

Projektnamn

Västlänken och Olskroken planskildhet

Dokumenttyp

PM

Ärendenummer

TRV 2016/3151

Skapad av

Johanna Lithén; Maria Wadsten

Filnamn

MPU02-50GT-025-00-0004

Godkänt av

Karl Persson

Godkänt datum

2016-02-10

Version

—

Prefix, Produktsammanställning/entreprenad

MPU 02

Dokumenttitel**PM Hydrogeologi berg**Underlagsdokument till PM Hydrogeologi,
ansökan om tillstånd till vattenverksamhet

Ändringslogg

Version	Datum	Ändring	Godkänt av

Innehåll

1	Inledning	5
2	Syfte	5
3	Hydrogeologiska kartor	5
4	Områdesbeskrivning	5
4.1	Allmänt	5
4.2	Berggrund och tektonik	7
4.2.1	Göteborgsområdet	7
4.2.2	Inom influensområdet	8
4.3	Befintliga tunnlar och berganläggningar	10
5	Hydrogeologiska undersökningar	13
5.1	Hammarborringar inom projekt Västlänken	15
5.2	Kärnborringar inom projekt Västlänken	18
5.3	Utförda hydrauliska tester i hammarborrhål	20
5.3.1	Provpumpning Almedalsberget	21
5.3.2	Provpumpning Landala	21
5.3.3	Provpumpning Örgryte	21
5.3.4	Kapacitetstest vid servicetunnel Korsvägen	21
5.3.5	Kapacitetstest vid servicetunnel Haga	21
5.3.6	Korttidspumpningar efter hydraulisk simulering	21
5.3.7	Vattenförlustmätningar	22
5.4	Tidigare hydrogeologiska utredningar	22
6	Övrigt hydrogeologiskt underlag	25
6.1	Brunnsinventering	25
7	Hydrogeologiska analyser	27
7.1	Grundvattennivåer	27
7.2	Analys brunninventering	28
7.3	Analys av hammarborrhål	33
7.4	Analys av kärnborrhål	34
7.4.1	Allmänt	34
7.4.2	Hydrauliska domäner	35
7.4.3	Analys av mätningar i helhållsskala	35
7.5	Analys inläckage i befintliga berganläggningar	36
8	Sammanfattning av utförda dataanalyser	38
8.1	Bergmassans vattenförande förmåga	38
8.2	Vattenförande förmåga inom svaghetszoner	40
9	Områdesvisa beskrivningar	41
9.1	Gullberget	42
9.2	Kvarnberget	43
9.3	Residenset till Rosenlund	45
9.4	Haga till Korsvägen	47

9.5	Haga syd till Annedal	50
9.6	Liseberget	53
9.7	Almedalsberget.....	55
10	Referenser	58

1 Inledning

Information om berggrundens vattenförande förmåga används i olika beräkningar och modeller i arbetet med tillståndsprövningen av Västlänken. Beräkningar som utförs avser bland annat bedömningar av inläckage till bergtunnlar samt hydraulisk påverkan från bortledning av inläckande grundvatten.

En stor mängd data har insamlats med olika metoder i syfte att studera berggrundens vattenförande egenskaper. Dessa data utgör grunden för en övergripande karakterisering av bergets hydrauliska egenskaper inom Västlänkens influensområde med huvudsaklig fokus på de områden där bergtunnlarna ska byggas.

Informationen kommer framförallt från de undersökningar och inventeringar som utförts inom ramen för AKF-uppdragen (Anläggningskrav och förutsättningar) för Västlänken under perioden 2012-2015, som tog fram förutsättningar för projekteringen. Kompletteringar har utförts inom miljöprövningsuppdraget för Västlänken (MPU) under 2015. En betydande mängd information om bergförhållanden, framförallt förekomst av svaghetszoner, inom Västlänkens influensområde kommer dock från projektering och byggande av äldre tunnlar och berganläggningar.

Som en del i arbetet med detaljprojektering av Västlänkens bergtunnlar utfördes under hösten 2015 ett 10-tal kärnborrhål med tillhörande vattenförlustmätningar. Förutom preliminära uppgifter från borrhålen om förekomst av svaghetszoner ingår ingen information från dessa borrhål. Resultaten kommer eventuellt att inarbetas som en senare komplettering.

2 Syfte

Syftet med denna PM är att redovisa en sammanställning och tolkning av känd information om de hydrogeologiska förhållandena i berg inom Västlänkens influensområde. Denna PM utgör en underlagsrapport till PM Hydrogeologi för tillståndsansökan till Mark- och miljödomstolen.

3 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 detta PM. Symboler som är specifika för enskilda figurer redovisas i respektive figurs teckenförklaring.

Teckenförklaring PM Hydrogeologi Berg			
	Influensområde grundvatten		Inventerad fyllning
	Västlänken och Olskroken planskildhet		Fyllning
Västlänken och Olskroken planskildhet - konstruktionsdelar			
	Bergtunnel		Torv
	Betongtunnel		Kohesionsjord
	Ytspår		Friktionsjord
			Urberg
			Vatten

Figur 1. Gemensam teckenförklaring för kartor i föreliggande PM.

