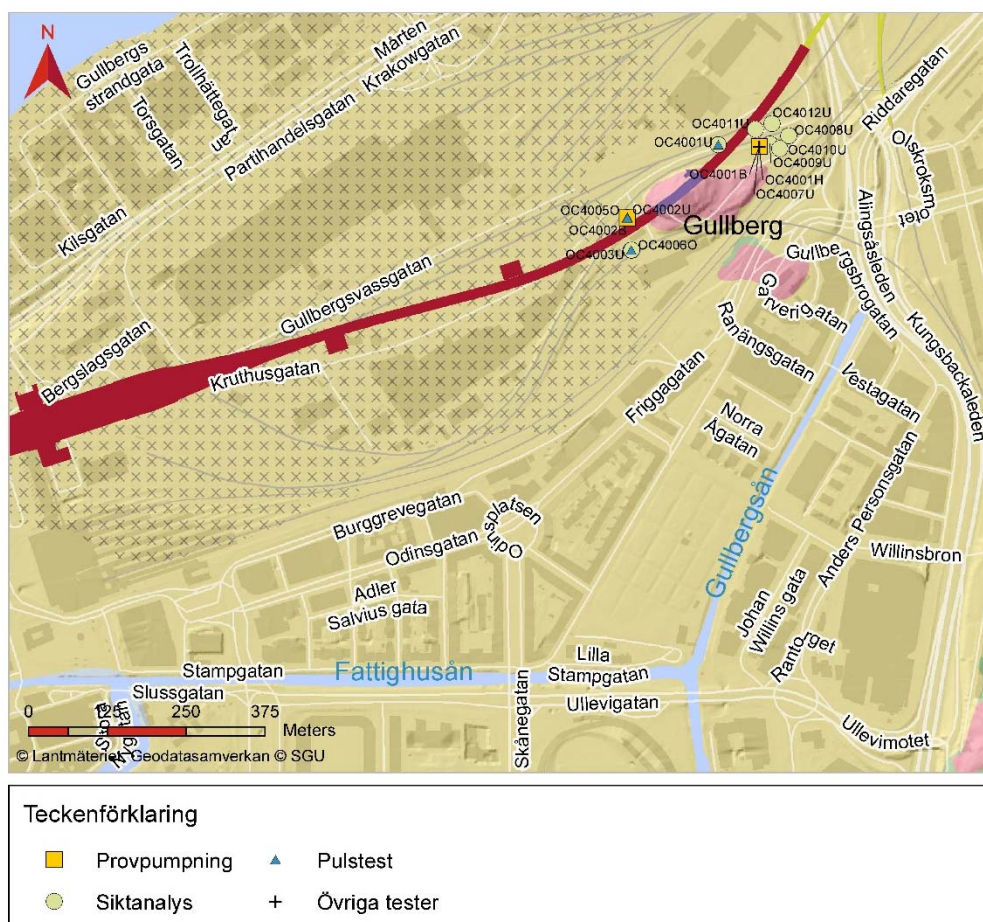
grundvattennivå månadsvis. I utvalda kontrollpunkter har automatiskt loggande tryckgivare installerats. Mätdata lagras i Trafikverkets mätdatabas för omgivningspåverkan, TMO. I TMO lagras även såväl historiska som aktuella mätdata från externa rör, det vill säga sådana rör som mäts inom ramen för andra pågående kontrollprogram.

7 Delområde OO – Olskroken

Delområde OO är beläget nordost om Olskroken. Inom delområde OO finns inga inventerade, tidigare utförda undersökningar. Inga kompletterande hydrogeologiska undersökningar har heller utförts inom detta område eftersom anslutande spår till Västlänken ska gå ovan mark.

8 Delområde OC – Olskroken-Station Centralen

Inom delområde OC, se Figur 7, har inventeringen inte visat på några tidigare utredningar. För projekt Västlänken och Olskroken planskildhet har egenskapsborrningar med siktanalyser, hydrauliska tester i form av pulstester och propumpningar utförts.



Figur 7. Läge för inventerade och utförda undersökningar inom delområde OC.

8.1 Borrningar och siktanalys

Borrningar i jord har utförts kring Gullberg där Västlänken ska gå i en kort bergtunnel. Tunnelarbeten omfattar förskärningar med kontakter mot både övre och undre magasin i jord. Lägen för undersökningspunkter vid Gullberg redovisas i Figur 7. Nio 2" stålrör (1 m perforerad rörspets i form av 8 mm hål) har etablerats i det undre magasinet, OC4001U-4003U, OC4007U-4012U. Två 2" stålrör (1 m perforerad rörspets i form av 6 mm hål) har etablerats, OC4005O-4006O. Ett hammarborrhål, OC4001H är borrarat till 18 meters djup varav 11 i jord. I samband med de kompletterande borrningarna planerades att installera ett filter i jordlagren i tidigare utfört hammarborrhål för att detta skulle kunna användas som

pumpbrunn i planerad provpumpning. Hammarborrhålets foderrör drogs därför upp i detta syfte och filtret installerades, men brunnen misslyckades och fick göras om strax intill istället. OC4001H existerar därför inte längre och filterbrunnen som ligger intill heter OC4001B och har diameter 130 mm och 2 m filter.

Erhållna borrhingsresultat redovisas i Tabell 2 och Tabell 3 och har dels använts för att återtölka utförda Jb- och CPT-sonderingar i borrhypunkten, men huvudsakligen för att erhålla en bild över friktionsjordens hydrauliska egenskaper i undre magasin.

Jordartsprofilen vid påslaget kan generellt beskrivas uppifrån och ned som: fyllning-lera-sand-berg. Totalt uppskattas jorddjupet i nivå med påslaget vara ca 12-16 meter. Djup till friktionsjord under lera/silt vid påslaget är ca 7-12 m. Jorddjupet ökar påtagligt i riktning mot Göta älv, samt i riktning mot Centralstationen.

Tabell 2. Resultat av siktanalyser från borrhypningar. d_{10} , d_{30} , d_{60} , olikformighetstalet (graderingstalet) $U=d_{60}/d_{10}$ och krökningstalet $Cc=d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$. Redovisad jordart är bedömd vid borrhypning.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	U (-)	Cc (-)
OC4001H	7,0-8,0	Sa Gr	0,84	1,6	2,60	3,10	1,17
OC4001H	8,0-9,0	Sa	0,21	0,4	0,85	4,05	0,90
OC4001H	9,0-10,0	gr Sa	0,33	0,89	2,20	6,67	1,09
OC4001H	10,0-11,0	gr Sa	0,3	0,61	1,40	4,67	0,89
OC4001H	11,0-12,0	gr Sa	0,38	0,54	1,30	3,42	0,59
OC4001U	18,0-19,0	Sa	0,068	0,13	0,18	2,65	1,38
OC4001U	19,0-19,3	Sa	0,077	0,13	0,18	2,34	1,22
OC4002U	14,0-15,0	Sa	0,063	0,125	0,19	3,02	1,31
OC4002U	15,0-16,0	Sa	0,11	0,2	0,33	3,00	1,10
OC4002U	16,0-17,0	gr Sa	0,064	0,14	0,27	4,22	1,13
OC4002U	17,0-18,0	Sa	0,11	0,33	0,75	6,82	1,32
OC4002U	18,0-19,0	Sa	0,063	0,33	0,32	5,08	5,40
OC4003U	12,0-13,0	si Sa	0,05	0,09	0,17	3,40	0,95
OC4003U	13,0-14,0	Sa	0,08	0,13	0,20	2,50	1,06
OC4005O	1,0-2,0	Sa	0,05	0,23	0,49	9,80	2,16
OC4006O	0,0-2,7	si Sa			0,26		
OC4007U	7,0-8,0	Sa	0,08	0,14	0,22	2,75	1,11
OC4007U	8,0-9,0	Sa	0,25	0,39	0,80	3,20	0,76
OC4007U	9,0-10,0	Sa	0,32	0,53	1,10	3,44	0,80
OC4008U	16,0-17,0	gr Sa	1,102	0,553	1,78	1,61	0,16
OC4008U	15,0-16,0	gr Sa	0,04	0,596	1,83	45,85	4,84
OC4008U	15,5-16,5	Sa	0,084	0,163	0,65	7,73	0,49
OC4009U	8,0-9,0	Sa	0,132	0,215	0,37	2,77	0,96
OC4009U	9,0-10,0	Sa	0,169	0,329	0,71	4,22	0,90
OC4010U	11,6-12,6	Sa	0,074	0,134	0,19	2,62	1,25
OC4011U	13,1-14,1	Sa	0,066	0,118	0,19	2,80	1,14
OC4012U	13,4-14,4	Sa	0,081	0,144	0,21	2,64	1,20

Tabell 3. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet (K) från siktanalyser. K_{G50} , K_{G80} , och K_{G90} enligt Gustafson (K_{G50} =median, K_{G80} =80%-percentil och K_{G90} =90%-percentil). K_{valt} avser valt värde för vidare jämförelsen med K utvärderat från hydrauliska tester (K_H). Redovisad jordart är bedömd vid borrhning.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	K_{valt} (m/s)	K_{Hazen} (m/s)	K_{G50} (m/s)	K_{G80} (m/s)	K_{G90} (m/s)
OC4001H	7,0-8,0	Sa Gr	1,1E-02	8,16E-03	1,14E-02	5,60E-03	3,66E-03
OC4001H	8,0-9,0	Sa	6,6E-04	5,10E-04	6,61E-04	3,24E-04	2,11E-04
OC4001H	9,0-10,0	gr Sa	1,3E-03	1,26E-03	1,30E-03	6,39E-04	4,18E-04
OC4001H	10,0-11,0	gr Sa	1,3E-03	1,04E-03	1,28E-03	6,25E-04	4,08E-04
OC4001H	11,0-12,0	gr Sa	2,3E-03	1,67E-03	2,28E-03	1,12E-03	7,30E-04
OC4001U	18,0-19,0	Sa	7,7E-05	5,35E-05	7,70E-05	3,77E-05	2,46E-05
OC4001U	19,0-19,3	Sa	1,0E-04	6,86E-05	9,98E-05	4,89E-05	3,19E-05
OC4002U	14,0-15,0	Sa	6,5E-05	4,59E-05	6,47E-05	3,17E-05	2,07E-05
OC4002U	15,0-16,0	Sa	2,0E-04	1,40E-04	1,97E-04	9,67E-05	6,31E-05
OC4002U	16,0-17,0	gr Sa	6,0E-05	4,74E-05	6,04E-05	2,96E-05	1,93E-05
OC4002U	17,0-18,0	Sa	1,4E-04	1,40E-04	1,43E-04	7,02E-05	4,59E-05
OC4002U	18,0-19,0	Sa	5,4E-05	4,59E-05	5,43E-05	2,66E-05	1,74E-05
OC4003U	12,0-13,0	si Sa	4,0E-05	2,89E-05	3,96E-05	1,94E-05	1,27E-05
OC4003U	13,0-14,0	Sa	1,1E-04	7,40E-05	1,07E-04	5,25E-05	3,43E-05
OC4005O	1,0-2,0	Sa	2,4E-05	2,89E-05	2,42E-05	1,18E-05	7,73E-06
OC4006O	0,0-2,7	si Sa					
OC4007U	7,0-8,0	Sa	1,1E-04	7,40E-05	1,06E-04	5,19E-05	3,39E-05
OC4007U	8,0-9,0	Sa	1,0E-03	7,23E-04	1,00E-03	4,92E-04	3,22E-04
OC4007U	9,0-10,0	Sa	1,6E-03	1,18E-03	1,62E-03	7,92E-04	5,17E-04
OC4008U	16,0-17,0	gr Sa	2,0E-02	1,41E-02	1,97E-02	9,66E-03	6,31E-03
OC4008U	15,0-16,0	gr Sa	5,9E-06	1,85E-05	5,91E-06	2,89E-06	1,89E-06
OC4008U	15,5-16,5	Sa	7,8E-05	8,16E-05	7,81E-05	3,83E-05	2,50E-05
OC4009U	8,0-9,0	Sa	2,9E-04	2,02E-04	2,88E-04	1,41E-04	9,22E-05
OC4009U	9,0-10,0	Sa	4,2E-04	3,30E-04	4,21E-04	2,06E-04	1,35E-04
OC4010U	11,6-12,6	Sa	9,1E-05	6,34E-05	9,13E-05	4,47E-05	2,92E-05
OC4011U	13,1-14,1	Sa	7,2E-05	5,04E-05	7,19E-05	3,52E-05	2,30E-05
OC4012U	13,4-14,4	Sa	1,1E-04	7,59E-05	1,09E-04	5,35E-05	3,50E-05

Väster om Gullberg bedöms det upptagna materialet generellt vara vattenförande och har huvudsakligen jordartsklassificerats som sand. I både OC4002U (14-16 m djup) och i OC4003U (13-14 m) återfanns ett vattenförande sandlager med ett vattenflöde på ca 40 L/min. I OC4002 fanns ett skikt med inslag av finsand (mellan 16-17 m) med betydligt lägre vattenföring. Mellan 17-18 m fanns ett grövre skikt (grusig sand) men vattenföringen var lägre här än i sandskiktet (14-16 m). Mellan 18-19 m, där den perforerade rörspetsen nu sitter, fanns sand, men dock inget vatten av betydande mängd.

Norr om Gullberg är mäktigheten på friktionslagret mindre, i storleksordningen 0,5 – 1 m. I OC4001U påträffades ett lager av finsand/sand ovan berg på 17-18 m djup. Vattenföringen uppmättes till ca 20 L/min.

Sammantaget så görs bedömningen från kompletteringen att det finns ett ca 1-4 m mäktigt sand/gruslager under lera/silt i en sektor ONO-O, med en uppskattad bredd om ca 30 m.

Resultatet från siktanalyser indikerar att den hydrauliska konduktiviteten på friktionsjorden i det undre magasinet, i höjd med påslaget, varierar i storleksordningen 10^{-5} och 10^{-2} m/s. Medianvärdet för sammanlagt 25 siktprover är $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Inga skikt av friktionsjord i leran har påträffats vid utförda borrhningar.

Mäktigheten på fyllnadslagret som överlagrar leran varierar generellt sett mellan 1-3 meter i området. Ett lokalt övre grundvattenmagasin har kunnat påvisas i OC4005O. Provtagning av fyllnadsmaterialet från detta rör har utförts och siktanalysen visar på en hydraulisk konduktivitet på ca $2 \cdot 10^{-5}$ m/s.

8.2 Hydrauliska tester

8.2.1 Pulstester

I rören OC4001U, OC4002U, OC4003U och OC4005O har pulstester utförts. Utvärderingen av dessa sammanfattas i Tabell 4, men utvärderade värden på hydraulisk konduktivitet bedöms som tveksamma. De hydrauliska testernas K_{ht} -värde dividerat med motsvarande K_{sa} -värde från siktanalysen för samma borrhål, K_{ht}/K_{sa} , är 0,00011-0,046. Resultatet från pulstest i OC4001U, OC4003U och OC4005O är inte utvärderingsbara och resultaten från OC4002U är betydligt lägre än tolkat K-värde från siktanalyserna. Orsaken är att finmaterial flutit in i rören och täcker filterdelarna, vilket har påverkat testresultaten.

Diffusiviteten, K/S , ger ett mått på den horisontella utbredningen och tidsförlopp av en transient grundvattenstörning. Med $S_{undre} \approx 10^{-5}$ och ett $K_{undre} \approx 4 \cdot 10^{-4}$ m/s, blir $(K/S)_{undre} \approx 40$.

Rimlighetskontroller av utvärderade hydrauliska konduktiviteter har gjorts genom att jämföra resultaten med övrig tillgänglig information från jordprovtagning/siktanalys och kapacitetstest av hålen vid borrning. Sammantaget visar jämförelsen att utvärderad hydraulisk konduktivitet från pulstest i OC4002U ej är representativ för aktuellt jordlager. Resultaten från kapacitetstest och siktanalys är däremot relativt samstämmiga.

Tolkade specifika magasinskoefficienter (S_s) från pulstester är i allmänhet mycket osäkra, vilket innebär att resultatet enbart ska användas för en grov indikation. S_s för övre magasinet går däremot inte att uppskatta utifrån utförd pulstest. För undre magasinet beräknas S_s till ca 0,00001 i OC4002U. Detta indikerar att OC4002U representerar tydligt slutna förhållanden.

Tabell 4. Resultat av hydrauliska tester. K_{ht} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från hydrauliska tester, S_s : specifik magasinskoefficient, H_m : representativ magasinsmäktighet och K_{sa} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från siktanalyser för aktuellt filterintervall. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Borrhåls -typ	Nivå markyta (m)	Nivå filter ök (m)	Nivå filter uk (m)	K_{ht} (m/s)	S_s (-)	H_m (m)	K_{sa} (m/s)	K_{ht}/K_{sa}
OC4001U	2"-rör	2,11	-16,25	-17,25	-	-	2,3	7,7E-05	-
OC4002U	2"-rör	1,65	-16,39	-17,39	2,5E-06	1,0E-05	5	5,4E-05	0,046
OC4003U	2"-rör	1,42	-11,77	-12,77	-	-	2,1	1,1E-04	-
OC4005O	2"-rör	1,65	-0,41	-1,41	-	-	0,99	2,4 E-05	-

8.2.2 Kapacitetstester

I hammarborrhålet OC4001H har grundvattenytans återhämtning i samband med borrningen registrerats och utvärderats. Resultatet redovisas i Tabell 5. Troligen representerar resultatet från kapacitetstest berget på grund av dålig hydraulisk koppling till jordlagret på berg.

Tabell 5. Resultat av återhämtningsmätning från kapacitetstest i hammarborrhål. Resultatet representerar sannolikt berget och markeras därför med röd text.

Punkt	H_m (m)	Q/s (m ² /s)	T (m ² /s)	K (m/s)	S (-)
OC4001H	7	1,4E-07	1,2E-08	1,7E-09	-

8.2.3 Provpumpningar

Provpumpningar har genomförts vid två tillfällen, 2013 och 2014. Vid propvpumpningen under 2013 utfördes pumpning i brunn OC4001B och vid pumpningen 2014 i brunnarna OC4001B och OC4002B.

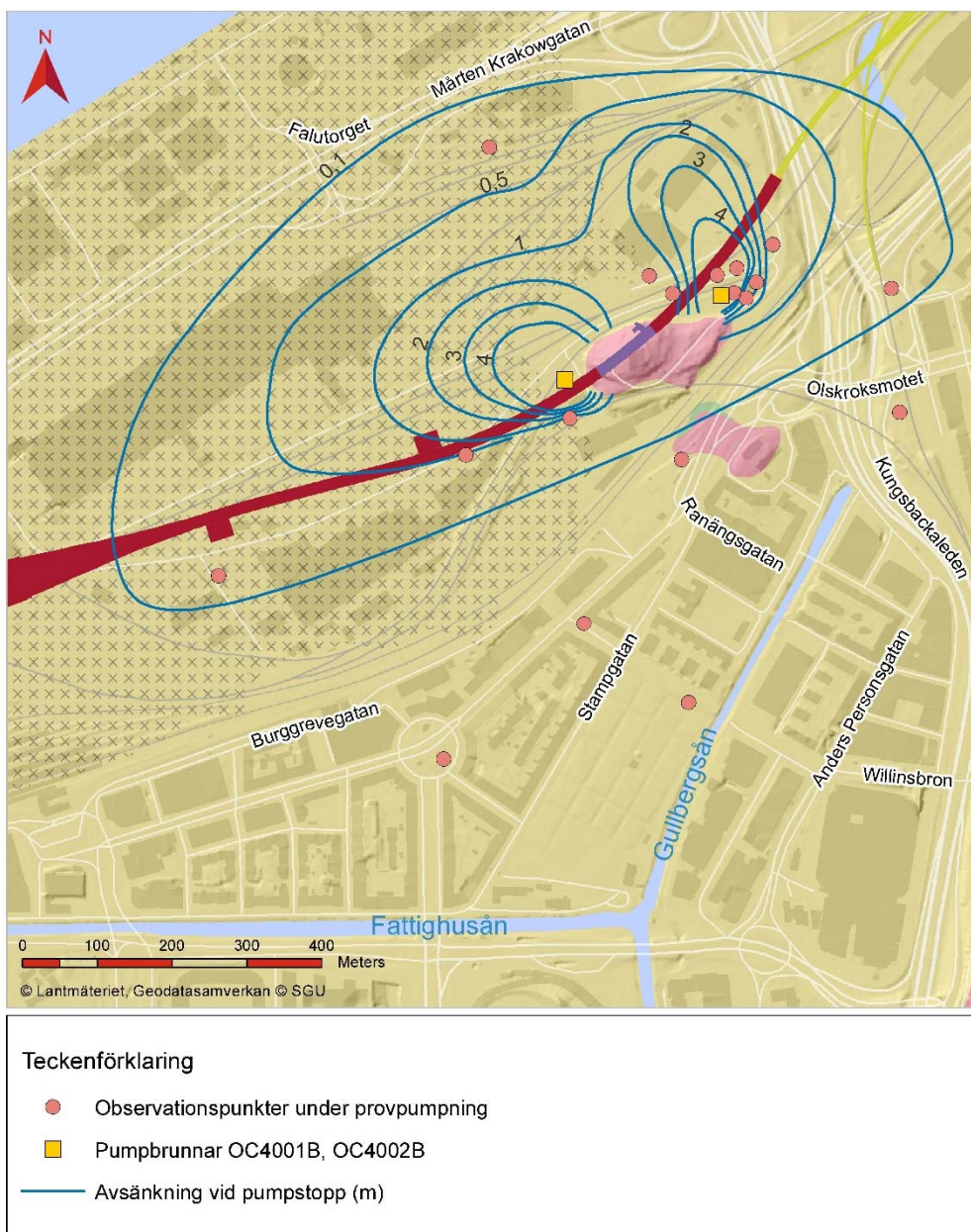
Syftet med propvpumpningen 2013, i OC4001B, var att undersöka egenskaperna och översiktligt den hydrauliska utbredningen av det grova friktionslagret under lera/silt på östra sidan av Gullberg. Brunnen är 11 m djup med s.k. förlorat filter mellan 10-11 meter under markytan. Friktionslagermäktigheten vid filternivån på platsen är ca 4 meter. Pumpflödet var ca 27 L/min under större delen av pumptesten.

Analysen visar att en kanalmodell med bredden 30 m kan förklara de inledande reaktionerna samt att därefter sker inflöde från omgivande friktionsmaterial till "kanalen" (bi-linjärt flöde). Den hydrauliska bredden stämmer med den tolkade fysiska bredden från borrhningar. Att avsänkningstakten ökar något under pumpfasen tolkas som att kanalen har en begränsad längdutsträckning, möjligen några hundra meter.

Med kanalegenskaper såsom uppskattade kanalbredd $B \approx 30$ m och transmissivitet $T_f = 1,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s erhålls $T \cdot S \approx 2,5 \cdot 10^{-10}$ m²/s, där T och S representerar egenskaperna utanför kanalen i det undre magasinet. Rimliga värden på S kan troligen ligga i intervallet 10^{-4} till 10^{-3} , vilket då ger $T = 3 \cdot 10^{-6}$ m²/s till $3 \cdot 10^{-5}$ m²/s, det vill säga tillflödande "skikt" till "kanalen" är då ca 1/100 så transmissivt som "kanalen" med skattad transmissivitet $T_f = 1,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s i undre magasinet. K_f för "kanalen" blir med antagen medelmäktighet $H = 2,5$ m i storleksordningen $5 \cdot 10^{-4}$ m/s och i tillflödande "skiktet" med H antaget till 1 m, ca $3 \cdot 10^{-6}$ till $3 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Provpumpningen som utfördes i april 2014 genomfördes som två parallella pumpningar i två brunnar: OC4001B och OC4002B. Det sammanlagda flödet var ca 24 L/min under första hälften av provpumpningen och 18 L/min under andra hälften. Grundvattennivåer mättes i 25 observationspunkter inklusive pumpbrunnarna. I åtta av punkterna, huvudsakligen öster och söder om pumpområdet, uppmättes ingen påverkan.

Påverkansområdets utbredning, vid en grundvattenbortledning om ca 24 L/min, bedöms i huvudsak sträcka sig i nordostlig-sydvästlig riktning men med viss utbredning även åt nordväst, se Figur 8. Utbredningen mot Stampenområdet i sydost tycks vara begränsad. Den hydrauliska transmissiviteten beräknas till omkring $4 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Magasinskoefficienten varierar mellan de utvärderade punkterna och har ett spann på ca $1 \cdot 10^{-4}$ till $1 \cdot 10^{-1}$. Återhämtningsförloppet efter provpumpningen är delvis långsamt vilket kan tolkas som att magasinet är förhållandevis begränsat. Detta gäller främst området nordost om Gullberg, där återhämtning i pumpbrunn (OC4001B) och observationspunkter tar flera månader.



Figur 8. Tolkat påverkansområde vid provpumpning Gullberg april 2014.

8.3 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde OC

Topografin inom delområdet är generellt flack med ett höjdparti vid en uppstickande bergknalle vid Gullberg samt i de östra delarna inom delområdet, öster om E6:an (Kungsbackaleden). Området har till stora delar hårdgjorda ytor i samband med bebyggda kvarter och trafikleder. Göta älv avgränsar området i norr och i de södra delarna av området finns Fattighusån samt Gullbergssån som kulverteras vid E6:an (Kungsbackaleden), se Figur 7 eller Figur 8.

Ett mäktigt lager med kohesionsjord kännetecknar delområdet, inom den nordvästra delen (inom befintligt banområde samt Gullbergsvass) överlagras leran av fyllnadsmassor med en mäktighet på omkring 1-3 m. Området var tidigare sankmark. Under leran finns ett friktionsjordslager bestående av sand och grus med varierande mäktighet. I en sektor ONO-O finns ett 1-4 m mäktigt sand- och gruslager med uppskattad bredd 30 m. Påverkan från provpumpningarna vid Skansen Lejonet sträcker sig i huvudsak i nordöstlig-sydvästlig riktning. Den hydrauliska konduktiviteten för friktionsjorden är omkring $5 \cdot 10^{-5}$ – $5 \cdot 10^{-4}$ m/s, med lokala variationer med både högre och lägre konduktiviteter.

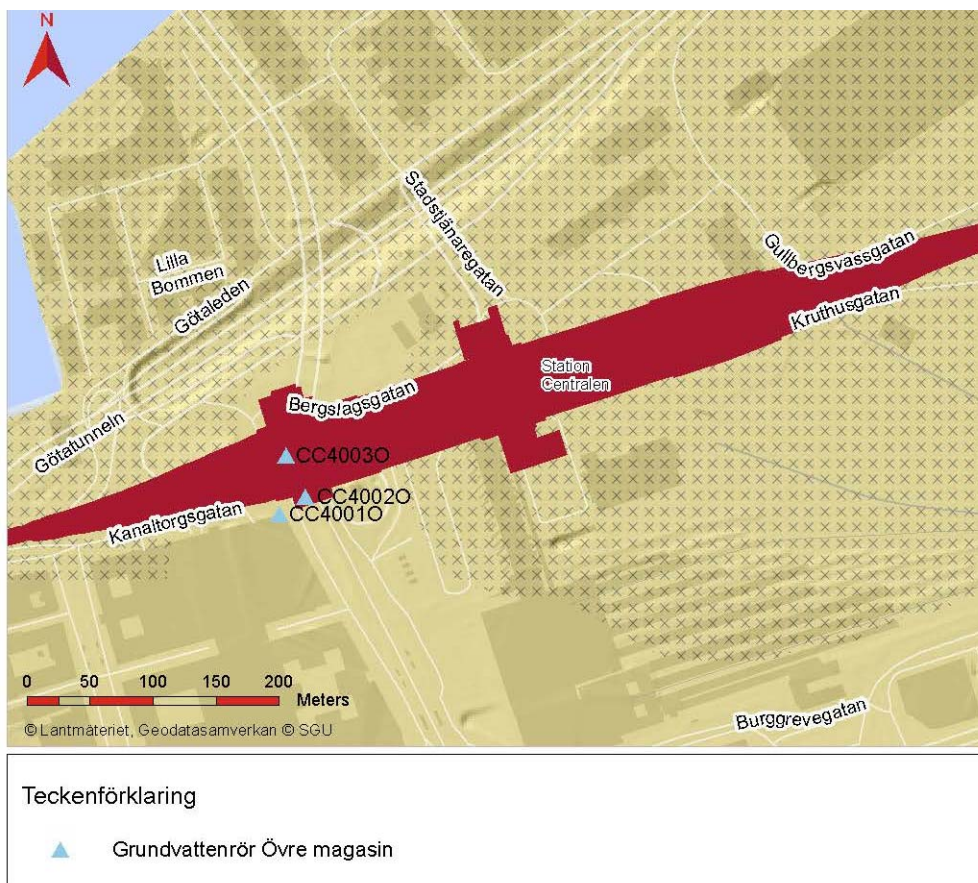
9 Delområde CC – Station Centralen

Inom delområde CC har inventeringen inte visat på några tidigare utredningar av jordlagrens hydrauliska egenskaper. För projekt Västlänken har inga egenskapsborrningar utförts. Endast borrningar för att detektera den igenfyllda vallgrav som finns strax öster om Östra Nordstan är utförda inom delområdet.

9.1 Borrningar

Inom området kring Station Centralen har tre borrningar utförts i övre magasinet (Figur 9). För centrala Göteborg och området vid Göteborg C anges typisk mäktighet på fyllnadsmaterialet till (1,5-) 3 meter.

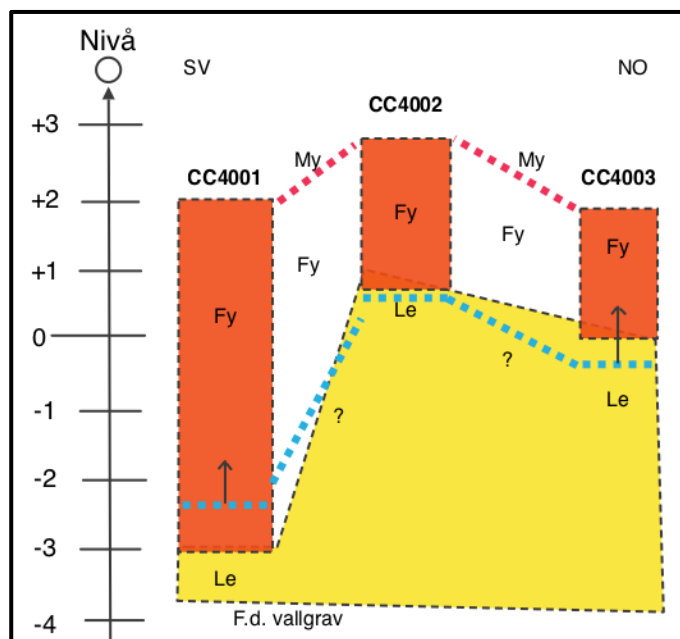
Syftet var att detektera den igenfyllda vallgrav som ligger strax öster om Östra Nordstan. Kanalens utbredning är dokumenterad i tidiga kartor över Göteborg stad, men det absoluta läget är osäkert. Motivet var att undersöka dess för området eventuella dränerande egenskaper och medge grundvattennivåmätningar. Jordlagren undersöktes genom skruvborrning, där jordprover uttogs varje meter. För att medge grundvattennivåmätningar installerades därefter 1" grundvattenrör i respektive undersökningspunkt.



Figur 9. Borrningar vid station Centralen.

I undersökningspunkten CC4002O installerades efter skruvborrning ett 1" stålrör med en meter filter och 5 mm hål med limmad sand inuti. I de två övriga undersökningspunkterna, CC4001O samt CC4003O, sattes 1" stålrör med en halv meter filter och 5 mm hål med fibertex inuti. Skruvborrningarna har utförts till strax under överkant på lera eller till dess att grundvattennivån nåtts. Filterspetsen för CC4002O är installerad i fyllnadsmaterial medan för CC4001O och CC4003O spetsarna är installerade under fyllnadsmaterialet, en liten bit ner i leran.

Figur 10 redovisar en konceptuell bild av jordartsförhållandena i borrhingsområdet.



Figur 10 Konceptuell bild av översta jordartsförhållandena vid igenfylld vallgrav. Sannolikt är kanalen/vallgraven påträffad åtminstone i CC4001 närmast Östra Nordstan, och är i CC4001 ca 3-3,5 m djup under leröverytan (tidigare naturlig markyta) innan utfyllnaden. Vallgravsbotten kan ligga djupare. Grundvattengradienten är preliminärt från ca O mot V och grundvattennivån lokalt lägst i CC4001 (-2,5 i juni 2013).

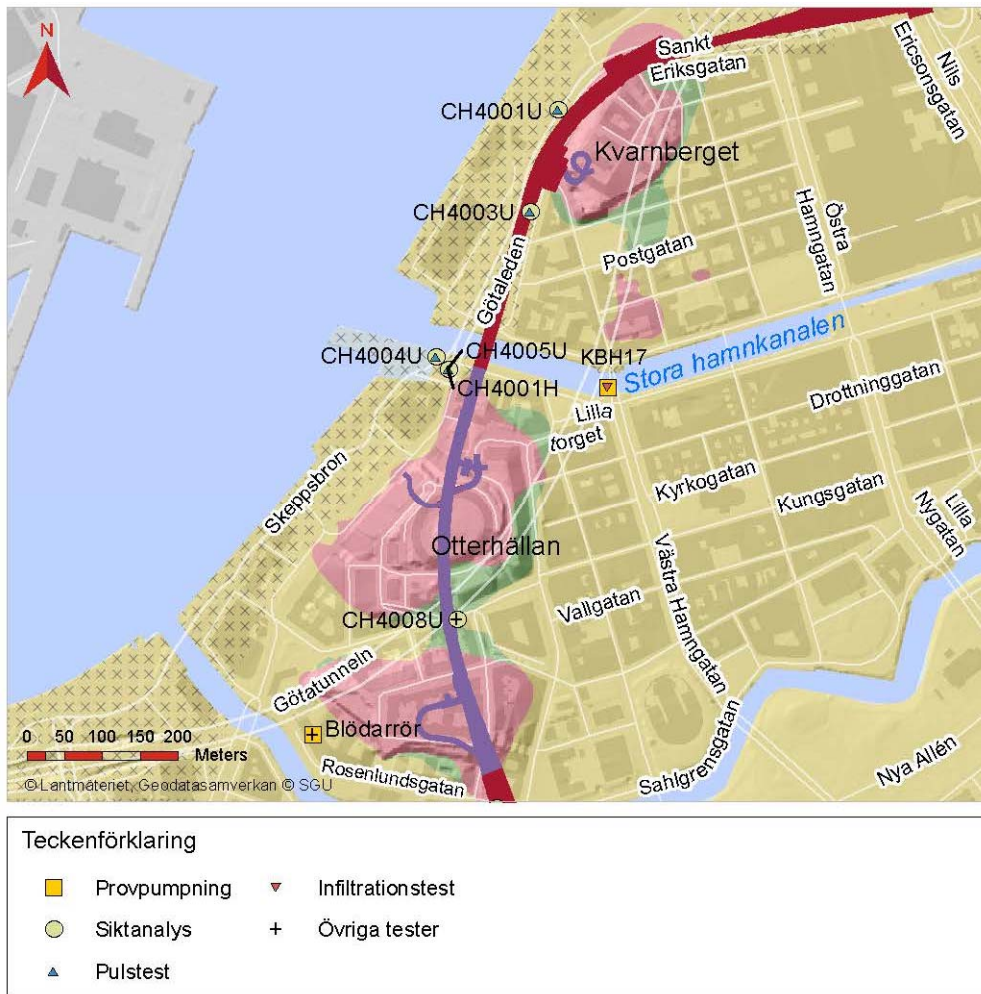
Om den generella grundvattenströmningen i översta magasinet, utan kanalisering, kan förväntas vara åt ca NNV, visar den lokala bilden ovan att vallgraven lokalt möjligen kan kanalisera grundvattenströmningen åt V.

9.2 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde CC

Området är kraftigt urbaniserat och ytvattenavrinningen omhändertas av det kommunala ledningsnätet. Området var tidigare sankmark som nu är utfylld. Fyllnadsmassor på större djup utgörs ofta av mer finkornigt material, medan fyllnadsmassor på ytligare djup ofta utgörs av grövre och mer genomsläppligt material.

10 Delområde CH – Station Centralen-Station Haga

För delområde CH finns sedan tidigare data från provpumpningar, infiltrationstester och andra hydrauliska tester för Götatunneln, se Figur 11. För projekt Västlänken har egenskapsborrningar med siktanalyser och hydrauliska tester i form av pulstester utförts.



Figur 11. Läge för inventerade och utförda undersökningar inom delområde CH.

10.1 Tidigare utredningar

Vid byggnationen av Götatunneln utfördes provpumpningar och infiltrationstest vid Kämpebron som korsar Stora Hamnkanalen vid Lilla torget, se Figur 11. Transmissiviteten utvärderades dels lokalt (T_{lokalt} , 20-40 meter från pumpbrunnen) och dels regionalt ($T_{\text{regionalt}}$, övriga rör i undersökningsområdet) (SWECO VBB VIAK, 2001). Även magasinskoefficienten S_{jord} och influensradien R_e togs fram. Dessa data redovisas i Tabell 6.

Tabell 6. Sammanställning över hydrogeologiska parametrar från provpumpning och infiltrationstest vid Stora Hamnkanalen.

Parameter	Värde
Hydraulisk transmissivitet, T_{lokalt}	1,5E-04 m ² /s
Hydraulisk transmissivitet $T_{\text{regionalt}}$	1,3E-05 m ² /s
Magasinskoefficienten, S_{jord}	2E-04
Influensradie, R_e , vid pumpflöde 6,5 L/min	150-200 m

Vid Rosenlundsgatan borrades under 2003 ett antal så kallade blödarrör för att sänka trycket i friktionsjorden under leran. Hydraulisk testning samt provpumpning utfördes i blödarrören. För de flesta rör erhöles en transmissivitet på mindre än 10^{-6} m²/s medan ett fåtal hade transmissiviteter upp till 10^{-3} m²/s (Bergab och Aqualog 2004). Rör med högre transmissivitet tros ha stått i kontakt med sprickor i ytberget.

10.2 Borrningar och siktanalys

Vid Kvarnberget har tre stycken borrningar i undre magasin utförts av typen 2" stålrör med filter i form av 8 mm perforering längs 1 meter av filterspetsens mantelyta. Borrning i undersökningspunkten CH4002U fick avbrytas då borrarpsen sannolikt gled längs berg, vilket förhindrade tolkning av jordlagerföljd och uttag av representativa jordprover. Även vid Otterhällan har tre 2" grundvattenrör utförts i undre magasin. Ett 4,5" hammarborrhål (CH4001H) utfördes genom Odexborrning där foderröret drevs 0,5 meter ned i berget, därefter borrades ytterligare 8 meter ned i berg. Ingen tätning gjordes mellan berg och foderrör. Läge för borrningarna visas i Figur 11.

Jordprover togs från det material som spolades upp vid borrningen. För en översiktlig bestämning av materialets vattenförande egenskaper utfördes siktanalys/hydrometeranalys.

I Tabell 7 och Tabell 8 redovisas resultaten från utförda siktanalyser på jordprover från undre magasin. Resultatet indikerar att friktionsjorden i det undre magasinet utgörs av relativt välsorterad sand. Vid utförandet av hammarborrhålet påträffades morän närmast berget.

Sonderingar och utförd provtagning indikerar att det undre friktionslagrets mäktighet (där tunnel kommer att skära in i berg) varierar mellan 0,5-3 meter. Mäktigheten ökar generellt i riktning mot Göta älvs dalgång, samt i riktning mot de centrala delarna av området kring Stora Hamnkanalen.

Tabell 7. Resultat av siktanalyser från borrningar. d_{10} , d_{30} , d_{60} , olikformighetstalet (graderingstalet) $U=d_{60}/d_{10}$ och krökningstalet $Cc=d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$. Redovisad jordart är bedömd vid borrning.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	U (-)	Cc (-)
CH4001H	7,5-9	Sa/Mn	0,25	1,50	4,5	18	2,0
CH4001U	8-9	sa si Le	(5E-05)	6E-04	0,35	(7000)	(0,02)
CH4001U	9-10	Sa	0,12	0,25	0,35	2,9	1,5
CH4003U	20-21	Sa	0,10	0,20	0,37	3,7	1,1
CH4003U	21-22	Sa	0,07	0,27	0,44	6,3	2,4
CH4003U	22-22,4	siSa	0,10	0,16	0,30	3,0	0,9
CH4004U	14-15	Le	4E-04	6E-04	2E-03	4,7	0,5
CH4005U	6-7	Saf	0,065	0,12	0,18	2,8	1,2
CH4005U	7-8	Saf	0,066	0,12	0,19	2,9	1,1
CH4005U	8-8,5	Sa	0,080	0,12	0,28	3,5	0,6
CH4008U	7-8	Sa	0,077	0,19	0,53	6,9	0,9
CH4008U	8-9	Sa	0,079	0,175	0,47	6,0	0,8
CH4008U	9-10	Sa	0,054	0,126	0,48	8,9	0,6
CH4008U	11-12	Sa	0,043	0,095	0,22	5,1	1,0
CH4008U	12-13	Sa	0,063	0,126	0,27	4,3	0,9
CH4008U	14-15	Sa	0,055	0,10	0,22	4,0	0,8

Tabell 8. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet (K) från siktanalyser. K_{G50} , K_{G80} , och K_{G90} enligt Gustafson (K_{G50} =median, K_{G80} =80 % - percentil och K_{G90} =90% - percentil). K_{valt} avser valt värde för vidare jämförelsen med K utvärderat från hydrauliska tester (K_{ht}). Redovisad jordart är bedömd vid borrhning.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	K_{valt} (m/s)	K_{Hazen} (m/s)	K_{G50} (m/s)	K_{G80} (m/s)	K_{G90} (m/s)
CH4001H	7,5-9	Sa/Mn	4,2E-04	7,2E-04	4,2E-04	2,0E-04	1,3E-04
CH4001U	8-9	sa si Le	5,7E-13	2,9E-11	5,7E-13	2,8E-13	1,8E-13
CH4001U	9-10	Sa	2,4E-04	1,7E-04	2,4E-04	1,2E-04	7,6E-05
CH4003U	20-21	Sa	1,5E-04	1,2E-04	1,5E-04	7,6E-05	4,9E-05
CH4003U	21-22	Sa	6,1E-05	5,7E-05	6,1E-05	3,0E-05	1,9E-05
CH4003U	22-22,4	siSa	1,6E-04	1,2E-04	1,6E-04	8,0E-05	5,2E-05
CH4004U	14-15	Le	2,0E-09	1,7E-09	2,0E-09	1,0E-09	6,5E-10
CH4005U	6-7	Saf	7,0E-05	4,9E-05	7,0E-05	3,4E-05	2,2E-05
CH4005U	7-8	Saf	7,2E-05	5,0E-05	7,2E-05	3,5E-05	2,3E-05
CH4005U	8-8,5	Sa	1,0E-04	7,4E-05	1,0E-04	4,9E-05	3,2E-05
CH4008U	7-8	Sa	6,9E-05	7,0E-05	3,4E-05	2,2E-05	6,9E-05
CH4008U	8-9	Sa	7,2E-05	7,9E-05	3,9E-05	2,5E-05	7,2E-05
CH4008U	9-10	Sa	3,4E-05	3,0E-05	1,5E-05	9,5E-06	3,4E-05
CH4008U	11-12	Sa	2,1E-05	2,5E-05	1,2E-05	8,1E-06	2,1E-05
CH4008U	12-13	Sa	4,6E-05	5,8E-05	2,9E-05	1,9E-05	4,6E-05
CH4008U	14-15	Sa	3,5E-05	4,6E-05	2,2E-05	1,5E-05	3,5E-05

10.3 Hydrauliska tester

10.3.1 Pulstester

I CH4001U, CH4003U, CH4004U och CH4005U utfördes hydrauliska tester av typen pulstest. Testerna utfördes genom att en bestämd volym vatten fylldes i rören. Grundvattenrören sitter i friktionsjorden i undre magasin. Utvärderingen av de hydrauliska testerna sammanfattas i Tabell 9. Ett tunt sandlager (0,2 m) påträffades vid borrhning i CH4004U, men utvärderad hydraulisk konduktivitet i CH4004U bedöms representera siltig lera, eventuellt morän. Sannolikt är filtret igensatt, och detta test beaktas därmed inte vid karaktärisering av de vattenförande jordlagren.

De hydrauliska testernas K_{ht} -värde dividerat med motsvarande K_{sa} -värde från siktanalysen för samma borrhål, K_{ht}/K_{sa} , är inom intervallet 0,14-0,26 för CH4001U och CH4003U. Att K_{ht} är lägre än K_{sa} kan vara ett resultat av att sand flutit in i grundvattenrören i samband med installationen, att filtertypen begränsar flödet, alternativt att siktanalyserna inte är representativa eller en kombination av dessa faktorer.

Kontroll av utförda pulstester kan även göras mot specifik kapacitet (Q/s) noterad vid flödesbestämning vid kapacitetstest av borrhål. För CH4001U kan ett konservativt värde på transmissiviteten beräknas till $\geq 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket för en magasinmäktighet om 2,25 m ger en hydraulisk konduktivitet på $K \geq 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. För CH4003 ger motsvarande analys $K \geq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Det ska här beaktas att filterutformningen och igensättning kan begränsa flödet, varvid konduktiviteten underskattas.