4 Områdesbeskrivning

4.1 Allmänt

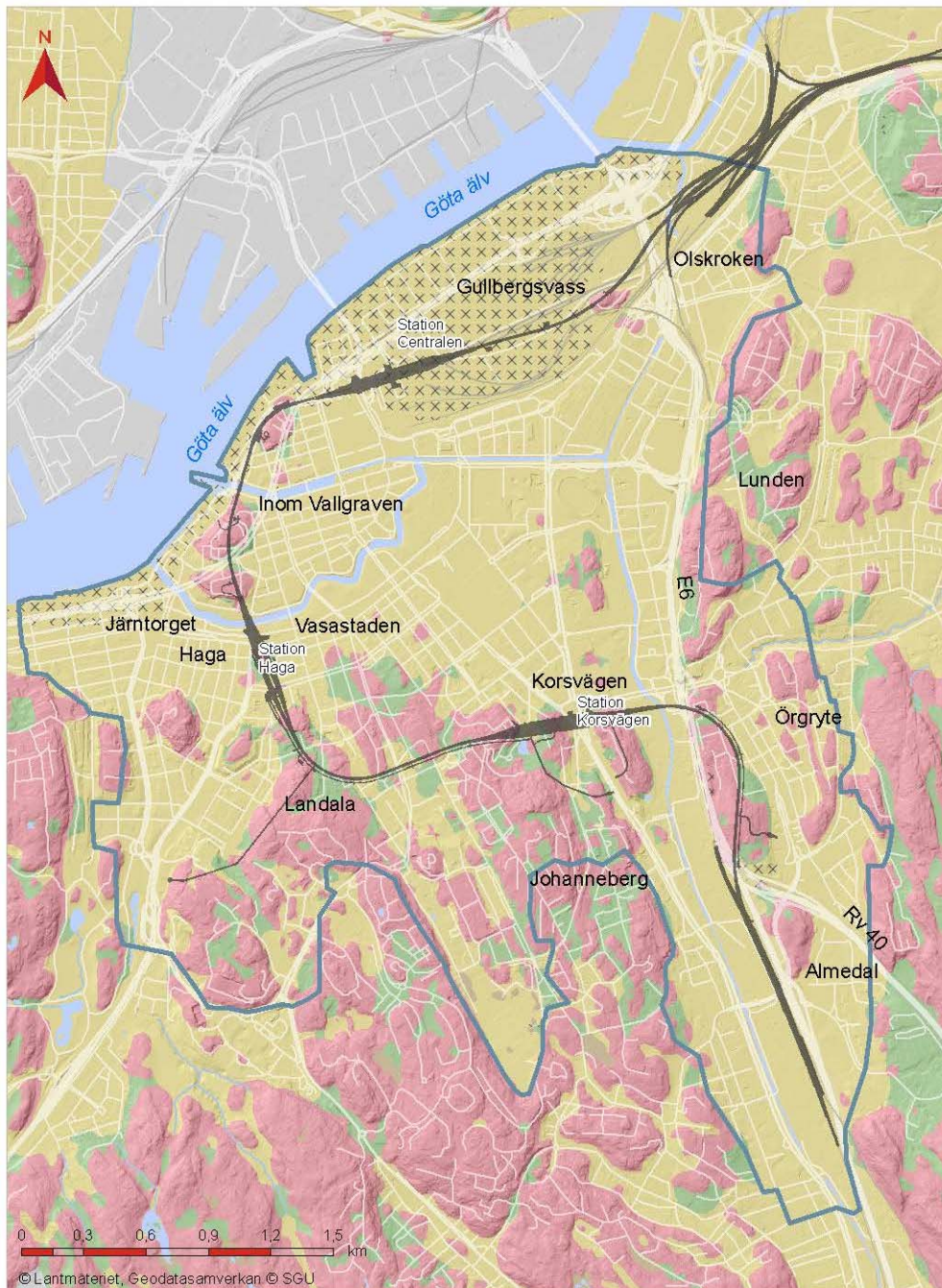
Göteborgs topografi varierar relativt kraftigt med generellt låglänta områden längs Göta älv och andra vattendrag, och mer kuperade bergsområden söder om centrala staden och öster om Mölndalsåns dalgång. Bergsryggarna i söder omges av mellanliggande dalgångar i nordnordväst-sydsydöstlig riktning.

Nivåskillnaderna mellan de låglänta områdena kring Göta älv och de högre bergsområdena i söder är ungefär 40 m.

Berggrunden som Göteborg vilar på består till största del av gnejs. I höjdområdena i söder går berget i dagen medan berget är täckt 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.

Fyllningen har normalt en mäktighet av cirka 1 till 3 m, men lokalt kring Station Centralen, vid Lilla Bommen, Packhuskajen och Rosenlundskanalen uppgår den till cirka 5 till 7 meter. Lerans 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. Kring Korsvägen och i området kring Mölndalsåns dalgång söder om Örgrytevägen är lerdjupen mellan 20 och 40 meter. Friktingsjorden består vanligen av sand och grus och dess mäktighet är i allmänhet ett par meter.

Figur 2 visar jordartskartan för centrala Göteborg söder om Göta älv. I kartan visas också det framtagna influensområde för grundvatten som gäller under anläggningsskedet av Västlänken.