För CH4005U tolkas utvärderad hydraulisk konduktivitet representera finsand. Kvoten K_{ht}/K_{sa} ger 0,96 för CH4005U, vilket visar på mycket god överensstämmelse med utvärderad hydraulisk konduktivitet från siktanalys.

Tabell 9. Resultat av hydrauliska tester. K_{ht} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från hydrauliska tester, S_s : specifik magasinskoefficient, H_m : representativ magasinmäktighet och K_{sa} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från siktanalyser för aktuellt filterintervall. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Borrhåls- typ	Nivå markyta (m)	Nivå filter ök (m)	Nivå filter uk (m)	K_{ht} (m/s)	S_s (1/m)	H_m (m)	K_{sa} (m/s)	K_{ht}/K_{sa}
CH4001U	2"-rör	+2,48	-6,81	-7,81	3,3E-05 ^a	5,4E-02	1,45	2,4E-04	0,14
CH4003U	2"-rör	+2,46	-18,99	-19,99	4,1E-05 ^b	2,6E-04	2,4	1,6E-04	0,26
CH4004U	2"-rör	+2,4	-11,6	-12,6	1,0E-09 ^c	5,0E-03	0,2	-	-
CH4005U	2"-rör	+3,1	-4,4	-5,4	8,3E-05 ^d	9,1E-03	1,9	8,6E-05	0,96

^a Tolkat K antas representativt för hela magasinet.

^b Tolkat K antas representativt för den grusiga sanden på berget med mäktighet ca 1,5 m. Medel K för magasinet bör vara något lägre.

^c Tolkat K bedöms representera siltig lera (morän?) och ett tunt lager sand (0,2 m). K_{ht} indikerar igensatt rör för nivå där sand finns.

^d Tolkat K bedöms i huvudsak representera finsand.

10.3.2 Kapacitetstester

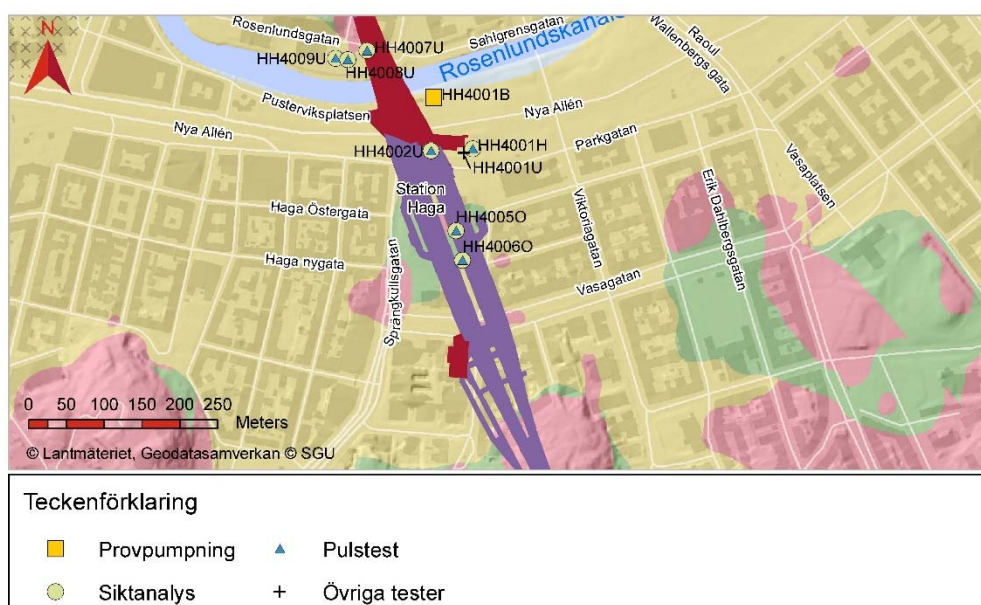
I hammarborrhålet CH4001H genomfördes ingen återhämtningsmätning av grundvattenytan i samband med borrhningen av hålet eftersom detta i princip var helt torrt.

10.4 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde CH

Området omges av vattendrag i nordväst och i söder. Nordöst om Kvarnberget är jordmäktigheterna stora, enligt hydromodellen med mäktigheter på ca 100 m, medan mäktigheter är omkring 30 m mellan Kvarnberget och Otterhällan. Under leran finns ett friktionsjordlager och ovan leran består jordlagren till stor del av fyllnadsmassor. Friktionsjorden i undre magasin har en hydraulisk konduktivitet på omkring $0,5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Vid Kungsgatan saknas till viss del lerlagret och siktanalyser visar att friktionsjorden har en hydraulisk konduktivitet på omkring $2 \cdot 7 \cdot 10^{-5}$ m/s.

11 Delområde HH – Station Haga

Inom delområde HH, se Figur 12, har inventeringen inte visat på några tidigare utredningar. För projekt Västlänken har egenskapsborrningar med siktanalyser, hydrauliska tester i form av pulstester och en provpumpning utförts.



Figur 12. Läge för inventerade och utförda undersökningar inom delområde HH.

11.1 Borrningar och siktanalys

Sex borrningar har utförts i undre magasin och tre i övre. Borrningarna var av typen 2" stålrör med filter i form av 8 mm perforering längs 1 meter av filterspetsens mantelyta. Ett 4,5" hammarborrhål (HH4001H) utfördes genom Odexborrning där foderröret drevs 0,5 meter ned i berget, därefter borrades ytterligare fem meter ned i berg. Ingen tätning gjordes mellan berg och foderrör.

Jordartsprofilen vid planerat bergtunnelpåslag vid Rosenlund kan generellt förväntas vara (uppifrån och ner) lera-sandig siltig lera/siltig (sand)-(morän). Långt från påslaget i riktning mot Rosenlundskanalen kan jordartsprofilen från ytan och nedåt beskrivas som lera-siltig sand-sand-sandigt grus-morän. Fyllnadsmaterial ovan lera förekommer även i riktning mot Rosenlundskanalen.

Jordprover togs från den friktionsjord som uppspolades vid borrningen. Representativa jordprover på friktionsjorden samt lera/silt har genomgått siktanalys och hydrometeranalys för översiktlig bestämning av jordprovernans hydrauliska konduktivitet. Mängden friktionsjord ovan berg i undersökningspunkterna vid Rosenlundskanalen (HH4007U, HH4008U och HH4009U) var dock som förväntat mycket begränsad, varför de uttagna jordproverna från metern närmast berg hade ett betydande inslag av kohesionsjord. Inga jordprover togs vid borrningen av hammarborrhålet då det var mycket svårt att samla upp materialet.

Tabell 10 och Tabell 11 redovisar resultaten från utförda borrningar. Undersökningspunkterna HH4001U och HH4002U representerar det undre magasinet vid planerat bergtunnelpåslag. Undersökningspunkterna HH4005O och HH4006O representerar det övre grundvattenmagasinet söder om Hagakyrkan.

Tabell 10. Resultat av siktanalyser från borrningar. d_{10} , d_{30} , d_{60} , olikformighetstalet (graderingstalet) $U=d_{60}/d_{10}$ och krökningstalet $Cc=d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$. Redovisad jordart är bedömd vid borrning.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	U (-)	Cc (-)
HH4001U	9 - 11,0	Le	0,00035	0,0016	0,15	428,6	0,05
HH4001U	29 - 30,0	saLeSilt	0,0005	0,054	0,06	126,0	92,57
HH4001U	30 - 31,0	sa	0,06	0,125	0,30	5,0	0,87
HH4001U	31 - 32,0	sa	0,06	0,3	0,60	10,0	2,50
HH4002U	19 - 19,7	si Saf	0,05	0,063	0,09	1,7	0,93
HH4005O	3 - 4,0	grSa	0,1	0,42	1,10	11,0	1,60
HH4005O	4 - 5,1	grsiSa	0,04	0,119	0,60	15,0	0,59
HH4006O	8 - 9,0	Sa	0,055	0,14	0,40	7,3	0,89
HH4006O	9 - 10,0	Sa	0,055	0,155	0,43	7,8	1,02
HH4006O	10 - 11,0	siSa	0,035	0,14	0,40	11,4	1,40
HH4007U	15,6 - 16,7	Le	6E-06	0,00011	0,01	2000	0,20
HH4008U	13 - 14,0	Le	6,3E-05	0,0003	0,0045	71	0,31
HH4009U	16 - 17	Le	6E-05	0,0004	0,01	133	0,26

Tabell 11. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet (K) från siktanalyser. K_{G50} , K_{G80} , och K_{G90} enligt Gustafson (K_{G50} =median, K_{G80} =80%-percentil och K_{G90} =90%-percentil). K_{valt} avser valt värde för vidare jämförelsen med K utvärderat från hydrauliska tester (K_{ht}). Redovisad jordart är bedömd vid borrhning.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	K_{valt} (m/s)	K_{Hazen} (m/s)	K_{G50} (m/s)	K_{G80} (m/s)	K_{G90} (m/s)
HH4001U	9 - 11	le	1,2E-10	1,4E-09	1,2E-10	6,0E-11	3,9E-11
HH4001U	29 - 30,0	saleSi	5,0E-10	2,9E-09	5,0E-10	2,5E-10	1,6E-10
HH4001U	30 - 31,0	fSa	5,0E-05	4,2E-05	5,0E-05	2,4E-05	1,6E-05
HH4001U	31 - 32,0	Sa	3,4E-05	4,2E-05	3,4E-05	1,7E-05	1,1E-05
HH4002U	19 - 19,7	siSaf	4,1E-05	2,9E-05	4,1E-05	2,0E-05	1,3E-05
HH4005O	3 - 4,0	grSa	9,0E-05	1,2E-04	9,0E-05	4,4E-05	2,9E-05
HH4005O	4 - 5,1	grsiSa	1,2E-05	1,9E-05	1,2E-05	5,8E-06	3,8E-06
HH4006O	8 - 9,0	Sa	3,5E-05	3,5E-05	3,5E-05	1,7E-05	1,1E-05
HH4006O	9 - 10,0	Sa	3,3E-05	3,5E-05	3,3E-05	1,6E-05	1,1E-05
HH4006O	10 - 11,0	siSa	1,1E-05	1,4E-05	1,1E-05	5,3E-06	3,5E-06
HH4007U	15,6 - 16,7	Le	1,6E-14	4,2E-13	1,6E-14	7,7E-15	5,0E-15
HH4008U	13 - 14	Le	1,2E-11	4,6E-11	1,2E-11	5,9E-12	3,8E-12
HH4009U	16 - 17	Le	7,0E-12	4,2E-11	7,0E-12	3,4E-12	2,2E-12

Friktionsjordens mäktighet är mycket begränsad vid Rosenlund, men inslag av grus och sand i jordproverna (metern närmast berg) tyder på att endast ett tunt lager av friktionsjord förekommer vid borrhningarna. Siktanalyserna innehåller ca 5-10 % grövre jord än grus och 25-30 % med grövre jord än sand, uppblandat med finare fraktioner.

Vattenföringen vid utförandet av HH4007U och HH4008U var i det närmaste obefintlig. I HH4009U var den något större jämfört med i undersökningspunkterna HH4007U och HH4008U, men fortsatt mycket låg. Det uppmätta flödet i HH4009U motsvarar en hydraulisk konduktivitet i storleksordningen ca 10^{-6} - 10^{-5} m/s (uppskattat enligt Thiems formel), vilket visar att ett tunt skikt friktionsmaterial förekommer på berget, även om det inte direkt detekterades vid borrhningen.

Vid planerat bergtunnelpåslag, norr om Rosenlundskanalen, bedöms berget ha en brant lutning. Detta kan delvis förklara att friktionsjorden ovan berg (undre grundvattenmagasinet) har mycket liten mäktighet. Rören indikerar att friktionslagrets mäktighet vid påslaget uppgår till <1 meter och uppskattningsvis 0,2-0,5 meter.

I Hagaparken, i riktning mot Rosenlundskanalen, återfinns ca en meter fyllning ovan leran. Sannolikt förekommer friktionsjord centralt i Rosenlundskanalens dalgång, på större djup än betongtunnelns lägsta nivå. I Rosenlundskanalens dalgång (norr om Hagaparken) bedöms jorddjupet lokalt vara ca 60 meter med upp emot 15 meter friktionsmaterial. Provtagning har inte utförts i dalgången.

Den tolkade friktionsjorden vid bergpåslaget för Station Haga utgörs ofta av hårt packad finsand eller sandig silt, som är måttligt vattenförande. Grövre fraktioner har inte påträffats annat än i sanden uppblandat ca 5 % grus i HH4001U (31-32 m djup) på berget. Provtagningen indikerar att sand är den dominerande fraktionen på friktionsmaterial vid påslaget tillsammans med lera/silt. Jorden tolkas vara grövre närmast berget.

Provtagning indikerar att friktionslagrets mäktighet på bergytan i nivå med påslaget för Station Haga preliminärt är upp emot ca 1 meter (undre grundvattenmagasinet). Berget lutar förhållandevis brant norrut i höjd med påslaget vilket kan vara en förklaring varför borrhningarna indikerar friktionsjord av ringa mäktighet.

Kring läget för påslaget för Station Haga finns inget större övre grundvattenmagasin. Hagaparken är lokalt utfylld med ca en meter jord/fyllning, men något övre vattenförande grundvattenmagasin av betydelse finns inte här, även om markvatten förekommer.

Det tolkade undre grundvattenmagasinet avgränsas i nord-sydlig riktning av bergsryggar på ömse sidor av Rosenlundskanalens dalgång, ca 200 meter (norrut) och cirka 50 meter (söderut) från påslaget.

11.2 Hydrauliska tester

11.2.1 Pulstester

I borrhålen HH4001U, HH4002U, HH4005O, HH4006O, HH4007U och HH4009U utfördes hydrauliska tester av typen pulstest. Testerna utfördes genom att en bestämd volym vatten fylldes i rören. Utvärderingen av testerna sammanfattas i Tabell 12.

Tabell 12. Resultat av hydrauliska tester. K_{ht} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från hydrauliska tester, S_s : specifik magasinsskoefficient, H_m : representativ magasinmäktighet och K_{sa} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från siktanalyser för aktuellt filterintervall. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Borrhåls -typ	Nivå markyta (m)	Nivå filter ök (m)	Nivå filter uk (m)	K_{ht} (m/s)	S_s (-)	H_m (m)	K_{sa} (m/s)	K_{ht}/K_{sa}
HH4001U	2"-rör	4,61	-26,39	-27,39	4,5E-07	6,5E-04	6	3,4E-05	0,013
HH4002U	2"-rör	3,99	-14,71	-15,71	5,0E-10	1,0E-04	0,7	4,1E-05	1,2E-5
HH4005O	2"-rör	8,95	4,85	3,85	1,5E-06	1,2E-03	3,0	1,2E-05	0,125
HH4006O	2"-rör	9,03	-1,11	-2,11	5,2E-06	2,0E-02	8,1	1,1E-05	0,473
HH4007U	2"-rör	3,00	-12,76	-13,76	8,2E-06 ^a	2,0E-05	0,5	1,6E-14	5,1E8
HH4009U	2"-rör	3,77	-13,29	-14,29	3E-06 ^a	9,5E-02	0,5	7,0E-12	4,4E5

^a Tolkat K bedöms representera ett tunt lager friktionsjord på berg.

De hydrauliska testerna visar dålig överensstämmelse med resultaten från siktanalyserna, för HH4001U-HH4006O är kvoten mycket låg, och för HH4007U och HH4009U är den extremt hög. Resultatet från pulstest i HH4002U är inte rättvisande då finmaterial har trängt in i röret. Även i rör HH4005O och HH4006O har finmaterial flutit in i rören och täcker del av filterdelarna, vilket sannolikt har påverkat resultatet. För de borrhål vid Station Haga som visar på låg kvot K_{ht}/K_{sa} är orsaken sannolikt att mer eller mindre finmaterial flutit in i vissa av rören, att siktanalyserna inte är representativa eller en kombination av dessa faktorer.

De hydrauliska testerna från HH4007U och HH4009U visar K_{ht} -värden för kohesionsmaterialets tunna insprängda friktionsmaterial på ca $8 \cdot 10^{-6}$ m/s respektive ca $3 \cdot 10^{-6}$ m/s, det vill säga typiskt inom intervallet 10^{-6} till 10^{-5} m/s, vilket motsvarar grusig sandig morän eller finsand-grovsilt.

Specifika magasinsskoefficienten S_s för undre grundvattenmagasinet i HH4007U kan skattas till ca 10^{-5} (m^{-1}). Specifika magasinsskoefficienten S_s i HH4009U kan skattas till ca 10^{-1} (m^{-1}). Detta indikerar att HH4009U återspeglar nominellt öppna förhållanden och ett porositetsvärde på ca 0,1. Specifika magasinsskoefficienten S_s för övre magasinet kan uppskattas till ca 0,005 med ett uppskattat intervall av ca 0,001 – 0,01 och för undre magasinet till ca 0,0003 med ett troligt intervall av ca 0,0001 – 0,001. Detta indikerar att HH4001U och HH4002U norr om Hagakyrkan representerar slutna förhållanden medan HH4005O och HH4006O söder om Hagakyrkan representerar halvslutna förhållanden.

11.2.2 Kapacitetstester

I hammarborrhålet HH4001H genomfördes mätning av grundvattenytans återhämtning i samband med borrhningen. Bergytan bedömdes ligga ca 28 m under markytan. Borrhningen fortsatte till nivån ca 35 m under markytan. Det utfördes ingen tätning mellan jordlagren och berget. Utvärderad genomsläpplighet här representerar övre bergdelen-undre jorrdelen.

Borrhålet blåstes när borrhningen avslutats och ett grundvattenflöde på knappt 6 L/min konstaterades. Detta representerar både grundvattenflödet i jorden och i den övre delen av berggrunden. Vid det närbelägna 2"-röret finns ett undre grundvattenmagasin med liten vattenföring i ca 4 m sand under leran (30 L/min). Förhållandena är sannolikt desamma vid HH4001H, eftersom flödena är av samma storleksordning. I HH4009 erhöles vid kapacitetstest vattenflödet 1,7 L/min. Detta indikerar med Thiems formel en hydraulisk

transmissivitet på ca $2 \cdot 10^{-6}$ m²/s, vilket med en maximal mäktighet H_m av 0,5 meter motsvarar en hydraulisk konduktivitet på $4 \cdot 10^{-6}$ m/s, att jämföras med $3 \cdot 10^{-6}$ m/s från pulstesten, det vill säga god överensstämmelse. De hydrauliska konduktiviteterna som har utvärderats från siktanalyserna är avsevärt lägre och orsaken till detta är sannolikt att det friktionsmaterial som finns på berggrundsytan har liten mäktighet och att de prover som togs ut för siktanalys inte är representativa utan även har finmaterial från ovanliggande lager.

Resultatet av kapacitetstest och återhämtningsmätning redovisas i Tabell 13.

Tabell 13. Resultat av återhämtningsmätning från kapacitetstest i hammarborrhål.

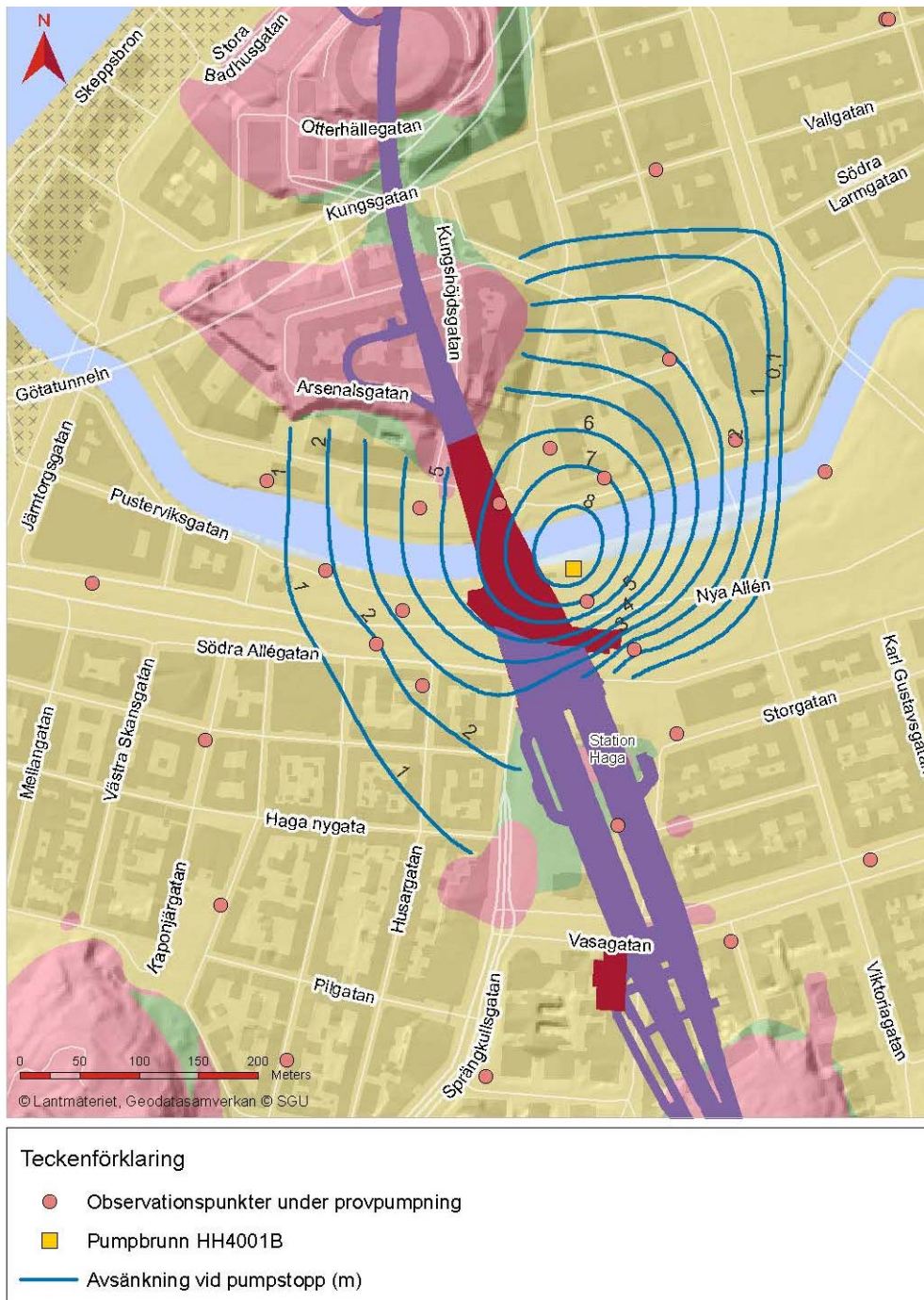
Punkt	H_m (m)	Q/s (m ² /s)	T (m ² /s)	K (m/s)	S (-)
HH4001H	6,4	3,2E-06	2,2E-06 ^a	3,4E-07 ^a	0,004
HH4009U	0,5	5,6E-05	2,0E-06	4,0E-06	

^a T troligen representativt för yttligt berg + jordlager på berg.