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

4.2 Berggrund och tektonik

4.2.1 Göteborgsområdet

Berggrunden i Göteborgsområdet utgör en del av den sydvästsvenska gnejsregionen. De äldsta bergarterna utgörs av gnejser av sedimentärt ursprung (metagråvackor). Gnejserna, som förekommer som ett nord-sydligt stråk inom Göteborgsområdets västra del, är utbildade som ådergnejser eller som starkt migmatiserade gnejser. I den östra delen av Göteborgsområdet dominerar granitiska till tonalitiska ådergnejser av magmatiskt ursprung med inlagringar av metabasiter och amfiboliter. I den mellersta delen av Göteborgsområdet förekommer två nord-sydliga stråk av ögongraniter. Pegmatitgångar förekommer inom hela området men är något vanligare inom den västra delen. De yngsta pegmatitgångarna, som stryker i västnordvästlig riktning, klipper rakt igenom förekommande äldre bergarter.

Ett antal brantstående diabasgångar med västnordväst-ostsydostlig riktning, förekommer i områdets västra och mellersta del. Gångarna skär med skarpa kontakter genom de äldre bergarterna.

I brantstående sprickor med västnordväst-ostsydostlig strykning förekommer decimeterbred sprickfyllnad med kvarts. Även kalcitfyllda och lerförande sprickor (hydrotermalomvandling) är vanliga i denna riktning. Sprickor i västnordväst-ostsydost, som ej har sprickfyllnad, är vanligen mer öppna och vattenförande än övriga sprickor, baserat på information från utförda vattenbrunnar och observationer i befintliga tunnlar.

Tektoniken inom området domineras av uthålliga överskjutningszoner med strykning inom ett intervall runt nord-syd. Zonerna stupar ofta medelbrant mot väster. Brantstående skjuvzoner av varierande storlek förekommer med strykningar inom intervall kring nordväst-sydost respektive nordost-sydväst.

Den rupturrella överskjutningstektonik som är karakteristisk för Göteborgsområdet har vid sin tillkomst haft en största huvudspänningsriktning ungefär vinkelrätt mot överskjutningszonernas strykning och en mindre huvudspänningsriktning parallell med zonerna. Den minsta huvudspänningen har varit vertikal. Vid beskrivna förutsättningar kan brantstående skjuvzoner förväntas uppkomma med riktningar i spetsig vinkel till deformationsriktningen. Vidare kan öppna sprickor parallella med deformationsriktningen förväntas.

De spänningsförhållanden som rådde vid utbildningen av beskriven tektonik har fram till våra dagar genomgått ett antal förändringar vad avser såväl magnituder som huvudspänningsriktningar. Geologisk information indikerar bland annat att den största huvudspänningen under en period haft en nära nord-sydlig riktning. I första hand har de existerande svaghetszonerna påverkats men även nya zoner har utbildats.

Det kan konstateras att idag förekommande öppna sprickor, liksom diabas- och pegmatitgångar med skarpa kontakter mot omgivande äldre bergarter, förekommer med strykning västnordväst-ostsydost. Denna riktning ligger väl inom intervallet för redovisade riktningar för den största huvudspänningen i västra Fennoskandia (Heidbach et al, 2008). Utförda bergspänningsmätningar vid Röda Sten (Dahlström & He, 1992) ger en likartad bild som den spänningsbild som härletts från geologiska och tektoniska förhållanden inom Göteborgsområdet.