11.2.3 Provpumpning

En provpumpning utfördes i maj 2014 i HH4001B i Hagaparken. Flödet var under större delen av provpumpningen ca 16 L/min. När pumpningen avslutades hade flödet sjunkit till 6 L/min. Grundvattennivåer observerades i 36 punkter inklusive pumpbrunnen, varav tre av observationspunkterna representerar övre magasin. Ingen påverkan kunde ses i de senare. I 20 av observationspunkterna kan det konstateras att ingen påverkan av grundvattennivå har skett till följd av provpumpningen.

Avsänkning i pumpbrunnen HH4001B uppgår till ca 9 m den 17 maj, varpå flödet stiger. Utvärderingen av HH4001B liksom i de flesta av de påverkade observationspunkterna visar på radiella flöden. Vid en grundvattenbortledning om ca 18 L/min noteras avsänkningar på ett avstånd om ca 300-450 m från pumpbrunnen, se Figur 13. Den hydrauliska transmissiviteten beräknas till omkring $10^{-5} - 10^{-4}$ m²/s. Magasinskoefficienten, som är utvärderad för närområdet kring de olika observationspunkterna har stor spridning och varierar mellan $5 \cdot 10^{-5}$ och $2 \cdot 10^{-3}$.



Figur 13 Tolkad avsänkning och influensområde från provpumpningen i Hagaparken.

11.3 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde HH

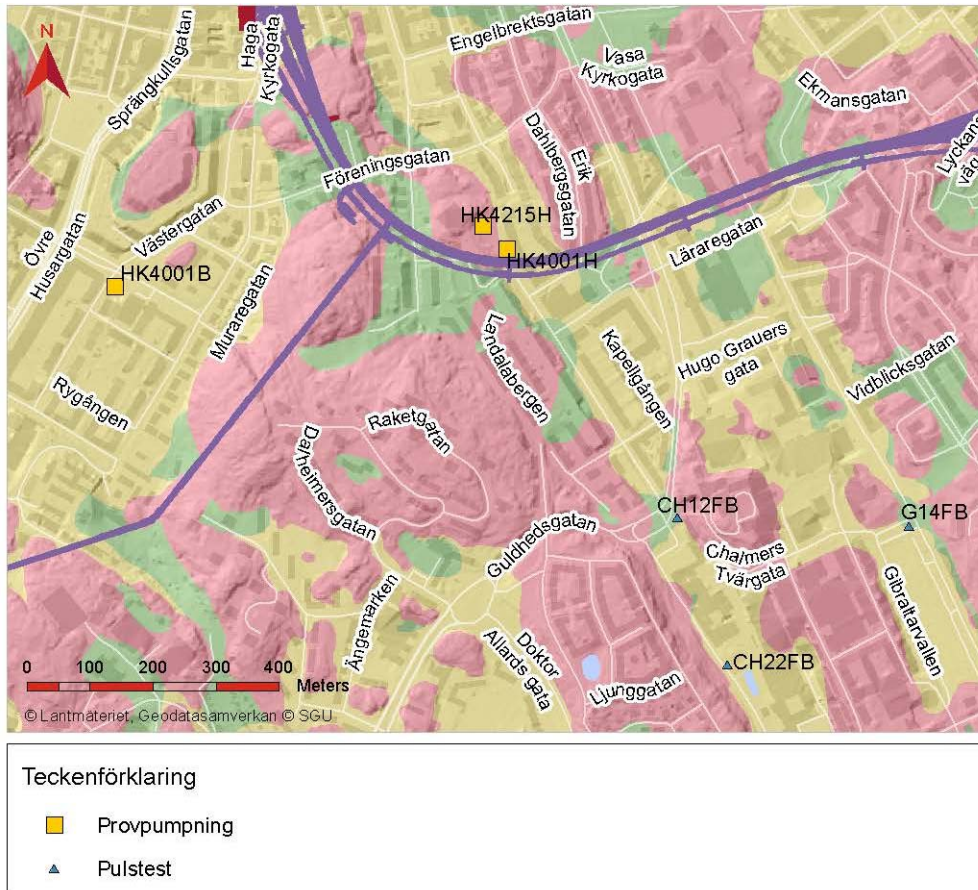
Delområdet sträcker sig mellan ett markerat bergområde i norr (Kungshöjd) och ett område med höga bergnivåer i söder. Däremellan är marktopografin flack med stora jordmaktigheter. Rosenlundskanalen skär genom det låglänta området i öst-västlig riktning.

Närmast berget norr om Rosenlundskanalen är det undre friktionsjordlagret tunt medan jorddjupen i den djupaste delen lokalt kan uppgå till 60 m varav mer än 10 m friktionsjord närmast berget. I den södra delen mot berget bedöms det undre friktionsjordlagret (undre grundvattenmagasin) vara ca 1 m. Den hydrauliska konduktiviteten har utvärderats till intervallet 10^{-6} till 10^{-5} m/s.

Utförd provpumpning i Hagaparken indikerade en total vattenförande förmåga i undre friktionsjordlager (inklusive ytberg) av 10^{-5} – 10^{-4} m/s.

12 Delområde HK – Station Haga-Station Korsvägen

För delområde HK finns sedan tidigare data från pulstester i ett antal sandfilterbrunnar från utredningarna för Chalmerstunneln, se Figur 14. För projekt Västlänken har inga egenskapsborrningar utförts men två provpumpningar har genomförts.



Figur 14. Läge för inventerade och utförda undersökningar inom delområde HK.

12.1 Tidigare utredningar

Inför byggandet av Chalmerstunneln borrades sex sandfilterbrunnar i området mellan Chalmers och Korsvägen. Tre av sandfilterbrunnarna ligger inom delområde KK och redovisas i det avsnittet. Pulstester utfördes i samtliga sandfilterbrunnar för att bestämma transmissiviteter. Lägen och transmissivitet för de tre brunnarna som ligger inom delområde HK redovisas i Tabell 14 (Bergab 1999a).

Tabell 14. Utvärderad hydraulisk transmissivitet från pulstester utförda för Chalmerstunneln.

Punkt	Område	T (m ² /s)
CH12FB	Chalmers	2E-05
CH22FB	Chalmers	2E-05
G14FB	Gibraltargatan	2E-05

12.2 Hydrauliska tester

12.2.1 Provpumpningar

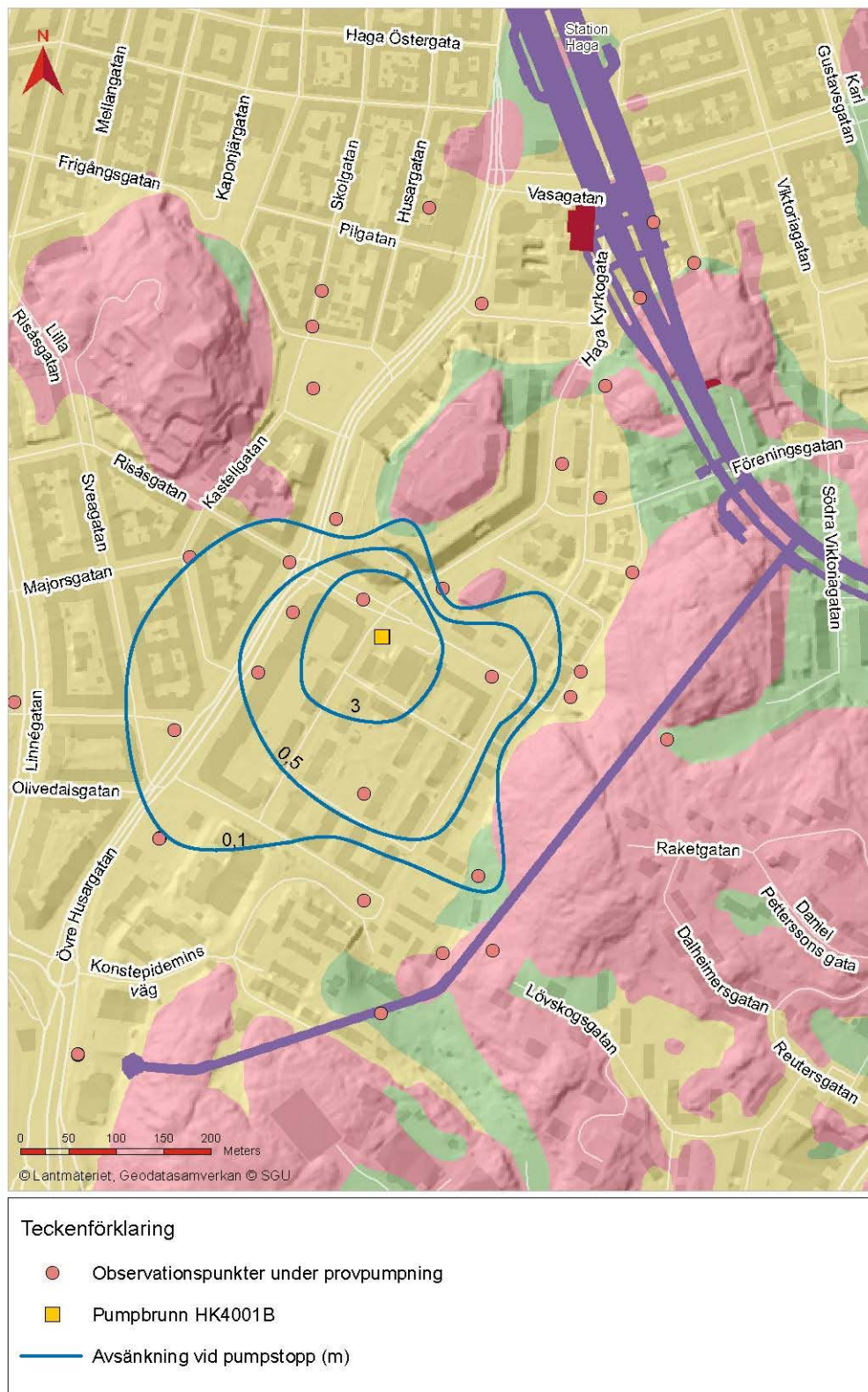
Två provpumpningar har utförts inom delområde HK, en vid Annedal och en vid Landala. Provpumpningen i Annedal utfördes under perioden 18-26 augusti 2015 i HK4001B. Flödet var under större delen av provpumpningen ca 24 L/min. Grundvattennivåmätningar utfördes i 44 observationspunkter inklusive pumpbrunnen med varierande regularitet, varav 27 representerar undre magasin, 5 övre magasin och resterande representerar berg. Ingen tydlig påverkan av grundvattennivån till följd av provpumpningen kunde observeras i 16 av observationspunkterna.

Avsänkning i pumpbrunnen HK4001B uppgick till 12,3 m medan i närmaste observationsbrunn, HK4005U (lokaliserat ungefär 2 m söder om HK4001B), uppgick avsänkningen till 12,1 m. Påverkansområdet från provpumpningen sträcker sig ca 200-300 m från pumpbrunnen, se Figur 15.

Den hydrauliska transmissiviteten beräknas till omkring $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, se Tabell 15.

Tabell 15. Utvärderad hydraulisk transmissivitet från provpumpning i Annedal.

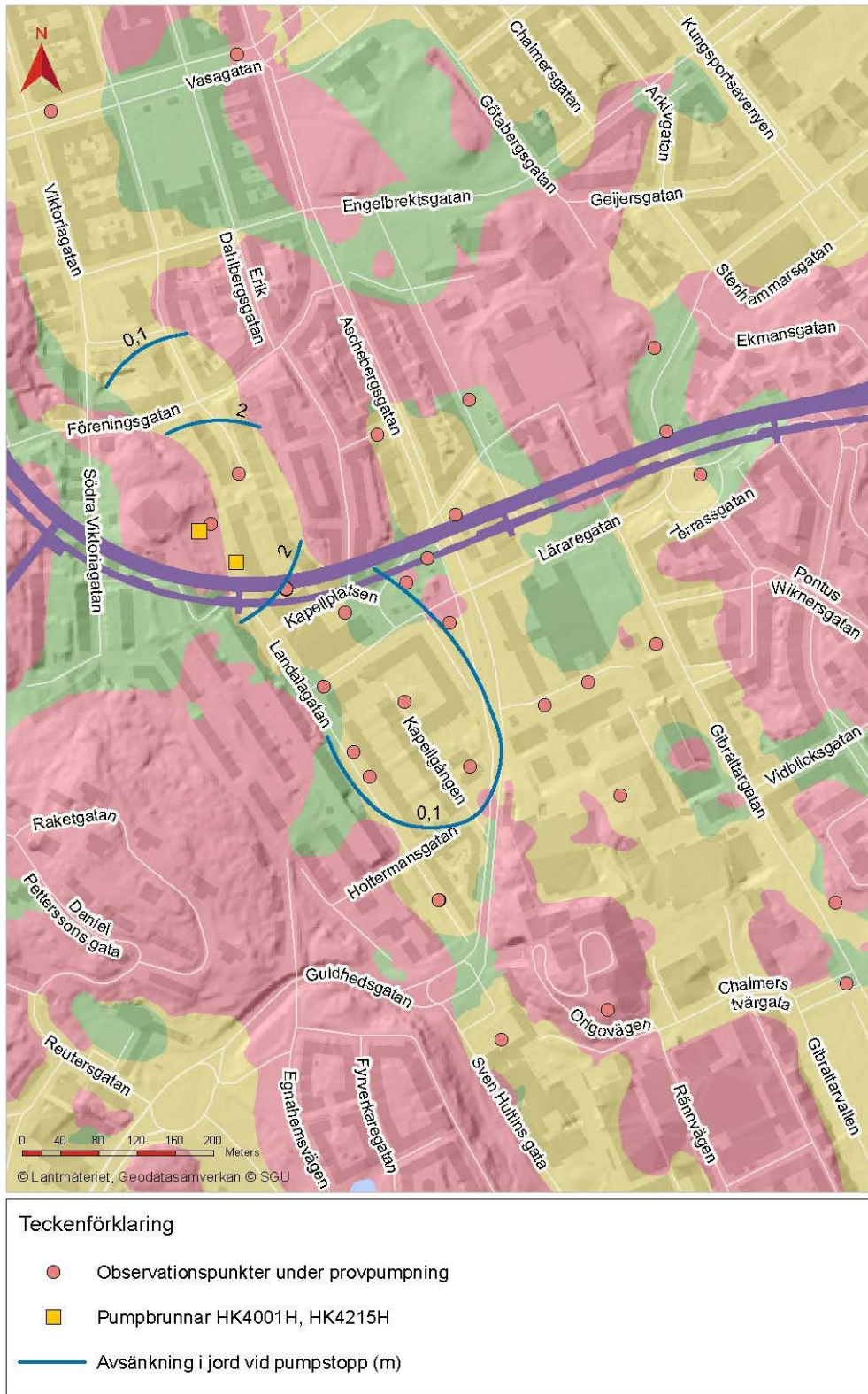
Punkt	Avsänkning (m)	Avstånd till pumpbrunn (m)	$T_{\text{avstånd-avsänkning}}$ (m^2/s)	$T_{\text{tid-avsänkning}}$ (m^2/s)
HK4001B	12,31	0	3E-05	
HK4005U	12,07	2		3E-05
HK4127U	4,70	44		2E-05
HK4116U	1,87	81		6E-05
HK4002U	2,21	122		6E-05
HK4105U	0,40	135		
HK4115U	0,91	166		5E-05
HK4106U	0,21	240		
HK4014H	0,39	269		



Figur 15. Tolkad avsänkning och influensområde från provpumpningen i Annedal.

Provpumpningen i Landala utfördes i september 2015 i två hammarborrhål, HK4001H och HK4215H. Pumpningen startade samtidigt i de båda brunnarna den 2 september och avslutades i HK4001H den 15 september och i HK4215H den 22 september. Det sammanlagda pumpflödet för båda brunnarna låg initialt på 36 L/min fram till HK4001H stängdes av och därefter låg flödet för pumpbrunnen på 22 L/min.

Mätningar gjordes i 44 observationsrör, inklusive HK4001H och HK4215H. Av dessa rör är 21 satta i det undre magasinet, 8 i det övre och 15 i berg. Störst påverkan observerades i närliggande observationspunkter i berg. Påverkan i det undre grundvattenmagasinet i jord sträckte sig maximalt ca 250 m i dalgången åt sydost, se Figur 16. Hydraulisk transmissivitet i jord har utvärderats till ca $8,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ i HK4124U.



Figur 16. Tolkad avsänkning och influensområde i jord från provpumpningen i Landala.

12.3 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde HK

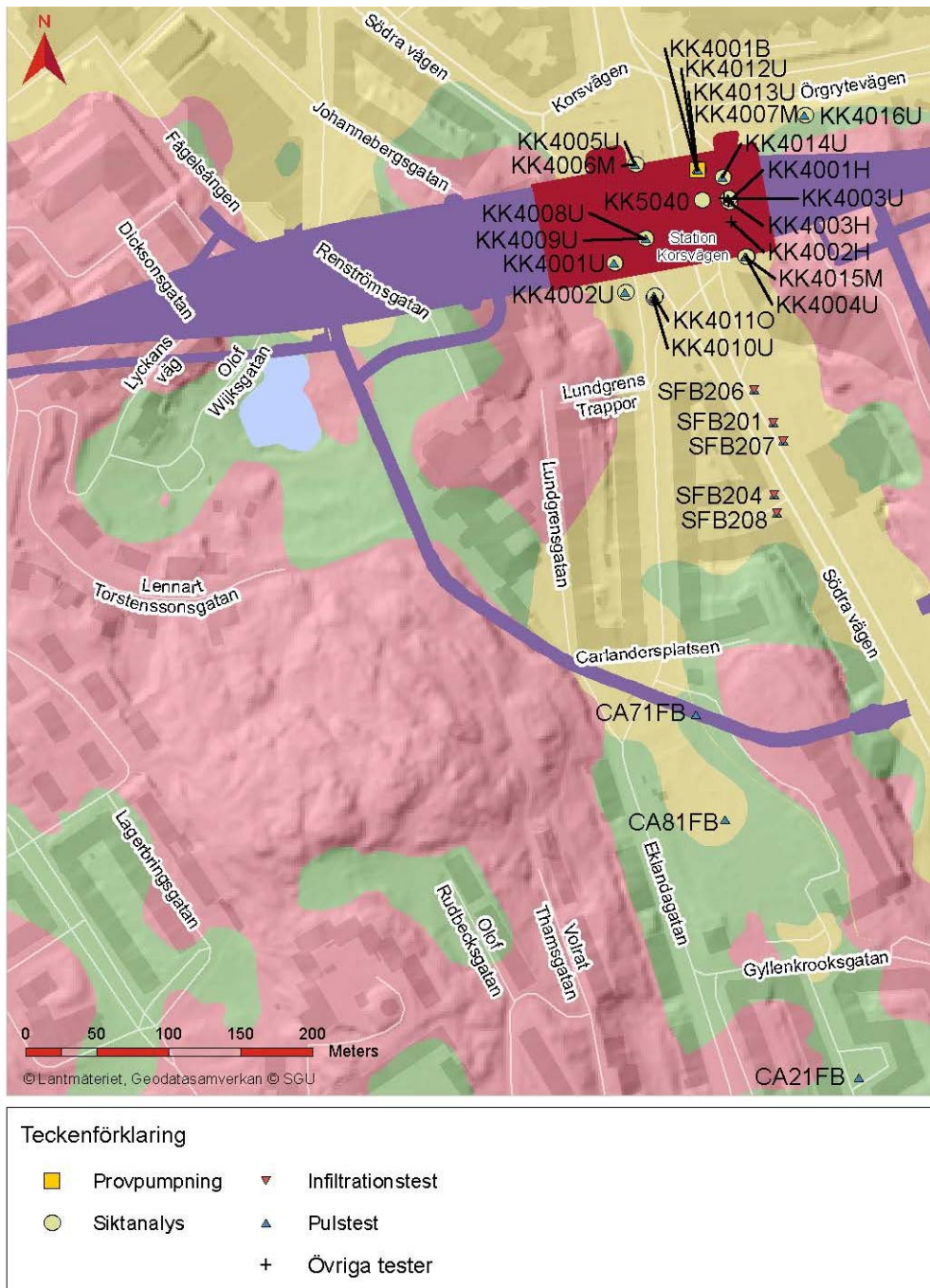
Delområdet omfattar dels ett flackt område med relativt mäktiga jordlager i Annedal och västerut. Inom detta område finns lokala uppstickande bergpartier som avgränsar grundvattenmagasin och påverkar grundvattenflödena. Dels omfattar delområdet den södra delen av Vasastaden, Landala och norra Johanneberg med markanta bergsryggar i nordnordväst-sydsydost och mellanliggande jordfyllda dalgångar, och som gränsar mot ett större område med flack topografi i norr. Jordmäktigheten och friktionsjordens mäktighet i dalgångarna längs Västlänkens spårtunnel är enligt hydromodellen 4-10 m respektive 1-2 m.

Jordlagren i Annedal och västerut karakteriseras av ett övre lager friktionsjord/fyllning på lera och underst friktionsjord närmast berget. Utförd provpumpning i Annedal visade en transmissivitet på ca $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (friktionsjord samt ytligt berg).

Utförd provpumpning Landala i berg indikerade en transmissivitet i den undre friktionsjorden i den undersökta dalgången på $9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

13 Delområde KK – Station Korsvägen

För delområde KK finns sedan tidigare data från pulstester och infiltrationstester i ett antal sandfilterbrunnar från utredningarna för byggnationen av Världskulturmuseet och Chalmerstunneln, se Figur 17. För projekt Västlänken har egenskapsborrningar med siktanalyser, hydrauliska tester i form av pulstester, kapacitetstester och en provpumpning utförts.



Figur 17. Läge för inventerade och utförda undersökningar inom delområde KK.

13.1 Tidigare utredningar

Inför byggandet av Chalmerstunneln borrades sex sandfilterbrunnar i området mellan Chalmers och Korsvägen, tre av dessa ligger inom delområde KK och tre ligger inom delområde HK. Lägen och transmissivitet för de brunnarna inom delområde KK redovisas i Tabell 16 (Bergab 1999a).

Tabell 16. Utvärderad hydraulisk transmissivitet från pulstester utförda för Chalmerstunneln. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Område	T (m ² /s)
CA21FB	Kristinehöjdsgatan	2E-06
CA81FB	Carlanderska parken	2E-08
CA71FB	Carlandersplatsen	9E-06

Inför byggandet av Världskulturmuseet utfördes pulstester och infiltrationstester i fem sandfilterbrunnar, erhållna transmissiviteter redovisas i Tabell 17.