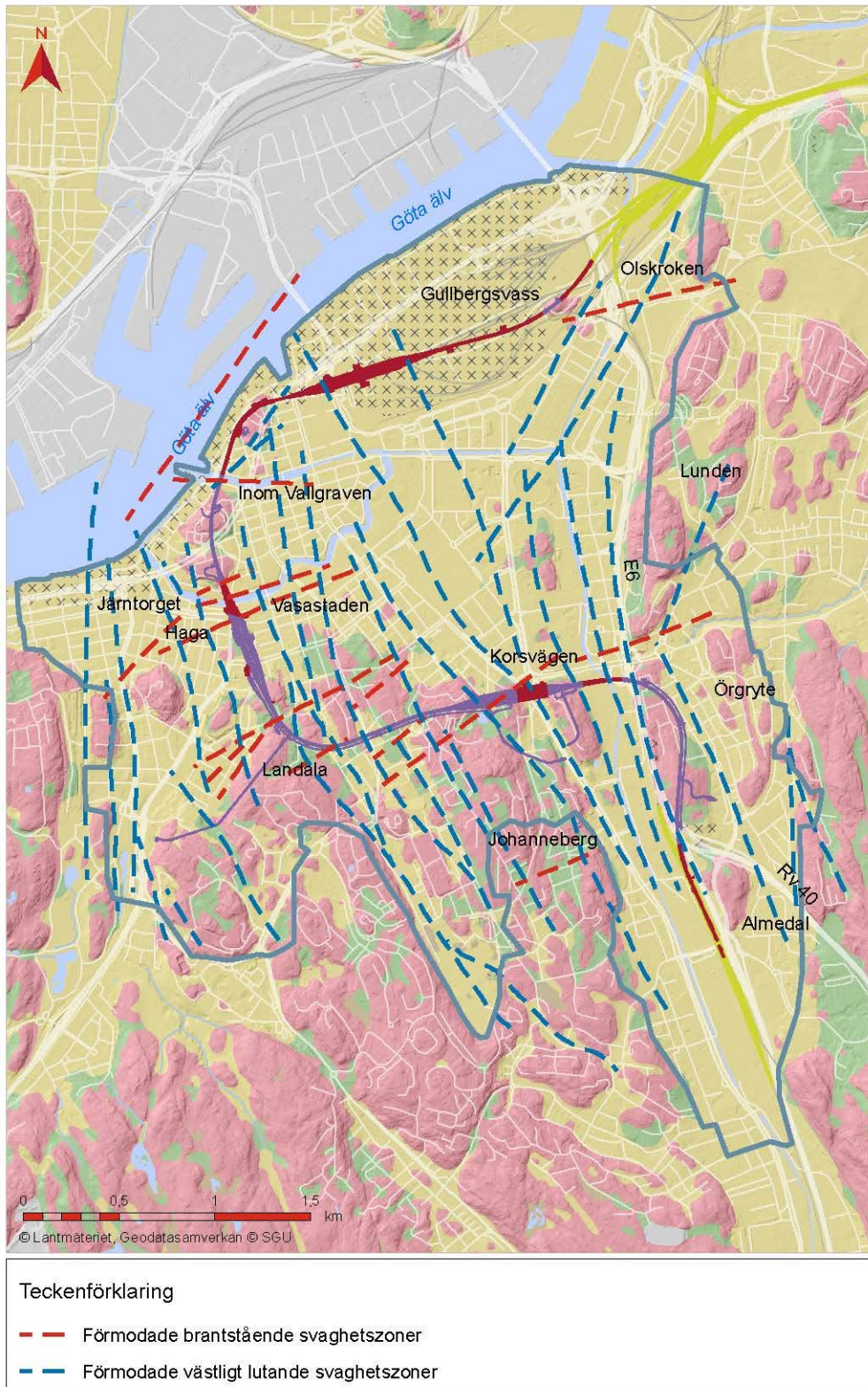
4.2.2 Inom influensområdet

Berggrunden inom influensområdet består av granitiska till tonalitiska gnejser. Dessa gnejser utgör västra delen av ett större nord-sydligt stråk med gnejser, som sträcker sig från västra Värmland, ner längs Göta älv och genom centrala Göteborg. De är av magmatiskt ursprung men har därefter deformerats och omvandlats under senare bergskedjebildningar. Gnejserna har generellt kraftig foliation, men svagt folierade eller massformiga partier förekommer också. De är rödgrå till grå i färgen och är ibland ådrade och tektoniskt bandade. Det förekommer även smala, upp till decimeterbredda stråk som är mylonitiserade. gångar, linser eller skivor av metabasit. Pegmatitgångar förekommer allmänt i området. Gnejsernas förskiffring (foliation) stryker generellt i nordväst-sydöstlig till nordöst-sydvästlig riktning och stupar medelbrant mot väster.

Inom ramen för Västlänken har en detaljerad tolkning av områdets dominerande svaghetszoner genomförts. Tolkningen utgår från en konceptuell berggrundsgeologisk modell och baseras på SGUs tektoniska karta, inventerat arkivmaterial samt på inom Västlänken utförda undersökningar. Insamlad information från befintliga berganläggningar omfattar karteringar under bygg- och driftskede, identifierade delsträckor med större inläckage samt delsträckor där mer omfattande berginjektering och/eller förstärkning utförts. Ingen bedömning av svaghetszonernas bredd eller bergkvalitet inom zonerna har gjorts eftersom syftet i denna PM enbart är att beskrivningen ska utgöra underlag för hydrogeologiska bedömningar. I Figur 3 redovisas en tolkning av förmodade större svaghetszoner inom influensområdet. Svaghetszonernas utritade lägen och riktningar på kartan ska tolkas som storskaliga och ungefärliga lägen vid bergöverytan.

Dominerande tektoniska strukturer inom området utgörs av uthålliga överskjutningszoner med riktningar runt nord-syd. Dessa zoner stupar ofta medelbrant mot väster. Utöver överskjutningszonerna förekommer

brantstående skjuvzoner av varierande storlek med riktningar huvudsakligen inom intervall mellan nordnordöst och öst. Svaghetszoner är i varierande grad verifierade genom borrhning och kartering.



Figur 3. Storskalig redovisning av förmodade svaghetszoner inom influensområdet för Västlänken.

Information om dominerande sprickriktningar och svaghetszoner inom olika delområden redovisas i kapitel 8. Denna har hämtats från den ingenjörsgelogiska prognosen tillhörande systemhandlingen för Västlänken (Trafikverket, 2013) samt från motsvarande PM för servicetunnlarna (Trafikverket 2014a-d).

I den ingenjörsgelogiska prognosen framtagen inom Västlänkens järnvägsplans-/systemhandlingsskede (Trafikverket, 2013 och Trafikverket 2014a-d) omfattar bergartsbeskrivningen sju olika bergarter; två typer av gnejs, metabasit, en bergart som utgörs av mingling mellan gnejs - typ 1 och metabasit, pegmatit, breccia samt mylonit. Breccia och mylonit förekommer enbart i undersökningsområdet för servicetunnel Haga (Trafikverket, 2014d). Västlänkens korridor för spårtunneln har delats in i bergartsdomäner, strukturgeologiska domäner och bergkvalitetsdomäner. Uppdelningen är baserad på bergundersökningar utförda i projekt Västlänken samt arkivmaterial från tidigare utförda undersökningar.