Tabell 17. Erhållna hydrauliska transmissiviteter från puls- och infiltrationstest i sandfilterbrunnar vid Världskulturmuseet.

Benämning	T _{pulstest} (m ² /s)	T _{infiltrationstest} (m ² /s)
SFB201	4E-05	4,5E-05
SFB204	6E-06	6,5E-05
SFB206	2E-05	
SFB207	3E-05	
SFB208	1E-05	

13.2 Borrningar och siktanalys

Totalt har 16 borrningar av typen 2" stålrör med en meter filter i form av hål med 8 mm perforering utförts i Korsvägen, samt centralt i Södra vägens dalgång och vid Örgrytevägen. En av undersökningspunkterna har utförts i det övre grundvattenmagasinet. Tre av undersökningspunkterna, KK4006M, KK4007M och KK4015M, har utförts till ett mellanliggande skikt av friktionsjord som påträffats i leran (s.k. mellersta grundvattenmagasin). Övriga 12 undersökningspunkter har utförts till det undre grundvattenmagasinet.

Tre stycken 4,5" hammarborrhål har utförts vid det östra bergtunnelpåslaget (Liseberget).

Totalt har totalt 34 jordprover provtagits i samband med installationen av 2"brunnarna och borrningen av hammarborrhålen. Borrning KK4006M, KK4009U och KK4013U har inte provtagits, då dessa rör huvudsakligen syftar till nivåmätningar och hydrauliska tester.

Tabell 18 och Tabell 19 redovisas resultaten från utförda borrningar och siktanalyser vid de två planerade bergtunnelpåslagen samt centralt i Södra vägens dalgång.

Tabell 18. Resultat av siktanalyser från borringar. d_{10} , d_{30} , d_{60} , olikformighetsstalet (graderingstalet) $U=d_{60}/d_{10}$ och krökningstalet $C_c=d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$. Redovisad jordart är bedömd vid borring. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	U (-)	C_c (-)
KK4001U	10 - 11	sasiLe	0,0004	0,001	0,05	125	0,1
KK4002U	10 - 11	safSi	0,02	0,53	0,08	4	175,6
KK4003U	9 - 10	Sa	0,05	0,09	0,18	3	0,9
KK4003U	10 - 11	siSaf	0,05	0,07	0,11	2	0,8
KK4003U	11 - 12	Sa	0,08	0,18	0,38	5	1,1
KK4004U	13 - 14	Sa	0,11	0,28	0,63	6	1,1
KK4004U	14 - 15	Sa	0,09	0,23	0,40	4	1,5
KK4004U	15 - 16	Sa	0,09	0,26	0,70	8	1,1
KK4004U	16 - 17	Sa	0,11	0,30	0,51	5	1,6
KK4004U	17 - 18	Sa	0,10	0,25	0,46	5	1,4
KK4004U	18 - 19	Sa	0,10	0,28	0,46	5	1,8
KK4004U	19 - 20	siSa	0,05	0,12	0,31	7	1,0
KK4005U	12 - 13	Sa	0,11	0,35	0,82	7	1,4
KK4005U	13 - 14	Sa	0,08	0,30	0,81	11	1,5
KK4005U	19 - 20	siSaf	0,03	0,06	0,08	3	1,4
KK4005U	21 - 22	Sa	0,06	0,10	0,17	3	1,0
KK4005U	22 - 23	Sa	0,06	0,12	0,19	3	1,2
KK4007M	9 - 10	siSa	0,02	0,13	0,31	16	2,7
KK4008U	20 - 21	Sa	0,07	0,12	0,18	3	1,2
KK4008U	21 - 22	Sa	0,09	0,17	0,28	3	1,1
KK4010U	17 - 18	siSa	0,04	0,07	0,13	3	1,0
KK4011O	1 - 1,6	grleSa	0,02	0,22	0,80	36	2,8
KK4012U	17 - 18	Sa	0,07	0,12	0,20	2,9	1,1
KK4012U	20 - 21	Sa	0,08	0,30	0,63	8	1,7
KK4014U	5 - 6	Sa	0,05	0,20	0,55	11	1,5
KK4014U	10 - 11	siSaf	0,05	0,08	0,13	2	0,9
KK4014U	11 - 12	Sa	0,06	0,11	0,26	4	0,8
KK4015M	7 - 8	Sa	0,06	0,13	0,21	3	1,3
KK4015M	9 - 10	siSaf	0,04	0,06	0,10	2	0,9
KK4015M	10 - 11	Sa	0,07	0,10	0,17	3	0,9
KK4016U	4,5 - 5,5	grSa	0,06	0,11	0,31	5	0,7
KK4016U	6 - 7	Sa	0,14	0,31	0,63	5	1,1
KK4016U	7 - 8	siSa	0,02	0,05	0,40	27	0,5
KK4016U	8 - 9	siSa	0,05	0,13	0,40	9	0,9
KK4001H	11 - 13	saGr	0,13	2,00	5,00	40	6,4

Tabell 19. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet (K) från siktanalyser. K_{G50} , K_{G80} , och K_{G90} enligt Gustafson (K_{G50} =median, K_{G80} =80%-percentil och K_{G90} =90%-percentil). K_{valt} avser valt värde för vidare jämförelsen med K utvärderat från hydrauliska tester (K_H). Redovisad jordart är bedömd vid borrhning. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	K_{valt} (m/s)	K_{Hazen} (m/s)	K_{G50} (m/s)	K_{G80} (m/s)	K_{G90} (m/s)
KK4001U	10 - 11	sasiLe	3,2E-10	1,9E-09	3,2E-10	1,6E-10	1,0E-10
KK4002U	10 - 11	saf Si	6,0E-06	4,6E-06	6,0E-06	2,9E-06	1,9E-06
KK4003U	9 - 10	Sa	4,4E-05	3,3E-05	4,4E-05	2,2E-05	1,4E-05
KK4003U	10 - 11	siSaf	4,7E-05	3,3E-05	4,7E-05	2,3E-05	1,5E-05
KK4003U	11 - 12	Sa	9,0E-05	7,4E-05	9,0E-05	4,4E-05	2,9E-05
KK4004U	13 - 14	Sa	1,6E-04	1,4E-04	1,6E-04	7,7E-05	5,0E-05
KK4004U	14 - 15	Sa	1,2E-04	9,4E-05	1,2E-04	5,7E-05	3,7E-05
KK4004U	15 - 16	Sa	7,7E-05	8,4E-05	7,7E-05	3,8E-05	2,5E-05
KK4004U	16 - 17	Sa	1,7E-04	1,4E-04	1,7E-04	8,4E-05	5,5E-05
KK4004U	17 - 18	Sa	1,4E-04	1,2E-04	1,4E-04	7,0E-05	4,6E-05
KK4004U	18 - 19	Sa	1,3E-04	1,1E-04	1,3E-04	6,3E-05	4,1E-05
KK4004U	19 - 20	siSa	2,5E-05	2,4E-05	2,5E-05	1,2E-05	8,1E-06
KK4005U	12 - 13	Sa	1,4E-04	1,4E-04	1,4E-04	6,7E-05	4,4E-05
KK4005U	13 - 14	Sa	5,1E-05	6,5E-05	5,1E-05	2,5E-05	1,6E-05
KK4005U	19 - 20	siSaf	1,5E-05	1,0E-05	1,5E-05	7,3E-06	4,8E-06
KK4005U	21 - 22	Sa	5,3E-05	3,8E-05	5,3E-05	2,6E-05	1,7E-05
KK4005U	22 - 23	Sa	6,5E-05	4,6E-05	6,5E-05	3,2E-05	2,1E-05
KK4007M	9 - 10	siSa	2,9E-06	4,6E-06	2,9E-06	1,4E-06	9,3E-07
KK4008U	20 - 21	Sa	7,0E-05	4,9E-05	7,0E-05	3,4E-05	2,2E-05
KK4008U	21 - 22	Sa	1,3E-04	9,4E-05	1,3E-04	6,4E-05	4,2E-05
KK4010U	17 - 18	siSa	2,6E-05	1,9E-05	2,6E-05	1,3E-05	8,2E-06
KK4011O	1 - 1,6	grleSa	2,1E-06	5,6E-06	2,1E-06	1,0E-06	6,6E-07
KK4012U	17 - 18	Sa	(7,6E-05)	5,3E-05	7,6E-05	3,7E-05	2,4E-05
KK4012U	20 - 21	Sa	7,7E-05	8,0E-05	7,7E-05	3,8E-05	2,5E-05
KK4014U	5 - 6	Sa	2,3E-05	2,9E-05	2,3E-05	1,1E-05	7,2E-06
KK4014U	10 - 11	siSaf	4,7E-05	3,3E-05	4,7E-05	2,3E-05	1,5E-05
KK4014U	11 - 12	Sa	5,3E-05	4,2E-05	5,3E-05	2,6E-05	1,7E-05
KK4015M	7 - 8	Sa	6,3E-05	4,6E-05	6,3E-05	3,1E-05	2,0E-05
KK4015M	9 - 10	siSaf	3,3E-05	2,2E-05	3,3E-05	1,6E-05	1,0E-05
KK4015M	10 - 11	Sa	7,0E-05	4,9E-05	7,0E-05	3,5E-05	2,3E-05
KK4016U	4,5 - 5,5	grSa	4,9E-05	4,2E-05	4,9E-05	2,4E-05	1,6E-05
KK4016U	6 - 7	Sa	2,8E-04	2,3E-04	2,8E-04	1,4E-04	9,0E-05
KK4016U	7 - 8	siSa	1,2E-06	2,6E-06	1,2E-06	5,7E-07	3,7E-07
KK4016U	8 - 9	siSa	2,1E-05	2,3E-05	2,1E-05	1,0E-05	6,6E-06
KK4001H	11 - 13	saGr	6,3E-05	1,8E-04	6,3E-05	3,1E-05	2,0E-05

Vid det västra bergpåslaget (Landeriet) kan jordlagerföljden beskrivas som fyllning-lera-silt/finsand-berg. Skikt av friktionsjord har påträffats i leran i KK4005U.

I grundare undersökningspunkter (KK4014U samt KK4003U) tycks inslaget av grövre friktionsmaterial i jordlagerföljden minska. Den observerat dåliga vattenföringen vid borrhning genom jordlagren närmast berg, indikerar att bottenmorän förekommer.

Av de totalt 38 värdena på beräknad hydraulisk konduktivitet från jordproverna kan 25 värden hänföras till det undre magasinets friktionsmaterial, sju värden till potentiellt mellanmagasin i leran, ett till övre magasin, ett till lera och fyra värden från hammarborrning bedöms som osäkra.

För det undre magasinet kan noteras en väl samlad bild där 90 % av de beräknade hydrauliska konduktiviteterna återfinns i intervallet $8 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-4}$ m/s, med ett medianvärde om $6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s. För mellanmagasinet är motsvarande intervall $9 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$ m/s, med ett medianvärde om $5,1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Det kan inte uteslutas att proverna från mellanmagasinet innehåller finmaterial från angränsande lager och utvärderade konduktiviteter därmed är något låga.

13.3 Hydrauliska tester

13.3.1 Kapacitetstester

Vid borrning av grundvattenrören var vattenföringen vanligen mellan 0-60 L/min i enmeters-sektionerna. De högre flödena indikerar en hydraulisk konduktivitet i intervallet ca $3-5 \cdot 10^{-5}$ m/s, vilket korresponderar väl med beräkningarna från siktanalyserna.

Resultaten av återhämtningsmätningarna i hammarborrhålen redovisas i Tabell 20. Ingen tätning gjordes mellan jord och berg vid utförandet av hammarborrhålen. Förekomst av grovt friktionsmaterial och bottenmorän ovan berg kunde konstateras vid utförande av hammarborrhålen. Eftersom borrhålen inte är tätade mellan berg och jord, representerar utvärderad transmissivitet både den ytliga, uppspruckna delen av berggrunden och grundvattenmagasinet i jordlager på berggrundsytan.

Tabell 20. Resultat av återhämtningsmätning från kapacitetstest i hammarborrhål.

Punkt	H _m (m)	Q/s (m ² /s)	T (m ² /s)	K (m/s)	S (-)
KK4001H	5,5	1,7E-05	1,8E-04	3,3E-05	-
KK4002H	20,5	3,4E-06	2,4E-05	1,2E-06	4,0E-06
KK4003H	19,4	2,6E-06	7,1E-07	3,7E-08	-

I KK4001H är den beräknade hydrauliska transmissiviteten relativt hög, så den representerar sannolikt främst jordlagret på berget eftersom berget i ytan har bedömts vara måttligt uppsprucket med måttlig vattenföring. Transmissiviteten är relativt hög även i KK4002H och den representerar det ytliga berget och det ovanliggande friktionsmaterialet. I KK4003H motsvarar sannolikt den skattade transmissiviteten det ytliga, uppspruckna berget.

13.3.2 Pulstester

I 14 av 2"-rören genomfördes hydrauliska tester av typ pulstest. Utvärderingen av de hydrauliska testerna sammanfattas i Tabell 21.

Tabell 21. Resultat av hydrauliska tester. K_{ht} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från hydrauliska tester, S_s : specifik magasincoefficiënt, H_m : representativ magasinmäktighet och K_{sa} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från siktanalyser för aktuellt filterintervall. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Borrhåls -typ	Nivå markyta (m)	Nivå filter ök (m)	Nivå filter uk (m)	K_{ht} (m/s)	S_s (1/m)	H_m (m)	K_{sa} (m/s)	K_{ht}/K_{sa}
KK4001U	2"-rör	+8,2	-2,3	-3,3	4,7E-09	1,0E-05	5,5	3,2E-10	14,7
KK4002U	2"-rör	+8,5	-1,2	-2,2	3,6E-10	1,0E-05	1,8	1,1E-05	3E-05
KK4003U	2"-rör	+7,3	-7,2	-8,2	3,0E-05	1,0E-05	3,2	2,9E-05	1,0
KK4004U	2"-rör	+7,3	-11,7	-12,7	6,8E-10	1,0E-02	12	2,5E-05	3E-05
KK4005U	2"-rör	+6,7	-15,0	-16,0	6,3E-10	2,0E-03	3,7	6,5E-05	1E-05
KK4006M	2"-rör	+6,7	-5,5	-6,5	3,2E-07	6	4,5	-	-
KK4007M	2"-rör	+6,8	-2,3	-3,3	4,4E-07	7	4,0	2,9E-06	0,2
KK4009U	2"-rör	+7,3	-12,7	-13,7	1,9E-05	2,1E-02	6,0	-	-
KK4010U	2"-rör	+7,9	-11,4	-12,4	-	-	1,3	2,6E-05	-
KK4011O	2"-rör	+7,8	+7,3	+6,3	1,9E-05	2,1E-02	0,5	2,1E-06	9,0
KK4013U	2"-rör	+6,8	-10,3	-11,3	1,2E-04	1,0E-05	5,5	-	-
KK4014U	2"-rör	+7,2	-4,1	-5,1	1,8E-05	5,2E-04	2,3	5,3E-05	0,3
KK4015M	2"-rör	+7,3	-2,7	-3,7	1,3E-05	1,4E-05	4,0	7,0E-05	0,2
KK4016U	2"-rör	+9,1	0,5	-0,5	8,3E-07	1,6E-05	5,0	2,1E-05	0,04

Som framgår av Tabell 21 bedöms flertalet hydrauliska tester inte ge representativa värden då finmaterial flutit in och fyllt upp nederdelen av rören, vilket innebär att hela eller del av filterdelen är täckt. Därmed underskattas den hydrauliska konduktiviteten vid testerna. För tester i KK4009U och KK4013U bedöms den utvärderade hydrauliska konduktiviteten vara i rätt storleksordning, jämfört med tolkad jordart vid testad nivå. Här har prover för siktanalys inte uttagits, varför K_{ht} bör ses som mest representativa. Test i rör KK4011O indikerar att det övre magasinet kan vara mer konduktivt än vad siktanalysen utvisar. Det högre utvärderade K-värdet från pulstesten kan även vara en följd av att vatten läckt ut från röret till den omättade zonen. Det högre värdet (K_{ht}) bör dock antas vara mest representativt.

13.3.3 Provpumpning

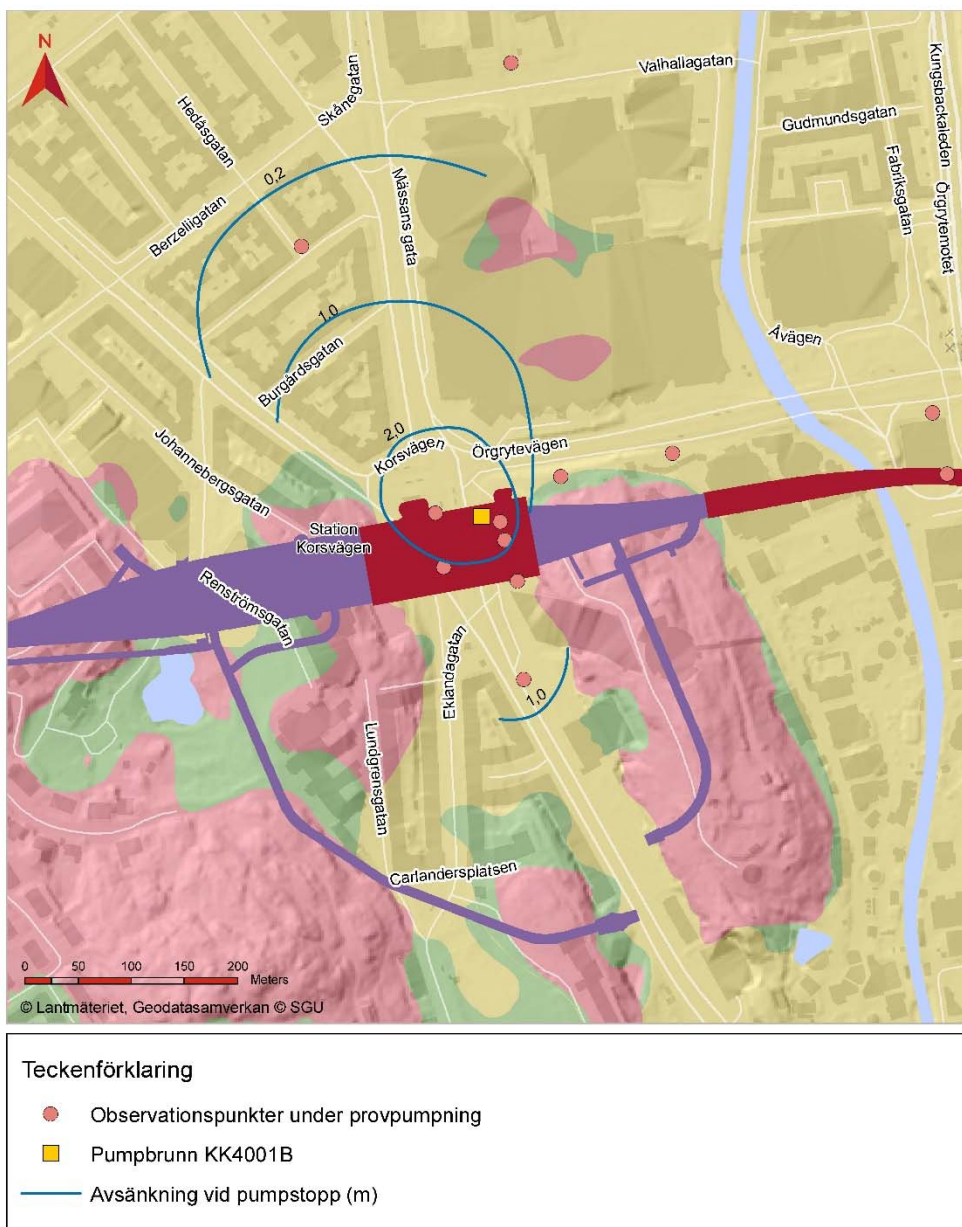
En 14-dagars provpumpning genomfördes i brunn KK4001B vid Korsvägen i januari 2013 med flödet ca 15 L/min. Förutom grundvattennivåmätningar i brunnen, utfördes grundvattennivåmätningar i 14 observationspunkter, varav två i hammarborrhål och nio observationspunkter i undre magasin och tre observationspunkt i mellan-magasinet. Stationära förhållanden uppkom inte under pumpningen. Efter pumpstopp skedde återhämtningsmätning under 14 dagar.

Observationsrören i undre magasinet vid Korsvägen och söderut längs Mölndalsvägen reagerade på pumpningen. Tydliga responser syntes också NNV om Korsvägen i undre magasinet på ett avstånd om ca 300 m från pumpbrunnen. Det finns en fördröjd men relativt tydlig respons i KK4007M (mellanmagasinet) och eventuellt en viss (långsam) respons i grundvattenmagasinet i KK4006M på större avstånd från pumpbrunnen.

Mot öster, utanför Liseberg men även vid Lisebergsgaraget uppkom ingen större hydraulisk påverkan som kunde kopplas till pumpningen. Det kan dock inte uteslutas att det finns viss hydraulisk kontakt österut.

I Figur 18 redovisas tolkad maximal avsänkning i undre magasinet efter 14 dagars pumpning.

En översiktlig utvärdering av T och S under antagande av radiell strömning gav en hydraulisk transmissivitet på ca $6 \cdot 10^{-5}$ m²/s och en magasincoefficiënt på omkring $5 \cdot 10^{-4}$. Eftersom det finns goda skäl att minst en negativ hydraulisk gräns inverkar (Liseberget), innebär detta att den hydrauliska transmissiviteten i grova drag fördubblas till i verkligheten $12 \cdot 10^{-5}$ m²/s.



Figur 18. Tolkad avsänkning och influensområde i jord från provpumpningen vid Korsvägen.

Om medelmäktigheten i undre magasinet inom och utanför Korsvägen är ca 2-3 meter, innebär detta en hydraulisk konduktivitet med medelvärde ca $3 \cdot 10^{-5}$ m/s utvärderad från provpumpningen, vilket kan jämföras med den utvärderade hydrauliska konduktiviteten från siktanalyser och pulstester på omkring $7 \cdot 10^{-5}$ m/s.

13.4 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde KK

Vid Korsvägen och söderut utgörs området av en markerad dalgång som öppnar upp mot ett flackt område med stora jordmäktigheter mot norr. Undersökningar inom delområdet omfattar borrhningar kring Korsvägen och söderut längs Södra vägen.

Jordlagerföljden vid Korsvägen utgörs av fyllning på lera och med friktionsjord mot berget. Inom leran finns skikt av friktionsjord vilket innebär att det här förväntas lokalt förekomma ett mellanmagasin förutom de generella övre och undre grundvattenmagasinen. Det undre grundvattenmagasinet är relativt mäktigt med en vattenförande förmåga på 10^{-5} till 10^{-4} m/s. Det lokala mellanmagasinet förefaller ha liknande egenskaper.

14.1 Tidigare utredningar

Vid Kallebäcksmotet utfördes 1999 hydrauliska tester i form av pulstester i flera brunnar och pumptester i en sandfilterbrunn. De flesta sandfilterbrunnarna uppvisade hydrauliska konduktiviteter på $2\text{--}60\cdot 10^{-6}$ m/s medan en brunn hade en konduktivitet på ca $1,5\cdot 10^{-4}$ m/s (Bergab 1999b). Från pumptesterna i sandfilterbrunnen beräknades en hydraulisk konduktivitet på ca $5\cdot 10^{-6}$ m/s.

14.2 Borrningar och siktanalys

14.2.1 Väster om Mölndalsån

Fyra stycken borrningar KA4007U-KA4010U av typen 2" stålrör med en meter filter i form av 8 mm perforering har utförts vid det planerade tunnelpåslaget på östra sidan av Liseberget. Samtliga borrpunkter utfördes till det undre grundvattenmagasinet. Dessutom utfördes ett 4,5" hammarborrhål KA4005H.

Totalt sex stycken jordprover på friktionsjord togs vid rörborrningarna. Tre jordprover erhöles även vid utförandet av hammarborrhålet. Representativa jordprover genomgick siktanalys eller hydrometeranalys för bestämning av materialets hydrauliska konduktivitet.

Tabell 22 och Tabell 23 redovisar resultaten från borrningar utförda vid tunnelpåslaget Liseberg. Samtliga jordprover representerar det undre grundvattenmagasinet.

Tabell 22. Resultat av siktanalyser från borrningar. d_{10} , d_{30} , d_{60} , olikformighetstalet (graderingstalet) $U=d_{60}/d_{10}$ och krökningstalet $C_c=d_{30}^2/(d_{10}\cdot d_{60})$. Redovisad jordart är bedömd vid borrning. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	U (-)	C_c (-)
KA4007U	9,2 - 9,4	si Sa	0,018	0,2	0,57	31,67	3,90
KA4008U	13-14,0	si sa	0,05	0,08	0,14	2,80	0,91
KA4008U	14 - 15,0	Saf	0,06	0,1	0,15	2,50	1,11
KA4009U	10 - 12,0	gr si Sa	0,015	0,045	0,50	33,33	0,27
KA4009U	14 - 15,0	si Sa	0,02	0,05	0,20	10,00	0,63
KA4010U	17 - 18,1	si Sa	0,027	0,09	0,46	17,04	0,65
KA4005H	14 - 15,0	grSa	0,07	0,28	1,10	15,71	1,02
KA4005H	15 - 16,0	grSa	0,063	0,44	1,90	30,16	1,62
KA4005H ^a	18 - 20,0	grSa	0,44	0,56	1,70	3,86	0,42

^a Prov från uppfattad sedimentfylld spricka. Bergytan vid ca 17 meters borrhåld.

Tabell 23. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet (K) från siktanalyser. K_{G50} , K_{G80} , och K_{G90} enligt Gustafson (K_{G50} =median, K_{G80} =80%-percentil och K_{G90} =90%-percentil). K_{valt} avser valt värde för vidare jämförelsen med K utvärderat från hydrauliska tester (K_{ht}). Redovisad jordart är bedömd vid borrning. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	K_{valt} (m/s)	K_{Hazen} (m/s)	K_{G50} (m/s)	K_{G80} (m/s)	K_{G90} (m/s)
KA4007U	9,2 - 9,4	si Sa	1,5E-06 ^a	3,75E-06	1,51E-06	7,39E-07	4,82E-07
KA4008U	13 - 14,0	si sa	4,1E-05	2,89E-05	4,13E-05	2,02E-05	1,32E-05
KA4008U	14 - 15,0	Saf	6,0E-05	4,17E-05	6,03E-05	2,96E-05	1,93E-05
KA4009U	10 - 12,0	gr si Sa	1,0E-06	2,60E-06	1,01E-06	4,97E-07	3,24E-07
KA4009U	14 - 15,0	si Sa	3,8E-06	4,63E-06	3,82E-06	1,87E-06	1,22E-06
KA4010U	17 - 18,1	si Sa	5,0E-06	8,43E-06	5,02E-06	2,46E-06	1,61E-06
KA4005H	14 - 15,0	grSa	3,5E-05	5,67E-05	3,55E-05	1,74E-05	1,14E-05
KA4005H	15 - 16,0	grSa	1,9E-05	4,59E-05	1,90E-05	9,33E-06	6,09E-06
KA4005H ^a	18 - 20,0	grSa	2,9E-03	2,24E-03	2,95E-03	1,44E-03	9,43E-04

^a Prov från uppfattad sedimentfylld spricka. Bergytan på osäkert ca 17 meters borrhåld.

Jordlagerföljden vid påslaget på östra sidan av Liseberget kan preliminärt beskrivas enligt borrningarna som (uppifrån och ner) fyllning-lera-silt/finsand-morän-berg. Överst genomborrades cirka två meter

fyllnadsmaterial ovan lera, vilket eventuellt skulle kunna utgöra ett övre grundvattenmagasin. Fältobservationer indikerade dock att fyllnadsmaterialet inte var vattenförande.

Resultat från enbart siktanalyserna indikerar enligt Tabell 22 och Tabell 23 att den hydrauliska konduktiviteten i det undre magasinet (lokalt vid påslaget i Liseberget) är i storleksordningen 10^{-6} - 10^{-4} m/s, men att underliggande moränjord kan ha en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-6} m/s.

14.2.2 Öster om Mölndalsån

Under hösten 2012 genomfördes borrhningar vid Lisebergsgaraget. Totalt drevs sex 2"-rör och fyra hammarborrhål borrades.

En av borrhpunkterna (KA4005O) utfördes i det övre grundvattenmagasinet, övriga borrhpunkter utfördes i det undre grundvattenmagasinet. Av tillgänglighetsskäl kunde borrhningarna enbart placeras på västra sidan av E6, nära Lisebergsgaraget.

Fyra stycken 4,5" hammarborrhål (KA4001H-KA4004H) utfördes.

Totalt togs 17 jordprover från det undre magasinet. Urvalet av jordprover gjordes på plats allteftersom borrhningen fortskred. Representativa jordprover genomgick siktanalys och hydrometeranalys för översiktlig bestämning av materialets hydrauliska konduktivitet.

I Tabell 24 och Tabell 25 sammanfattas jordprovsresultaten från borrhningarna. Samtliga jordprover representerar det undre grundvattenmagasinet.

Tabell 24. Resultat av siktanalyser från borrhningar. d_{10} , d_{30} , d_{60} , olikformighetstalet (graderingstalet) $U=d_{60}/d_{10}$ och krökningstalet $Cc=d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$. Redovisad jordart är bedömd vid borrhning. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	U (-)	Cc (-)
KA4001U	27- 28,0	Sa	0,063	0,11	0,20	3,17	0,96
KA4001U	28- 29,0	Sa	0,063	0,09	0,16	2,54	0,80
KA4001U	29- 30,0	Sa	0,085	0,15	0,36	4,24	0,74
KA4001U	30 - 31,0	Sa	0,13	0,25	0,50	3,85	0,96
KA4001U	31 - 32,0	gr Sa	0,25	0,5	1,50	6,00	0,67
KA4002U	21 - 22,0	Sa	0,063	0,1	0,17	2,70	0,93
KA4002U	22 - 23,0	Sa	0,055	0,095	0,17	3,09	0,97
KA4002U	23 - 24,0	Sa	0,063	0,12	0,18	2,86	1,27
KA4002U	23 - 24,0	Sa	0,063	0,12	0,18	2,86	1,27
KA4003U	19 - 20,0	grLe	0,0002	0,0026	0,08	400	0,42
KA4004U	22 - 23,0	Sa	0,075	0,15	0,30	4,00	1,00
KA4004U	23 - 24,0	Sa	0,2	0,33	0,70	3,50	0,78
KA4004U	24 - 25,0	Sa	0,2	0,33	0,50	2,50	1,09
KA4004U	25 - 26,0	Sa	0,15	0,22	0,42	2,80	0,77
KA4004U	26 - 27,0	Sa	0,075	0,18	0,42	5,60	1,03
KA4006U	11 - 12,0	siSaf	0,05	0,07	0,12	2,40	0,82
KA4006U	12 - 12,4	Sa	0,053	0,108	0,19	3,58	1,16
KA4002H	26,5 - 27,5	Sa	0,063	0,175	0,35	5,56	1,39
KA4002H	27 - 27,3	Sa	0,125	0,195	0,30	2,40	1,01
KA4003H	23 - 24,0	siSa	0,04	0,125	0,50	12,50	0,78
KA4004H	10,5 - 11,0	grsiSa	0,003	0,25	0,72	240	28,94

Tabell 25. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet (K) från siktanalyser. K_{G50} , K_{G80} , och K_{G90} enligt Gustafson (K_{G50} =median, K_{G80} =80%-percentil och K_{G90} =90%-percentil). K_{valt} avser valt värde för vidare jämförelsen med K utvärderat från hydrauliska tester (K_H). Redovisad jordart är bedömd vid borrhning. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	K_{valt} (m/s)	K_{Hazen} (m/s)	K_{G50} (m/s)	K_{G80} (m/s)	K_{G90} (m/s)
KA4001U	27-28,0	Sa	6,4E-05	4,59E-05	6,39E-05	3,13E-05	2,05E-05
KA4001U	28- 29,0	Sa	6,6E-05	4,59E-05	6,64E-05	3,25E-05	2,12E-05
KA4001U	29- 30,0	Sa	1,1E-04	8,36E-05	1,06E-04	5,22E-05	3,41E-05
KA4001U	30- 31,0	Sa	2,6E-04	1,96E-04	2,58E-04	1,26E-04	8,24E-05
KA4001U	31- 32,0	gr Sa	7,9E-04	7,23E-04	7,90E-04	3,87E-04	2,53E-04
KA4002U	21- 22,0	Sa	6,6E-05	4,59E-05	6,59E-05	3,23E-05	2,11E-05
KA4002U	22- 23,0	Sa	4,9E-05	3,50E-05	4,90E-05	2,40E-05	1,57E-05
KA4002U	23- 24,0	Sa	6,5E-05	4,59E-05	6,53E-05	3,20E-05	2,09E-05
KA4002U	23- 24,0	Sa	6,5E-05	4,59E-05	6,53E-05	3,20E-05	2,09E-05
KA4003U	19- 20,0	grLe	4,1E-11	4,63E-10	4,14E-11	2,03E-11	1,33E-11
KA4004U	22- 23,0	Sa	8,5E-05	6,5E-05	8,5E-05	4,1E-05	2,7E-05
KA4004U	23- 24,0	Sa	6,3E-04	4,6E-04	6,3E-04	3,1E-04	2,0E-04
KA4004U	24- 25,0	Sa	6,7E-04	4,6E-04	6,7E-04	3,3E-04	2,1E-04
KA4004U	25- 26,0	Sa	3,7E-04	2,6E-04	3,7E-04	1,8E-04	1,2E-04
KA4004U	26- 27,0	Sa	7,4E-05	6,5E-05	7,4E-05	3,6E-05	2,4E-05
KA4006U	11- 12,0	siSaf	4,2E-05	2,89E-05	4,20E-05	2,06E-05	1,34E-05
KA4006U	12- 12,4	Sa	4,4E-05	3,25E-05	4,38E-05	2,15E-05	1,40E-05
KA4002H	26,5 - 27,5	Sa	5,2E-05	4,59E-05	5,21E-05	2,55E-05	1,67E-05
KA4002H	27 - 27,3	Sa	2,6E-04	1,81E-04	2,63E-04	1,29E-04	8,40E-05
KA4003H	23 - 24,0	siSa	1,3E-05	1,85E-05	1,33E-05	6,54E-06	4,27E-06
KA4004H	10,5 - 11,0	grsiSa	1,2E-08	1,0E-07	1,2E-08	6,1E-09	4,0E-09

De största jorddjupen i Mölndalsåns dalgång bedöms uppgå till ca 45 meter, med successivt mindre mäktigheter mot berget i öster.

Vid KA4001U utgörs det undre magasinet av ca 10 m sand med inslag av grus mot djupet, och jorddjupet är totalt ca 32 m. Vid KA4002U, ca 20 m öster om KA4001U, är jorddjupet ca 24 m. Det undre magasinet utgörs här av sand med inslag av silt och har en mäktighet på ca 6 m.

Det finns även ett övre grundvattenmagasin som utgörs av ca 2 meter fyllnadsmaterial. Ett 2" grundvattenrör KA4005O installerades i det övre grundvattenmagasinet med det huvudsakliga syftet att möjliggöra grundvattennivåmätningar. Provtagning utfördes inte vid installationen av grundvattenröret varför fyllnadsmaterialets hydrauliska konduktivitet inte är känd.

Resultat från siktanalyserna indikerar att den hydrauliska konduktiviteten i det undre magasinet i den östra delen närmare berget är ca 10^{-4} m/s. Enskilda observationer ger som medelvärde samma storleksordning som den som erhöles vid pumpning av brunnen vid Lisebergsgaraget år 2005 ($T \approx 4 \cdot 10^{-4}$ m²/s), om den vattenförande mäktigheten är ca 4-6 meter (Banverket 2005).

14.3 Hydrauliska tester

Hydrauliska tester har, förutom i borrhpunkter enligt föregående avsnitt, utförts i grundvattenrör etablerade i Örgryte och Skår under 2015.

14.3.1 Pulstester

I KA4001U– KA4004U, KA4005O samt KA4006U– KA4010U utfördes hydrauliska tester av typ pulstest. Pulstester har även utförts i grundvattenrören KA4103U, KA4104U, KA4203U, KA4205U-4208U samt KA4213U. Resultaten från utvärderingen redovisas i Tabell 26.

Tabell 26. Resultat av hydrauliska tester. K_{ht} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från hydrauliska tester, S_s : specifik magasin-koefficient, H_m : representativ magasin-måktighet och K_{sa} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från siktanalyser för aktuellt filterintervall. Röd text indikerar osäkra värden.

Punkt	Borrhåls -typ	Nivå markyta (m)	Nivå filter ök (m)	Nivå filter uk (m)	K_{ht} (m/s)	S_s (1/m)	H_m (m)	K_{sa} (m/s)	K_{ht}/K_{sa}
KA4001U	2"-rör	2,66	2,6	-29,4	2,3E-04 ^a	1,0E-05	12	7,9E-04	0,29
KA4002U	2"-rör	3,39	3,32	-20,88	5,0E-06 ^b	1,0E-05	6,2	6,5E-05	7,7E-02
KA4003U	2"-rör	4,06	4,02	-16,53	1,0E-10	2,0E-03	1,55	4,1E-11	2,4
KA4004U	2"-rör	4,12	4,09	-22,91	5,3E-05 ^c	1,0E-05	7	7,4E-05	0,71
KA4005O	2"-rör	3,77	3,77	1,67	7,5E-05 ^d	-	2,19	-	-
KA4006U	2"-rör	3,69	3,69	-8,71	-	-	1,2	4,3E-05	-
KA4007U	2"-rör	4,59	4,51	-4,89	1,5E-06	1,0E-02	0,2	1,5E-06	1,0
KA4008U	2"-rör	4,14	4,06	-11,04	-	-	3,1	6,0E-05	-
KA4009U	2"-rör	4,15	4,07	-11,8	3,1E-08 ^e	8,4E-04	4,2	3,8E-06	8,2E-03
KA4010U	2"-rör	4,12	4,04	-14,1	1,0E-10	4,4E-02	18,1	5,0E-06	2,0E-05
KA4103U	2"-rör	+9,37	+1,12	+0,12	1,7E-06	-	1,8	-	-
KA4104U	2"-rör	+9,46	+3,71	+2,71	2,8E-06	-	2,2	-	-
KA4203U	2"-rör	+9,11	-3,84	-4,84	4,8E-05	-	-	-	-
KA4205U	2"-rör	+10,40	-9,65	-10,65	7,8E-06	-	-	-	-
KA4206U	2"-rör	+9,77	+4,52	+3,52	8,9E-05	-	-	-	-
KA4207U	2"-rör	+16,04	-2,99	-3,99	-	-	-	-	-
KA4208U	2"-rör	+16,50	+1,54	+0,54	4,5E-05	-	-	-	-
KA4213U	2"-rör	+26,62	+23,85	+22,85	1,3E-05	-	-	-	-

^a Utvärderat K bedöms representera grusig sand på filternivå.

^b Utvärderat K bedöms representera sand på filternivå.

^c Utvärderat K är representativt för sanden på filternivå.

^d Utvärderat K är representativt för fyllnadsmaterial på filternivå.

^e Utvärderat låga K kan bero på influet finmaterial på filternivå, ej representativt för "siltig sand".

Utvärderade tester visar på resultat som varierar beroende av vilket jordmaterial som finns på filternivå. Generellt skiljer sig resultaten från siktanalyser och pulstester med några undantag. Beräkningar baserade på flödesuppgifter från borrhålen ger i flera fall bättre överensstämmelse med siktanalyserna.

För KA4001U erhöles från pulstesten en konduktivitet på $2 \cdot 10^{-4}$ m/s vilket representerar sandigt grus på filternivå. Tolkat K -värde $5 \cdot 10^{-6}$ m/s för KA4002U indikerar sand på filternivå. Utvärderat K för KA4003U är osäkert men är sannolikt lågt eftersom filtret sitter i ett lager av grusig lera. Flödet var obetydligt vid borrhålen.

Det utvärderade hydrauliska testet i KA4004U och KA4007U visade ett K -värden på $5 \cdot 10^{-5}$ m/s respektive $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. För övriga rör i undre magasin indikerar resultaten att rören är igensatta.

Pulstester utförda i grundvattenrör längs Delsjöbäckens dalgång visar på konduktiviteter i intervallet 10^{-5} till 10^{-4} m/s. Grundvattenrören som är satta i Skår indikerade värden $< 10^{-6}$ m/s.

Det hydrauliska testet i KA4005O utfördes i ett lager fyllning som fungerar som ett öppet magasin och där grundvattenytan ligger på filternivå. Utvärderad hydraulisk konduktivitet på omkring $7,5 \cdot 10^{-5}$ m/s bedöms vara representativt för fyllning bestående av friktionsmaterial.

14.3.2 Kapacitetstester

I hammarborrhål KA4001H – KA4005H genomfördes mätning av grundvattenytans återhämtning i samband med borrhålen. Berget påträffades mellan 11-25 m djup, och borrhålen fortsatte till mellan 33-40

m djup. Det utfördes ingen tätning mellan jordlagren och berggrunden. Utvärderad genomsläpplighet motsvarar det totala magasinet för berg-jord, se Tabell 27.

I KA4001H och KA4002H konstaterades en mycket vattenförande sprickzon. Den specifika kapaciteten $Q/\Delta s$ för KA4001H och KA4002H, inklusive medverkan av friktionsjorden i undre magasinet, ligger i intervallet $3\text{--}6\cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ vilket indikerar en eller flera mycket transmissiva strukturer i trolig kontakt med ovanliggande friktionsmaterial. KA4001H har provpumpats i februari 2013, resultatet från denna provpumpning redovisas i avsnitt 14.3.3 Provpumpningar.

I KA4003H uppmättes flöden $<6 \text{ L/min}$ och den maximala avsänkningen var 38 m vilket resulterade i en specifik kapacitet på $2\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Detta värde indikerar en eller flera måttligt transmissiva strukturer där borrhålet sannolikt är hydrauliskt kopplat till undre magasinet.

I KA4005H noterades inget mätbart vatten förutom närmast bergöverytan. När borrhningen avslutats påbörjades kapacitetstest av borrhålet, vilken varade i ca 30 minuter, med påföljande återhämtningsmätning. Återhämtningsmätningen visade sig dock inte vara utvärderingsbar eftersom borrhålet i princip var torrt vid borrhning och återhämtningen var mycket långsam

Tabell 27. Resultat av återhämtningsmätning från kapacitetstest i hammarborrhål.

Punkt	H_m (m)	Q/s (m^2/s)	T (m^2/s)	K (m/s)	S (-)
KA4001H	8,3	$6,0\text{E-}04$	- ^a		-
KA4002H	11,7	$2,9\text{E-}04$	$1,4\text{E-}03$	$1,2\text{E-}04$	-
KA4003H	15,2	$2,2\text{E-}06$	$1,1\text{E-}07$	$7,2\text{E-}09$	-
KA4004H	21,5	$1,4\text{E-}09$	-		-
KA4005H	19,3	$1,3\text{E-}08$	-	-	-

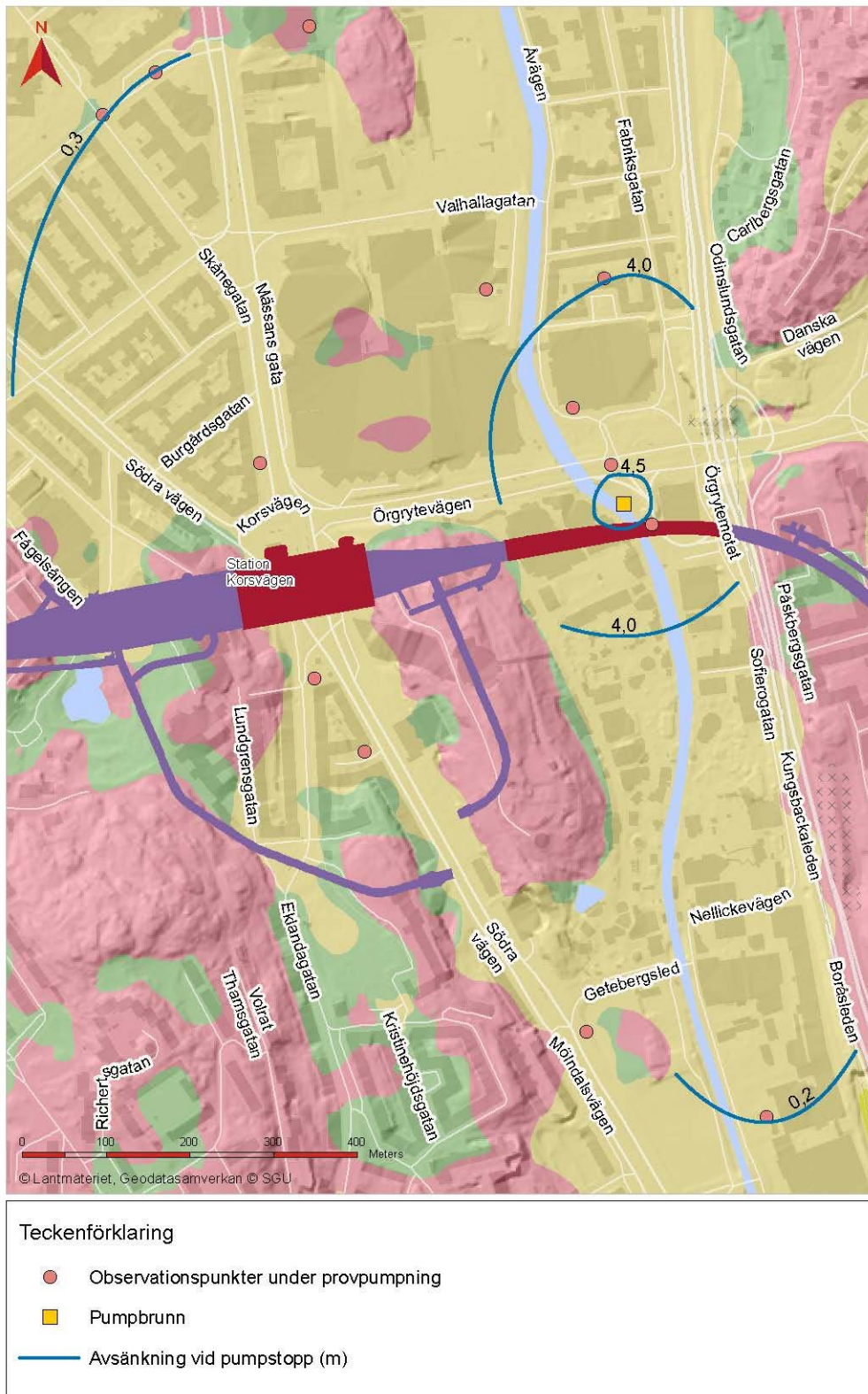
^a Återhämtningen var så hastig att ingen manuell mätning var möjlig. Den hydrauliska transmissiviteten är troligen mycket hög, i storleksordning $1\cdot 10^{-3}$ till $1\cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

14.3.3 Provpumpningar

Fyra provpumpningar är utförda inom delområde KA: två provpumpningar vid Lisebergsgaraget utförda 2005 och 2013, en provpumpning i Örgryte 2015 och en provpumpning i Skår 2014.