Det har inte bedömts relevant att följa dessa domänindelningar vid beskrivningen av hydrogeologiska förhållanden i berg.

4.3 Befintliga tunnlar och berganläggningar

Kring Västlänkens planerade sträckning finns ett antal befintliga undermarksanläggningar i berg till vilka grundvatten läcker in. Det inläckande grundvattnet leds bort vilket påverkar den rådande vattenbalansen i grundvattenmagasinen. För vissa av anläggningarna kompenseras detta genom infiltration av vatten.

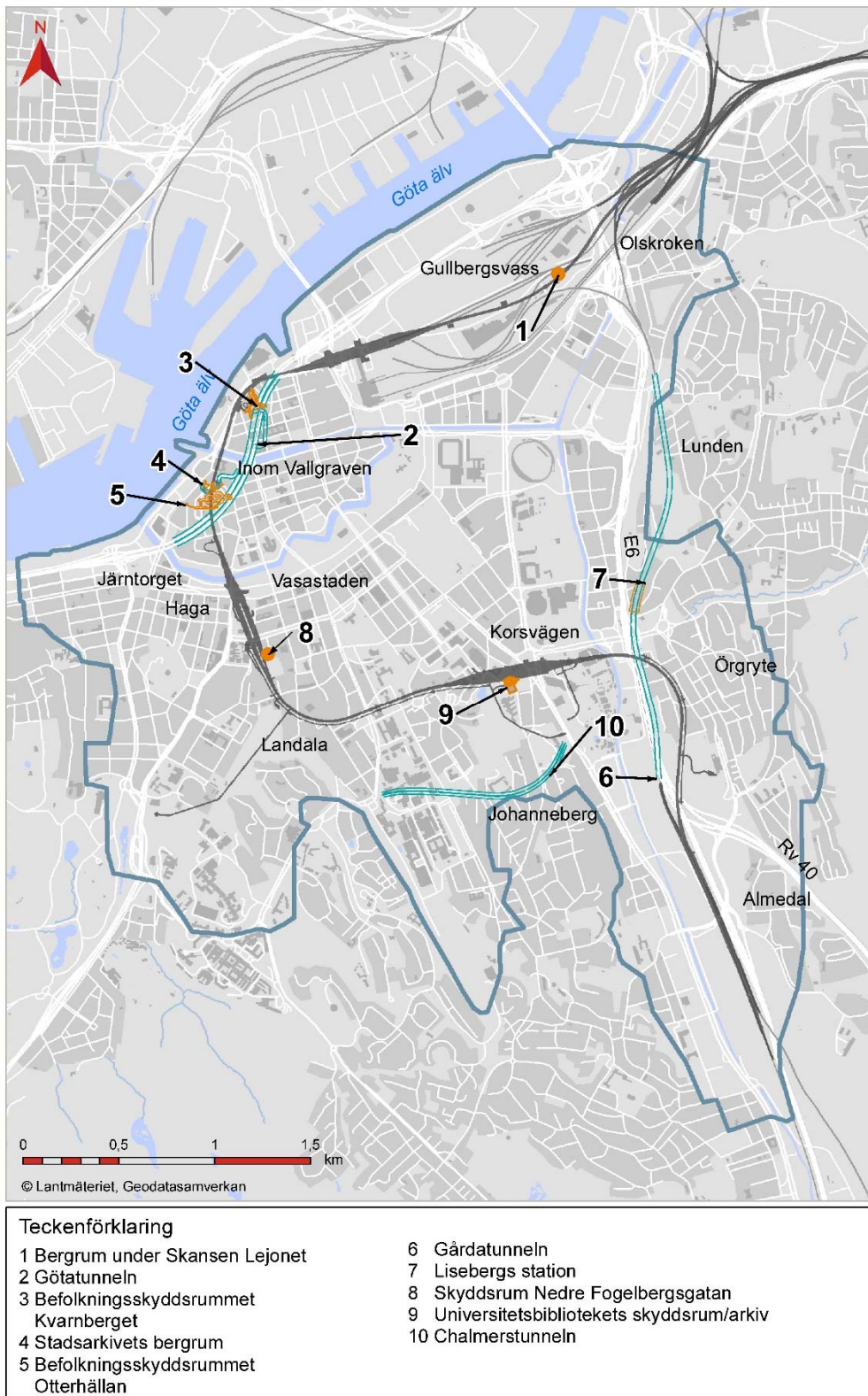
Information om pågående vattenbortledning från olika berganläggningar utgör ett väsentligt underlag för vattenbalansberäkningar. Vidare utgör information om befintliga potentiellt vattenförande geologiska svaghetszoner/strukturer i anläggningarna ett underlag för bedömning av det hydrogeologiska influensområdet och lokal grundvattenpåverkan inom enskilda delområden.