14.3.3.1 Lisebergsgaraget 2005

Provpumpningen vid Lisebergsgaraget 2005 utfördes i friktionslagret under Mölndalsåns dalgång vid Lisebergsgaraget, ca 435 meter österut från Korsvägen, se Figur 20. Utvärderingen gav en transmissivitet ca $4\cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ för en friktionslagermaktighet av 4–6 meter. Detta indikerar i så fall en medelkonduktivitet om ca $0,7\text{--}1,0\cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, vilket är i paritet med eller i överkant av värden för hydraulisk konduktivitet för undre magasin vid Korsvägen. Vid utförd pumpning erhöles signifikant hydraulisk kontakt mellan provpumpningsområdet ($\Delta s \approx 4,5$ meter närmast utanför uttagsbrunnen) och Korsvägen ($\Delta s \approx 0,3$ meter i rör 31101 i hörnet av Korsvägen- Skånegatan), d v s mellan friktionslagren i Mölndalsåns dalgång och under Korsvägen (avstånd 435 m), se Figur 20. Kontakten går sannolikt via sammanhängande friktionslager under Örgrytevägen. Påverkan kunde inte spåras söder om Korsvägen.



Figur 20. Tolkad avsänkning och influensområde i jord från provpumpningen vid Lisebergsgaraget 2005.

14.3.3.2 Lisebergsgaraget 2013

Syftet med den genomförda provpumpningen vid Lisebergsgaraget var att klarlägga kommunikationen mellan bergets vattenförande sprickzon och det undre grundvattenmagasinet i friktionsmaterialet, liksom att bestämma de hydrauliska egenskaperna.

Pumpningen utfördes under 14 dagar i KA4001H, ett 4,5"-hammarborrhål. Vid utförandet av borrhålet påträffades en mycket vattenförande sprickzon och flöden på ca 1200 L/min mättes upp, vilket svarar mot sprickzonen och det ca 5 m mäktiga friktionsmaterial på berget. Transmissiviteten i sprickzonen och överliggande friktionsjord bedömdes uppgå till 10^{-4} till 10^{-3} m²/s utifrån återhämtningsmätning.

Pumpflödet var ca 140 L/min under större delen av testet. Stationära förhållanden uppkom inte under pumpningen.

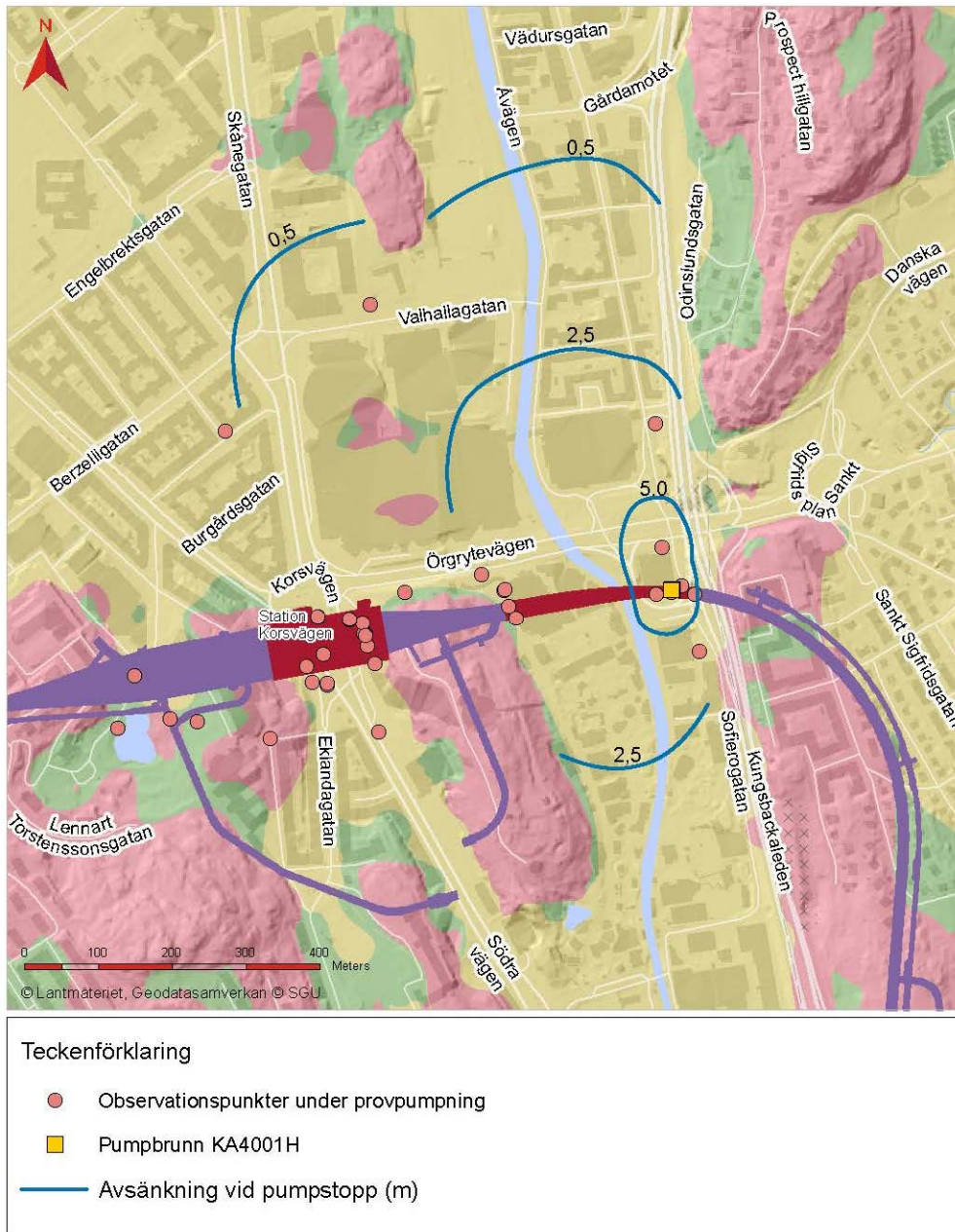
Observationsrören i det undre magasinet vid Lisebergsgaraget reagerade vid provpumpningen. Däremot påverkades inte grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet relativt nära pumpbrunnen.

Påverkan från provpumpningen redovisas i Figur 21. Avsänkning observeras ca 500-600 m åt norr, och nordväst om pumpbrunnen. Väster om pumpbrunnen sträcker sig påverkan ca 200 m men ingen påverkan kunde noteras vid Korsvägen. Påverkan skedde även söderut, minst 200 m.

Avsänkningen är relativt likartad inom ca 100 meters avstånd från pumpplatsen, för att bortanför detta avstånd reduceras enligt radiell strömningsmodell.

Bortsett från de effekter som uppkommer nära pumpbrunnen, och de nivåosäkerheter som finns på stort avstånd, så avsänktes grundvattennivåerna som i ett magasin med hydrauliska ränder. Analysen visar att en kanalmodell (radiell modell med negativa hydrauliska ränder) med bredden 370 m kan förklara responsen under de ca 3-4 första dagarna av provpumpningen. Därefter minskar avsänkningstakten, vilket kan förklaras av att magasinet norrut blir bredare än antagen kanalmodell.

De transienta utvärderingarna indikerar transmissiviteten ca $7 \cdot 10^{-4}$ m²/s i pumpbrunnen och dess närmaste omgivning (sprickzon plus jordlager). Initialt är flödet radiellt, men efter viss tid visar avsänkningen i observationsrören att grundvattenmagasinet kan beskrivas med en kanalmodell. Resultaten tyder på att friktionsjordens konduktivitet i hög grad medverkar till transmissiviteten i KA4001H.

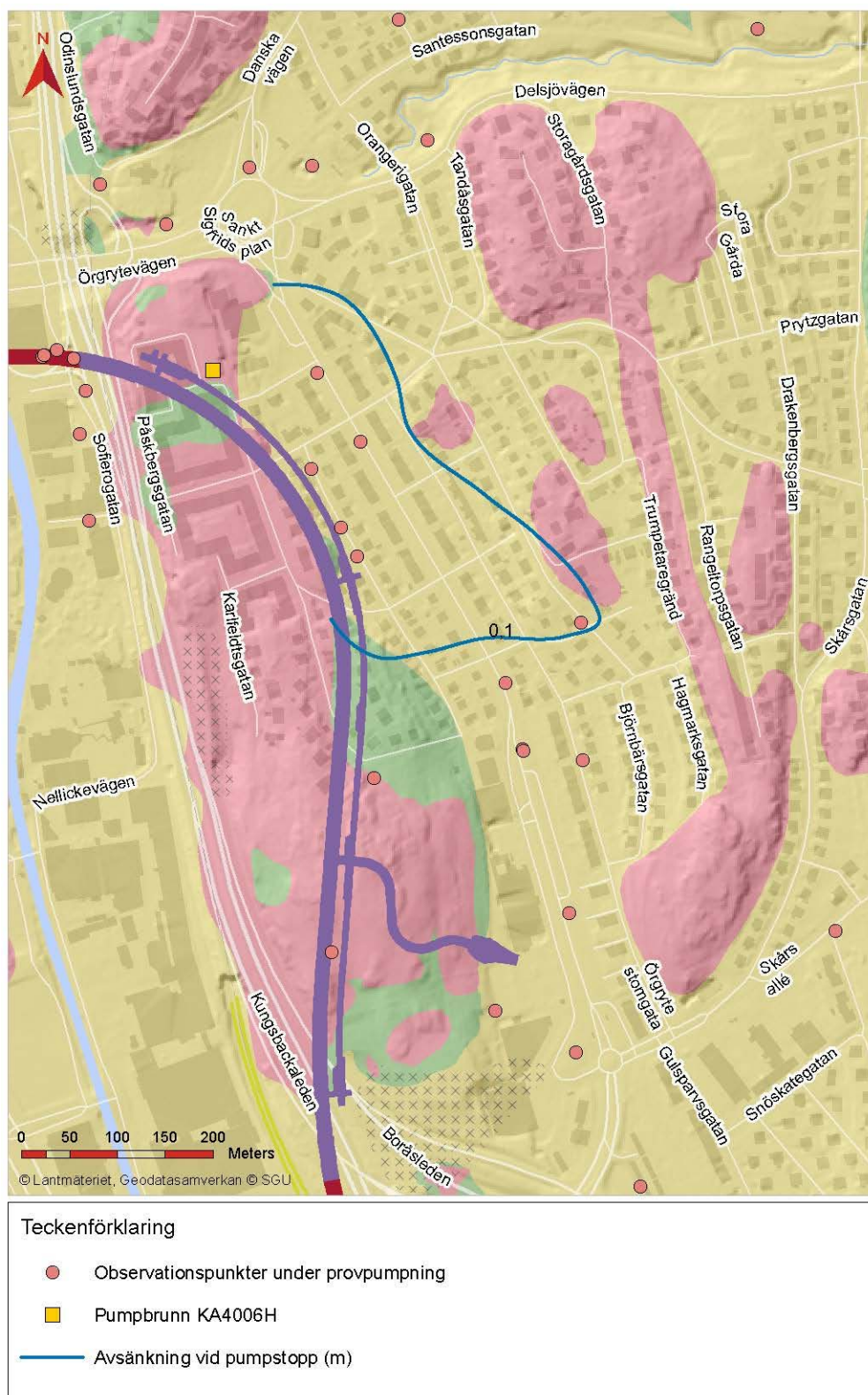


Figur 21. Tolkad avsänkning och influensområde i jord från provpumpningen vid Lisebergsgaraget 2013.

14.3.3.3 Provpumpning Örgryte 2015

En provpumpning genomfördes i det otätade hammarborrhålet KA4006H under hösten 2015. Pumpningen skedde i berg och på grund av det ringa jorddjupet (ca 1 m) vid pumpbrunnen bedöms inflödet från jordlagren försumbart. Genomsnittligt pumpflöde var ca 35 L/min. Grundvattennivåmätningar gjordes i 35 observationsrör, varav 27 rör satt i det undre magasin, två i det övre och resten i berg.

Grundvattennivåerna var sjunkande i magasinet och i närliggande magasin under perioden för provpumpningen. Den naturliga avsänkning i närliggande magasin var omkring 0,2-0,4 m. Avsänkning i pumpbrunnen uppgår till ca 22 m, vilket ger en specifik kapacitet på omkring $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ i pumpbrunnen. Uppmätt avsänkning i observationspunkter ligger inom den naturliga fluktuationen för respektive rör, men påverkansområdet bedöms sträcka sig ca 300 m i dalgången söder om pumpbrunnen, samt maximalt ca 100 m norr om pumpbrunnen, se Figur 22.



Figur 22. Tolkad avsänkning och influensområde i jord från provpumpningen i Örgryte.

14.3.3.4 Provpumpning i Skår 2014

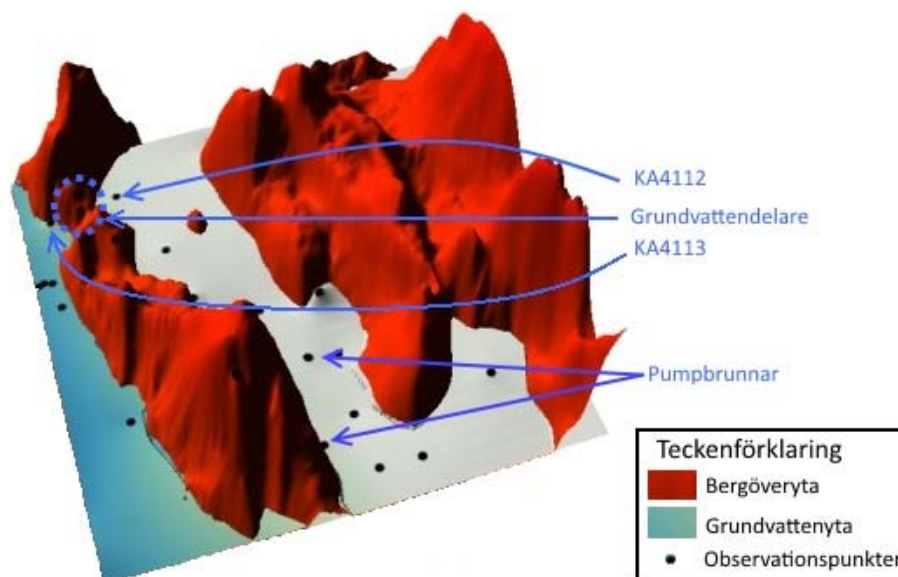
Provpumpningen i Skår genomfördes under maj 2014. Pumpning utfördes i hammarborrhål AA4005H och i sandfilterbrunn KA4001B, se Figur 24. Inledningsvis var det sammanlagda pumpflödet ca 60 L/min, varav huvuddelen från sandfilterbrunnen KA4001B. Efter ca 10 dagars pumpning ökades pumpflödet i KA4001B med ca 18 L/min.

Grundvattennivåer observerades i 37 punkter inklusive pumpbrunnarna. I huvuddelen av dessa kan det konstateras att ingen förändring av grundvattennivå skett till följd av provpumpningen. Avsänkningen i pumpbrunnarna uppgår till ca 9 m i KA4001B och ca 4 m i AA4005H.

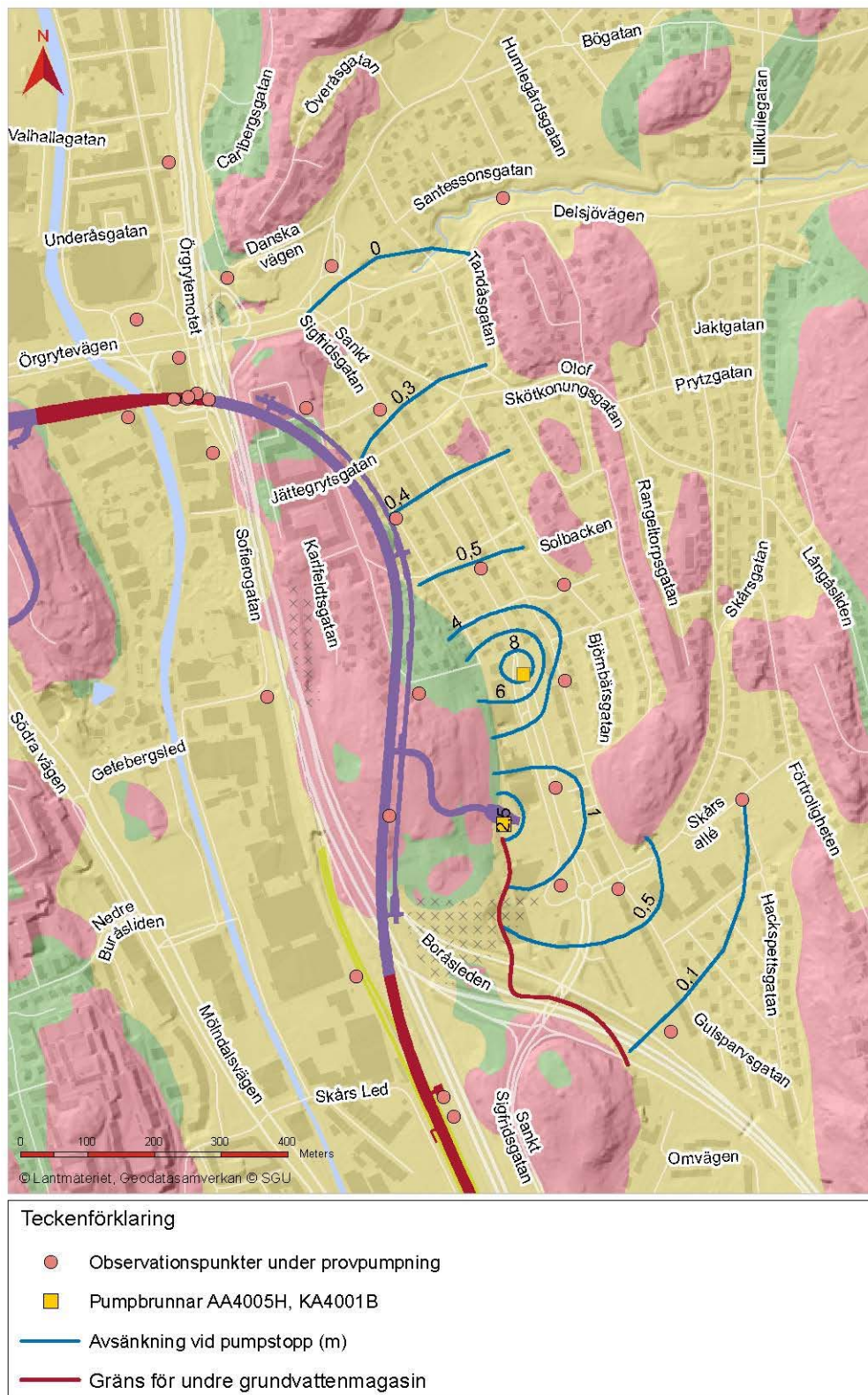
Utvärdering av hydraulisk transmissivitet har utförts med Theis brunnfunktion för de observationspunkter som uppvisar radiellt flöde och ger då en transmissivitet på omkring $4 \cdot 10^{-5}$ - $3 \cdot 10^{-4}$ m²/s i området. I utvärderingen har det totala flödet från de båda pumpbrunnarna, innan flödeshöjning i KA4001B, använts då det inte tydligt går att avgöra om påverkan kan härledas till endast en av pumpbrunnarna. Magasinskoefficienten är endast utvärderad för tre observationspunkter, och varierar mellan $2 \cdot 10^{-3}$ och $4 \cdot 10^{-1}$.

Påverkansområdet vid provpumpningen i Skår sträcker sig ca 600 m åt norr från den norra pumpbrunnen och ca 380 m åt sydöst från den södra pumpbrunnen, se Figur 24. Grundvattenmagasinet i jord är avgränsat i öster och väster av berg, se Figur 23. I observationspunkterna strax norr om pumpbrunnarna sker inte någon tydlig återhämtning efter avslutad pumpning. Detta tyder på att magasinet är litet och har tömts under pumpningen.

Sjunkade grundvattennivåer som inte kan härledas till provpumpningen uppmättes i observationspunkter söder om bedömt påverkansområde.



Figur 23 Tolkad bergöveryta samt interpolerad grundvattenyta innan provpumpningen i Skår inleds (2014-05-13).



Figur 24 Tolkad avsänkning och influensområde från provpumpningen i Skår.