En sammanställning av all insamlad information om befintliga undermarksanläggningar med avseende på faktorer som påverkar bedömningar av berggrundens hydrogeologiska förhållanden finns i PM AKF 06 - 102 (Trafikverket, 2014e). I föreliggande PM har väsentlig information för den integrerade tolkningen återgivits, dock utan att beskriva annat underlag för informationen än vad som funnits nödvändigt för sammanhanget. För detaljerade uppgifter från inventeringen hänvisas till ovan nämnda inventerings-PM.

Tabell 1 redovisar de berganläggningar som har identifierats inom Västlänkens influensområde. Ett antal av dessa anläggningar är sekretess- eller hemligklassade varför deras användning och exakta lägen inte kan redovisas på kartor och i textbeskrivning. Benämningarna som används i denna PM är de som används generellt inom projekt Västlänken. I Figur 4 visas lägen i plan för de berganläggningar som inte omfattas av sekretess.

Tabell 1. Inventerade befintliga berganläggningar inom influensområdet.

Berganläggning	Delområde eller dylikt	Beskrivning	Användning
Bergrum under Skansen Lejonet	Gullberget	Bergrum	Tidigare ledningscentral för Banverket
Götatunneln	Bergtunnlar mellan Rosenlund och Lilla Bommen	Två cirka 1000 m långa tunnelrör i berg samt två arbetstunnlar benämnda B2 och B3, öppnad för trafik 2006	Vägtunnel E45
Befolkningsskyddsrummet Kvarnberget	Kvarnberget	Fyra separata bergrumsskepp med tvärtunnlar, byggt i slutet av 1950-talet	Skyddsrum
Stadsarkivets bergrum	NV delen av Otterhällan	Oklart byggnadsår, men ombyggt på 1970-talet	Arkiv
Befolkningsskyddsrummet Otterhällan	Otterhällan	Byggt i slutet av 1950-talet	Parkeringsgarage, biltvätt, skyddsrum, arkiv
Skyddsrum Nedre Fogelbergsgatan	Nedre Fogelbergsgatan 9, Vasastan	Två bergrum	Cykelrum, soprum (skyddsrum)
Universitetsbibliotekets skyddsrum/arkiv	Näckrosdammen, SV om Korsvägen		Skyddsrum/Arkiv
Chalmerstunneln, Kringen	Från Södra Vägen till Aschebergsgatan vid Chalmers entré	Två bergtunnelrör à 1080 m, öppnad för trafik 2002	Spårvägstunnel
Gårdatunneln	Cirka 400 m söder om Olskroksmotet till cirka 400 m norr om Kallebäcksmotet	2200 m lång dubbelspårstunnel, byggt i slutet av 1960-talet	Järnvägstunnel
Gårdatunneln, Lisebergs station	Strax N om Örgrytemotet	Utbyggd del av Gårdatunneln i början av 1990-talet	Pendeltågstation
Anläggning 206	Västra delen av influensområdet	Flera bergrum, total längd cirka 60 m	Sekretess
Anläggning 509	SV delen av influensområdet	Bergrum cirka 120 x 40 m (max)	Sekretess
Anläggning 105	Södra delen av influensområdet	Bergtunnel	Sekretess
Anläggning 314	Södra delen av influensområdet	Bergtunnel	Sekretess
Anläggning 601			Hemlig

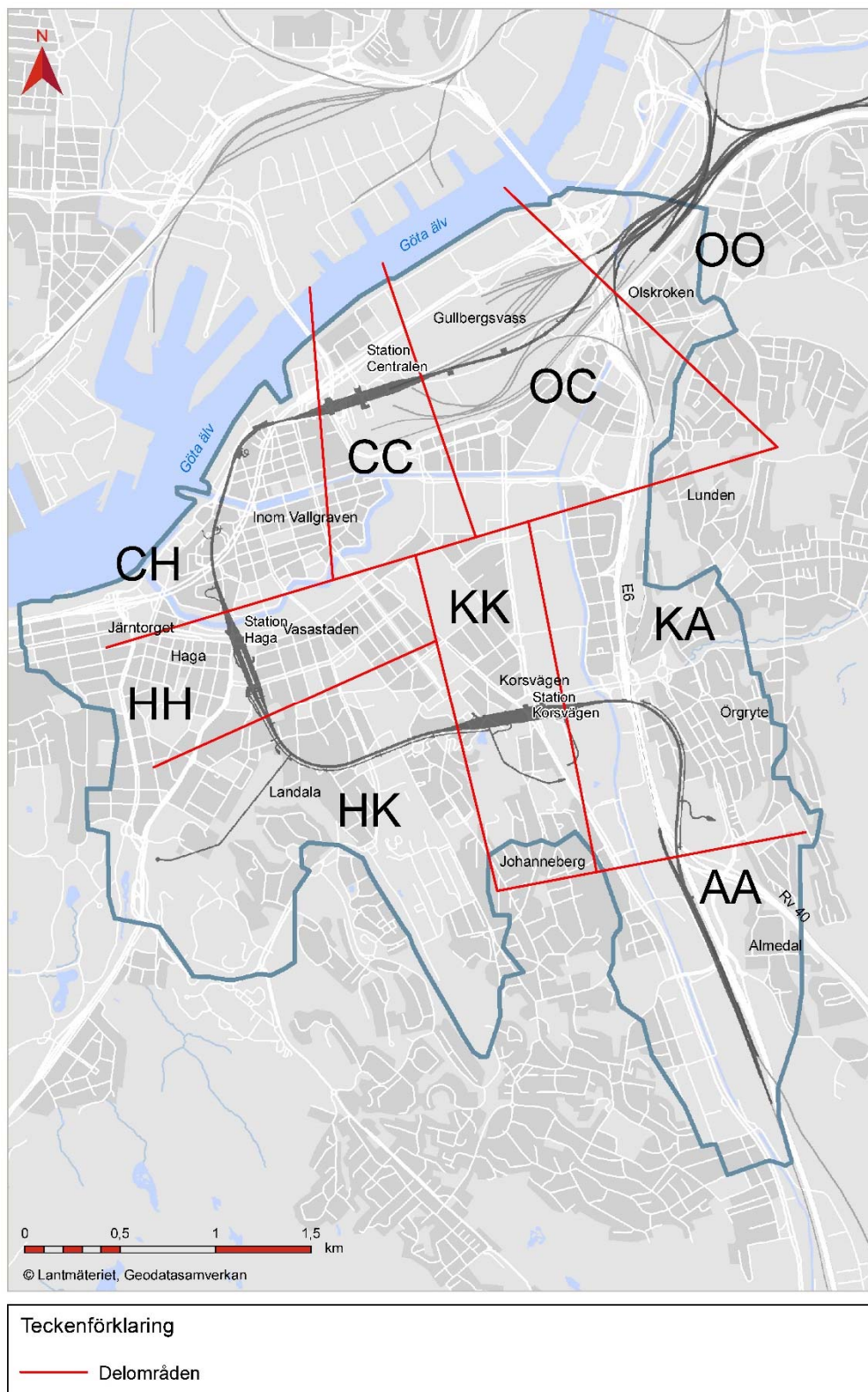


Figur 4. Befintliga ej sekretessbelagda berganläggningar inom influensområdet.

5 Hydrogeologiska undersökningar

De hydrogeologiska undersökningarna för berggrunden längs Västlänken omfattar hammarborrningar, kärnborrningar samt hydrogeologiska tester och provpumpning i utförda borrhål.

Geografiska delområden har tagits fram utifrån stationslägen och områden mellan stationer. Borrhål har namngetts med prefix från det delområde de tillhör. Delområdena redovisas i Figur 5.



Figur 5. Områdesindelning med prefixbeteckning för borrhålens namngivning.

5.1 Hammarborrningar inom projekt Västlänken

Hammarborrningarna i form av 4,5” bergborrning med 6” Odex-rör har utförts i olika fältkampanjer under 2012-2014:

- Borrningar vid planerade tunnelpåslag
- Borrningar längs planerad tunnelsträcka mellan Station Haga och Station Korsvägen
- Borrningar för arbets-/servicetunnlar
- Borrningar i berget öster om E6, i denna PM kallat Almedalsberget

Hammarborrningarna vid tunnelpåslagen hade som syfte dels att förmedla en bild av genomborrade jordarter och provta dessa, dels att studera de hydrogeologiska förhållandena i det undre friktionsjordlagret och ytberget. Dessa borringar ger ingen exklusiv information om bergets egenskaper, eftersom foderrören inte fastgöts och tätades mot berget. Borrhålen utfördes med olika lutning från horisontalplanet ner till vanligtvis cirka 5 meter under planerad tunnelbotten. Sammanlagt har 15 hammarborrhål av detta slag utförts vid lägena för planerade bergtunnelpåslag. Eftersom informationen om grundvattenförhållanden inte utgör representativ information om berget har resultaten inte inkluderats i sammanställningen av hydrogeologiska data för hammarborrhålen.

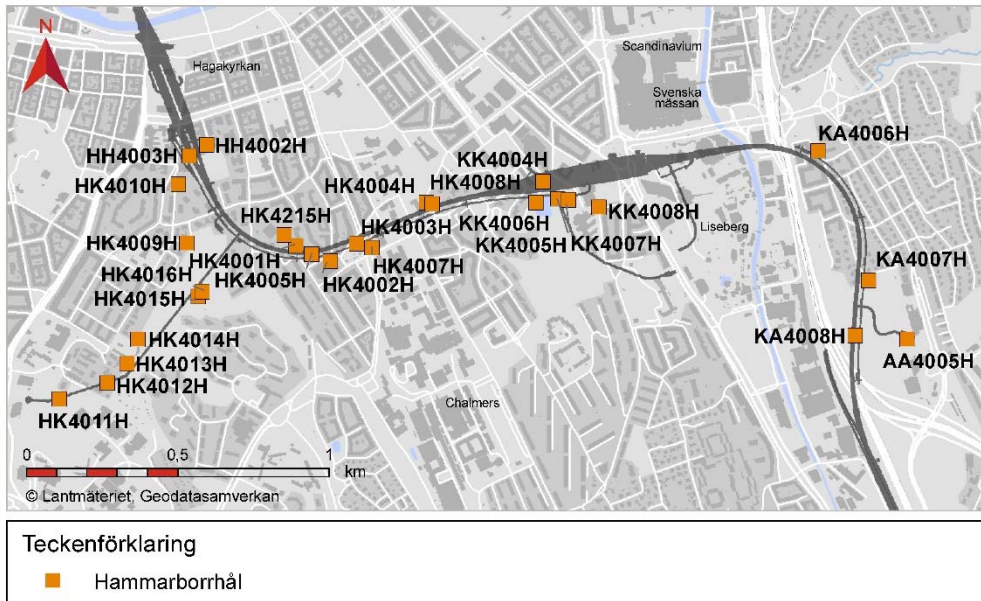
Mellan Station Haga och Station Korsvägen har 12 borrhål utförts i syfte att hydrauliskt undersöka förmodade svaghetszoner baserat på geologisk ytkartering samt information från SGUs berggrundskarta och kartering av befintliga berganläggningar. I de flesta fall är jordlagren tunna, vilket innebär att hydraulisk data representerar berget. Foderrör har dock inte tätats i jord/berg-kontakten, vilket innebär att ett visst inflöde från jordlagren inte helt kan uteslutas.