14.4 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde KA

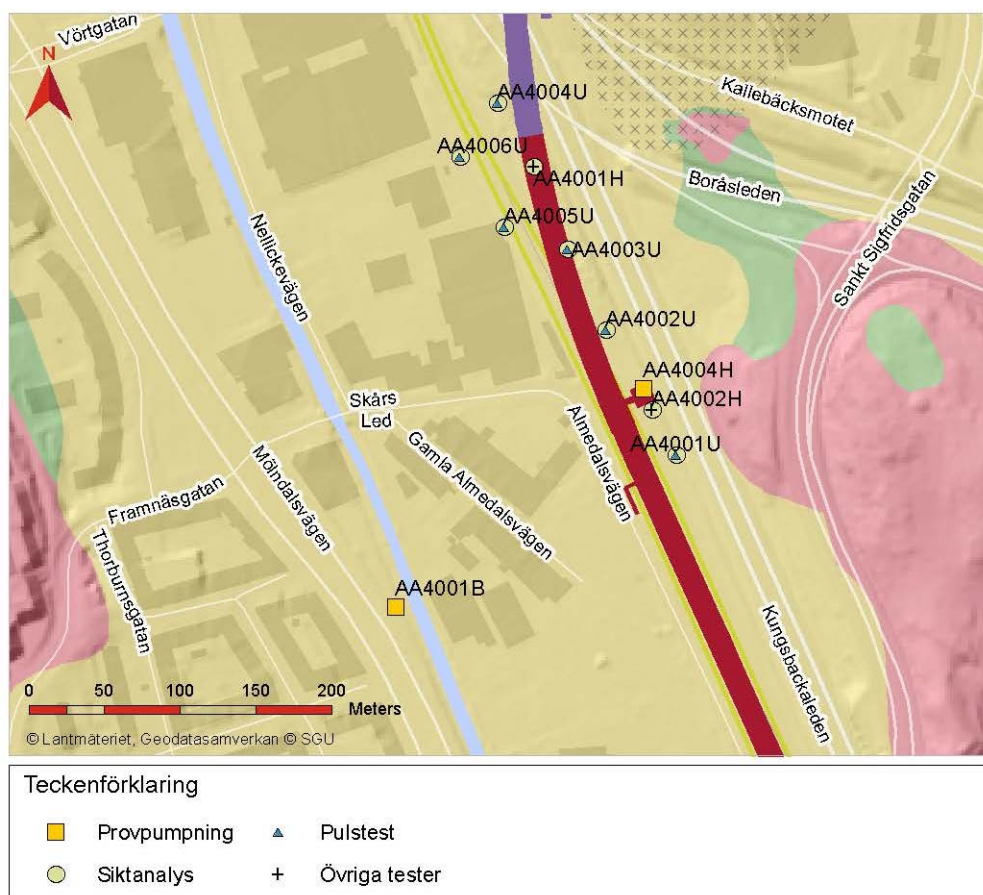
Delområdet omfattas av flera olika nordsydligt orienterade grundvattenmagasin i jord, åtskilda av bergpartier och på olika topografisk nivå. Det största och mest vattenförande magasinet är beläget längs Mölndalsån.

Hela området längs Mölndalsåns dalgång är topografiskt flackt och med stora jorddjup. Norr om Västlänkens sträckning mellan Liseberget och berget öster om E6 blir dalgången bredare och därmed mindre markant. Jorddjupen är som störst centralt i dalgången och tunnare ut mot kanterna. Friktionsjorden som utgör ett undre grundvattenmagasin är normalt sandig och lokalt även grusig. Konduktiviteten har bedömts till 10^{-5} till 10^{-4} m/s med ytterligare något högre värden centralt i dalgången. Utvärderade resultat från provpumpningar visar på relativt samstämmiga resultat.

Öster om dalgången tar ett topografiskt högre område vid i Örgryte och Skår. En sänka sträcker sig längs Delsjöbäcken i öst-västlig riktning. Jorddjupen är betydligt tunnare jämfört med Mölndalsåns dalgång. Provpumpningen utförd i Skår visade en transmissivitet i undre friktionsjordlagret på ca $4 \cdot 10^{-5}$ – $3 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

15 Delområde AA – Almedal

Inom delområde AA, se Figur 25, har inventeringen inte visat på några tidigare utredningar. För projekt Västlänken har egenskapsborrningar med siktanalyser, hydrauliska tester i form av pulstester, kapacitetstester och en provpumpning utförts.



Figur 25. Läge för inventerade och utförda undersökningar inom delområde AA.

15.1 Borrningar och siktanalys

Sex stycken borrningar med 2" stålrör, AA4001U-AA4006U med en meter filter i form av hål med 8 mm perforering har utförts vid och i närheten av det planerade bergtunnelpåslaget. Alla borrpunkterna utfördes i det undre grundvattenmagasinet. Dessutom utfördes två hammarborrhål genom jordlagren och ner i berget, i vilka jordprover togs.

Totalt uttogs från det undre grundvattenmagasinet 17 stycken jordprover. Representativa jordprover genomgick siktanalys eller hydrometeranalys för översiktlig bestämning av materialets hydrauliska konduktivitet. Tabell 28 redovisar resultaten från borrningarna.

Tabell 28. Resultat av siktanalyser från borrhningar. d_{10} , d_{30} , d_{60} , olikformighetsstalet (graderingstalet) $U=d_{60}/d_{10}$ och krökningstalet $C_c=d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$. Redovisad jordart är bedömd vid borring. Osäkra värden redovisas med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	U (-)	C_c (-)
AA4001U	8,2 - 9,9	Sa	0,063	0,18	0,41	6,51	1,25
AA4002U	12,5 - 13,3	si Sa	0,025	0,23	0,40	16	5,3
AA4003U	9,0 - 10,0	Sa	0,063	0,1	0,18	2,86	0,88
AA4003U	9,5 - 10,5	Sa	0,063	0,1	0,19	3,02	0,84
AA4004U	4,0 - 5,0	si Sa	0,040	0,125	0,39	9,8	1,0
AA4004U	5,0 - 5,9	Sa	0,064	0,25	0,69	10,78	1,42
AA4005U	11,0 - 12,0	Sa	0,068	0,18	0,31	4,56	1,54
AA4005U	12,0 - 12,6	Sa	0,063	0,21	0,35	5,56	2,00
AA4006U	10,0 - 11,0	si Sa	0,040	0,1	0,21	5,3	1,2
AA4006U	11,0 - 12,0	Sa	0,082	0,17	0,33	4,02	1,07
AA4006U	12,0 - 13,0	Sa	0,063	0,17	0,32	5,08	1,43
AA4006U	13,0 - 14,0	Sa	0,13	0,29	0,69	5,31	0,94
AA4006U	14,0 - 14,4	si Sa	0,040	0,13	0,42	11	1,0
AA4001H	4,4 - 5,4	gr Sa	0,050	0,3	2,00	40	0,9
AA4002H	11,5 - 12,0	gr Sa	0,2	0,63	2,20	11,00	0,90
AA4002H	12,0 - 12,5	gr Sa	0,092	0,34	0,80	8,70	1,57
AA4002H	12,5 - 13,0	gr Sa	0,15	0,39	1,80	12	0,56

Tabell 29. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet (K) från siktanalyser. K_{G50} , K_{G80} , och K_{G90} enligt Gustafson (K_{G50} =median, K_{G80} =80%-percentil och K_{G90} =90%-percentil). K_{valt} avser valt värde för vidare jämförelsen med K utvärderat från hydrauliska tester (K_{ht}). Redovisad jordart är bedömd vid borring. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Djup (m.u.my.)	Jordart	K_{valt} (m/s)	K_{Hazen} (m/s)	K_{G50} (m/s)	K_{G80} (m/s)	K_{G90} (m/s)
AA4001U	8,2 - 9,9	Sa	4,8E-05	4,59E-05	4,82E-05	2,36E-05	1,54E-05
AA4002U	12,5 - 13,3	si Sa	4,5E-06	7,2E-06	4,5E-06	2,2E-06	1,4E-06
AA4003U	9,0 - 10,0	Sa	6,5E-05	4,59E-05	6,53E-05	3,20E-05	2,09E-05
AA4003U	9,5 - 10,5	Sa	6,5E-05	4,59E-05	6,47E-05	3,17E-05	2,07E-05
AA4004U	4,0 - 5,0	si Sa	1,6E-05	1,9E-05	1,6E-05	7,6E-06	5,0E-06
AA4004U	5,0 - 5,9	Sa	3,7E-05	4,74E-05	3,74E-05	1,83E-05	1,20E-05
AA4005U	11,0 - 12,0	Sa	6,6E-05	5,35E-05	6,62E-05	3,24E-05	2,12E-05
AA4005U	12,0 - 12,6	Sa	5,2E-05	4,59E-05	5,21E-05	2,55E-05	1,67E-05
AA4006U	10,0 - 11,0	si Sa	2,2E-05	1,9E-05	2,2E-05	1,1E-05	6,9E-06
AA4006U	11,0 - 12,0	Sa	1,0E-04	7,78E-05	1,01E-04	4,95E-05	3,23E-05
AA4006U	12,0 - 13,0	Sa	5,4E-05	4,59E-05	5,43E-05	2,66E-05	1,74E-05
AA4006U	13,0 - 14,0	Sa	2,3E-04	1,96E-04	2,27E-04	1,11E-04	7,25E-05
AA4006U	14,0 - 14,4	si Sa	1,5E-05	1,9E-05	1,5E-05	7,3E-06	4,7E-06
AA4001H	4,4 - 5,4	gr Sa	1,0E-05	2,9E-05	1,0E-05	4,9E-06	3,2E-06
AA4002H	11,5 - 12,0	gr Sa	3,6E-04	4,63E-04	3,61E-04	1,77E-04	1,15E-04
AA4002H	12,0 - 12,5	gr Sa	8,8E-05	9,79E-05	8,77E-05	4,29E-05	2,80E-05
AA4002H	12,5 - 13,0	gr Sa	1,9E-04	2,60E-04	1,92E-04	9,43E-05	6,16E-05

Jordartsprofilen vid planerat bergtunnelpåslag kan generellt beskrivas av (uppfifrån och ner): fyllning-lera-sand-berg. Eventuellt förekommer även morän närmast bergytan. Totalt uppskattas jorddjupet vid borrhningarna variera mellan ca 5-15 meter. Jorddjupet ökar påtagligt i riktning mot Mölndalsån.

Mäktigheten på fyllnadslagret som överlagrar leran varierar generellt sett mellan 1-2,5 meter i området. Något övre grundvattenmagasin har inte kunnat påvisas i samband med borrhågarna, men förekommer troligen.

Mäktigheten på friktionslagret under leran/silten är generellt ca 1,5- 4 m med ökande mäktighet mot Mölndalsåns dalgång.

Det upptagna materialet bedöms vara vattenförande och har preliminärt jordartsklassificerats som huvudsakligen sand. Vattenföringen varierar mycket från borrhål till borrhål vid borrhåg. Vattenföringen vid borrhåg uppfattades vara störst vid AA4005U och AA4003U, och relativt låg vid AA4002U och AA4001U i söder.

Resultatet från siktanalyser indikerar att den hydrauliska konduktiviteten på friktionsjorden i det undre magasinet, i höjd med planerat påslag, ligger i storleksordningen 10^{-5} och 10^{-3} m/s. Medianvärdet från provtagningen i 2"-rören är ca $4 \cdot 10^{-5}$ m/s och från hammarborrhålens prover ca $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

15.2 Hydrauliska tester

15.2.1 Pulstester

I AA4001U - AA4006U utfördes hydrauliska tester av typen pulstest. Utvärderingen sammanfattas i Tabell 30.

Tabell 30. Resultat av hydrauliska tester. K_{ht} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från hydrauliska tester, S_s : specifik magasinsskoefficient, H_m : representativ magasinmäktighet och K_{sa} : Hydraulisk konduktivitet utvärderad från siktanalyser för aktuellt filterintervall. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	Borrhåls -typ	Nivå markyta (m)	Nivå filter ök (m)	Nivå filter uk (m)	K_{ht} (m/s)	S_s (-)	H_m (m)	K_{sa} (m/s)	K_{ht}/K_{sa}
AA4001U	2"-rör	4,52	-4,18	-5,18	3,7E-06	4,9E-04	1,5	4,8E-05	0,08
AA4002U	2"-rör	4,42	-6,93	-7,93	1,2E-09	1,0E-05	1,5	4,9E-05	-
AA4003U	2"-rör	4,68	-5,12	-6,12	1,2E-05	1,1E-03	1,5	6,5E-05	0,19
AA4004U	2"-rör	5,67	0,77	-0,23	5,8E-06	3,0E-02	1,9	3,7E-05	0,16
AA4005U	2"-rör	3,16	-8,44	-9,44	2,3E-05	1,8E-04	1,6	5,2E-05	0,44
AA4006U	2"-rör	3,36	-8,99	-9,99	2,8E-07	5,6E-05	4,4	4,8E-05	0,01

Generellt sett bedöms utvärderade K_{ht} vara representativa för den del av det undre magasinet där filtret (den 1 m perforerade rörspetsen) sitter, dock med några undantag där finmaterial bedöms ha flutit in i rören och täckt filterdelarna.

Tolkade specifika magasinsskoefficienter (S_s) från pulstester är i allmänhet mycket osäkra.

15.2.2 Kapacitetstester

I hammarborrhål AA4001H – AA4004H genomfördes återhämtningsmätningar i samband med borrhåg. Resultaten redovisas i tabell 31. Resultaten representerar det sammanlagda grundvattenmagasinet friktionsjord och ytberg.

Tabell 31. Resultat av återhämtningsmätning från kapacitetstest i hammarborrhål. Osäkra värden markeras med röd text.

Punkt	H_m (m)	Q/s (m ² /s)	T (m ² /s)	K (m/s)	S (-)
AA4001H	10,1	4,5E-08	1,7E-08	1,7E-09	-
AA4002H	23,3	2,0E-05	4,8E-05	2,1E-06	1,0E-04
AA4003H	13,7	5,3E-05	8,5E-06	6,2E-07	-
AA4004H	10,8	9,3E-05	5,0E-05	4,6E-06	2,0E-04

15.2.3 Provpumpning

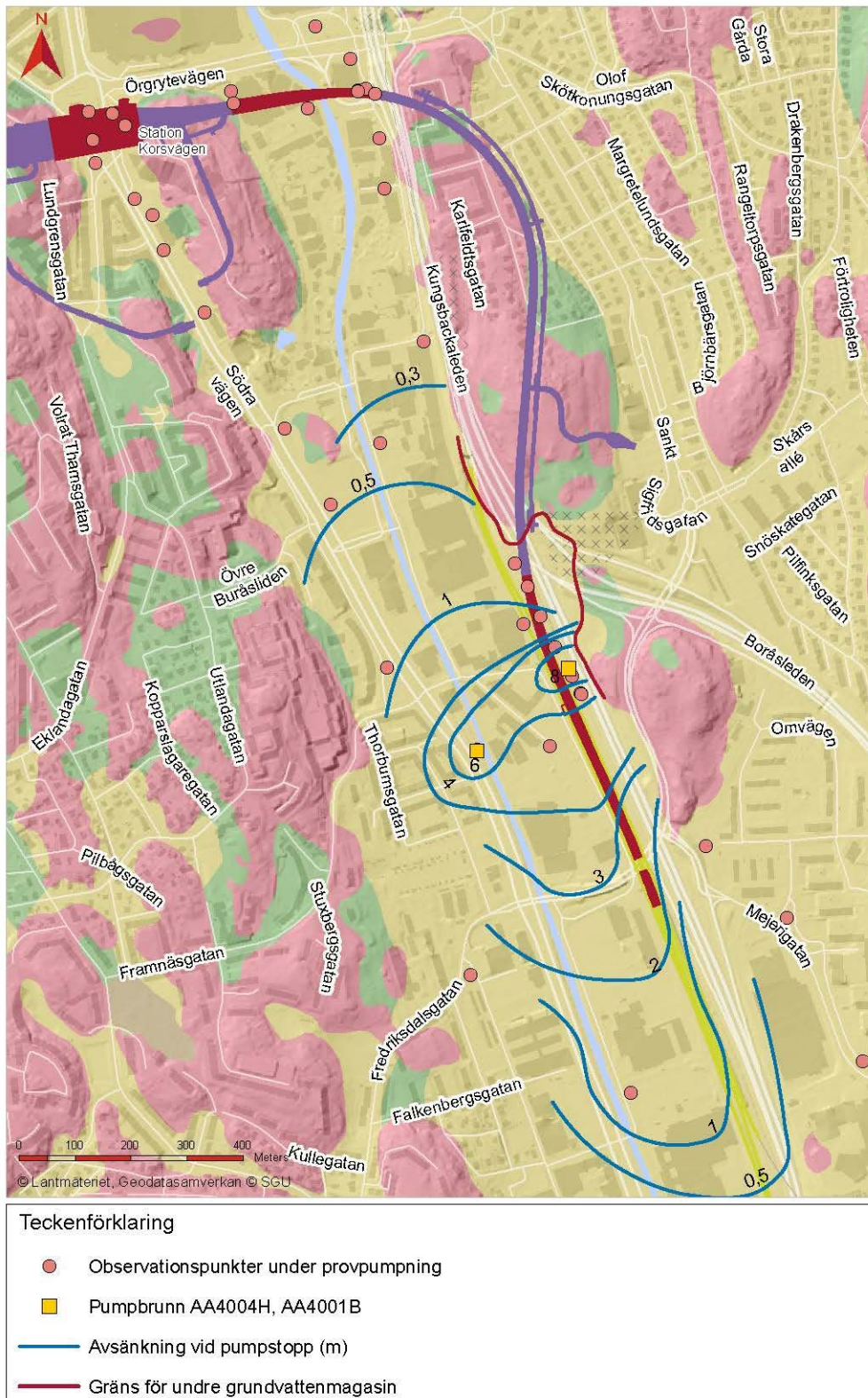
En provpumpning utfördes i Almedal i hammarborrhål AA4004H och sandfilterbrunn AA4001B under två veckor i maj/ juni 2014. När provpumpningen i Almedal inleddes pågick pumpningen i Skår (avsnitt 14.3.3.4) ytterligare en dag. Pumpning påbörjades samtidigt i de båda brunnarna men avslutades först i AA4001B och efter ytterligare en vecka i AA4004H. Medelflödet i AA4001B beräknas till omkring 50 L/min. Flödet i AA4004H var under hela provpumpningen relativt konstant omkring 40 L/min. Det totala flödet i de två pumpbrunnarna var därmed ca 90 L/min fram tills dess att flödet i AA4001B stängdes av.

Grundvattennivåer observerades i 44 punkter inklusive pumpbrunnarna. I 11 av observationspunkterna kan det konstateras att ingen påverkan av grundvattennivå har skett till följd av provpumpningen i Almedal. Majoriteten av dessa punkter är belägna norr om pumpområdet, se Figur 26.

Utvärdering av avsänkning över tid visar radiella flödesregimer i pumpbrunnarna AA4001B och AA4004H. På lite större avstånd från pumpområdet påverkas observationspunkterna främst av pumpningen i AA4001B, vilket tydligast visas under återhämtningen, när pumpningen i AA4001B avslutats. Utvärdering av flödesregimer visar att de flesta påverkade observationspunkter har radiella flödesförhållanden, utom möjligtvis AA4104U som kan ha endimensionellt flöde, vilket motsvarar strömning i en kanal.

Utvärdering av hydraulisk transmissivitet har utförts med Theis brunnfunktion för de observationspunkter som uppvisar radiellt flöde och ger då en transmissivitet mellan $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ och $8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. I utvärderingen har flödet i pumpbrunn AA4001B använts för huvuddelen av observationspunkterna (dvs. 50 L/min), då återhämtningen i dessa påbörjas när flödet i AA4001B stängs av. För de observationspunkter som har en fortsatt avsänkning, och därmed har en tydlig påverkan från främst AA4004H, har flödet från AA4004H använts (dvs. 40 L/min). Flödet har en linjär påverkan på utvärderat värde för hydraulisk transmissivitet.

Påverkansområdets utbredning är ca 600 m åt norr och uppskattas till ca 400 m åt söder, enligt Figur 26. Utbredningen söderut är relativt osäker, då tillförlitliga observationer delvis saknas. Grundvattenmagasinet i jord norr om pumpbrunnarna är avgränsat i öster och väster av berg. Den hydrauliska transmissiviteten beräknas till omkring $6 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (25-percentil och 75-percentil).



Figur 26 Tolkad avsänkning och influensområde från provpumpningen i Almedal.

15.3 Sammanfattande hydrogeologiska förhållanden i delområde AA

Delområdet omfattar en del av Mölndalsåns dalgång mellan högre belägna områden i öster och väster. De undre grundvattenmagasinen utgör mer eller mindre enhetliga friktionsjordlager, men med vissa lokala variationer i vattenförande förmåga. I de centrala delarna kring Mölndalsån är jorddjupen stora. Området karakteriseras av ett övre lager friktionsjord/fyllning över lera och underst friktionsjord på bergytan.

Provtagning och hydrauliska tester i enskilda undersökningspunkter inom undre magasin indikerar lokala hydrauliska konduktiviteter i intervallet $4 \cdot 10^{-5}$ - $4 \cdot 10^{-4}$ m/s. Utförd provpumpning har visat på relativt långtgående påverkan i nord-sydlig riktning. Transmissiviteten har från denna utvärderats till intervallet $6 \cdot 10^{-5}$ till $4 \cdot 10^{-4}$ m²/s för det undre friktionsjordlagret.

16 Referenser

Adriellsson P. och Fredén K. (1987): *Beskrivning till jordartskartan 7A Marstrand SO/7B Göteborg SV*. Uppsala: SGU. SGU serie Ae: 72.

Andersson, A.-C., Andersson, O. och Gustafson, G. (1984). *BRUNNAR Undersökning - Dimensionering - Borrning – Drift*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.

Banverket (2005). *Järnvägsutredning Västlänken, PM Provpumpning Liseberg*.

Bergab (1999a). *Kringen tunnel Chalmers-Södra Vägen. PM Geohydrologi*. 400:937

Bergab (1999b). *E6/E20 Kallebäcksmotet, Geohydrologisk utredning, Statusrapport 99-04-09*. 700:169

Bergab och Aqualog (2004). *Götatunneln Entreprenad J2 GEOMODELL*. 300:60

Cooper, H.H. and C.E. Jacob (1946). *A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history*. (Am. Geophys. Union Trans., vol. 27, pp. 526-534).

Cooper, H.H., J.D. Bredehoeft och S.S. Papadopoulos (1967). *Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water*. Water Resources Research, vol. 3, no. 1, pp. 263-269.

Engdahl, M. och Påsse, T. (2014) *Geologisk beskrivning av Säveåns dalgång*. Uppsala: SGU

Sweco VBB Viak (2001). *Infiltration- och provpumpningsförsök vid Kämpebron september 2001*. 1300020698

Underlagsrapporter inom ramen för ansökan om tillstånd till vattenverksamhet för Västlänken och Olskroken planskildhet:

PM Beskrivning MPU hydromodell

PM Geoteknik stabilitet