Inom ramen för undersökningar för arbets-/servicetunnlar har sammanlagt 11 hammarborrhål utförts. Placering av borrhål gjordes baserat på SGU:s karta över svaghetszoner. Borrhålen utfördes till en nivå lägre än planerad tunnelbotten i respektive område. Inom Almedalsberget har ytterligare tre hammarborrhål utförts för att undersöka de hydrogeologiska förhållandena.

Sommaren 2015 utfördes ytterligare ett hammarborrhål i Landala vars syfte var att fungera som pumpbrunn vid en provpumpning.

Lägena för hammarborrhålen visas i Figur 6. Tabell 2 summerar data från utförda hammarborrhål. Mer detaljerade beskrivningar av respektive borrhål återfinns i borrhningsrapporter framtagna i systemhandlingsskedet för Västlänken. I samband med borring av hammarborrhålen gjordes kapacitetstester genom blåsning av hålen.

Vidare diskussion av hydrauliska data från hammarborrhål presenteras i avsnitt 7.3.



Figur 6. Utförda hammarborrhål inom projekt Västlänken, exklusive borrhål utförda vid planerade tunnelpåslag.

Tabell 2. Utförda hammarborrhål inom projekt Västlänken. Borrhål vid påslag där hydrauliska data tydligt representerar jord/berg-kontakten har inte tagits med. Även nedanstående värden på specifik kapacitet Q/s kan dock för vissa av borrhålen vara något påverkade av jordlagren.

Borrhåls-beteckning	Syfte	Lutning från horisontalen (°)	Riktning (°)	Total borrlängd (m)	Borrlängd i berg (m)	Q/s (m ² /s)
HH4002H	Förmodad svaghetszon	70	145	52	51,5	$1,2 \cdot 10^{-8}$
HH4003H	Förmodad svaghetszon	90	-	52	51	$1,0 \cdot 10^{-6}$
HK4001H	Förmodad svaghetszon	70	80	72	67,5	$5,2 \cdot 10^{-6}$
HK4002H	Förmodad svaghetszon	70	70	64	63	$8,7 \cdot 10^{-9}$
HK4003H	Förmodad svaghetszon	70	70	61	54,2	$2,7 \cdot 10^{-7}$
HK4004H	Förmodad svaghetszon	90	-	52	50,5	$8,2 \cdot 10^{-8}$
HK4005H	Förmodad svaghetszon	70	145	76	65,5	$7,1 \cdot 10^{-9}$
HK4007H	Förmodad svaghetszon	80	50	58	56,5	$4,6 \cdot 10^{-7}$
HK4008H	Förmodad svaghetszon	80	320	52	48	$1,9 \cdot 10^{-6}$
KK4004H	Förmodad svaghetszon	65	65	42	32	$8,5 \cdot 10^{-9}$
KK4005H	Förmodad svaghetszon	65	45	42	40,5	$4,4 \cdot 10^{-7}$
KK4006H	Förmodad svaghetszon	70	40	42	32,7	$5,0 \cdot 10^{-7}$
HK4009H	Servicetunnel Haga	90	-	58	54,5	$1,2 \cdot 10^{-8}$
HK4010H	Servicetunnel Haga	90	-	40	39,5	$1,6 \cdot 10^{-9}$
KK4007H	Servicetunnel Korsvägen	90	-	46	44,5	$1,0 \cdot 10^{-6}$
KK4008H	Servicetunnel Korsvägen	90	-	40	38,5	$6,7 \cdot 10^{-7}$
AA4005H	Servicetunnel Skår	70	180	40	33,8	$6,8 \cdot 10^{-5}$
HK4011H	Servicetunnel Haga	90	-	45	41,6	$<1 \cdot 10^{-8}$
HK4012H	Servicetunnel Haga	75	120	45	41,7	$6,8 \cdot 10^{-6}$
HK4013H	Servicetunnel Haga	70	193	51	43,6	$2,8 \cdot 10^{-6}$
HK4014H	Servicetunnel Haga	70	245	51	48	$2,0 \cdot 10^{-7}$
HK4015H	Servicetunnel Haga	75	10	88	86,3	$6,0 \cdot 10^{-7}$
HK4016H	Servicetunnel Haga	90	-	82	81,6	$2,0 \cdot 10^{-8}$

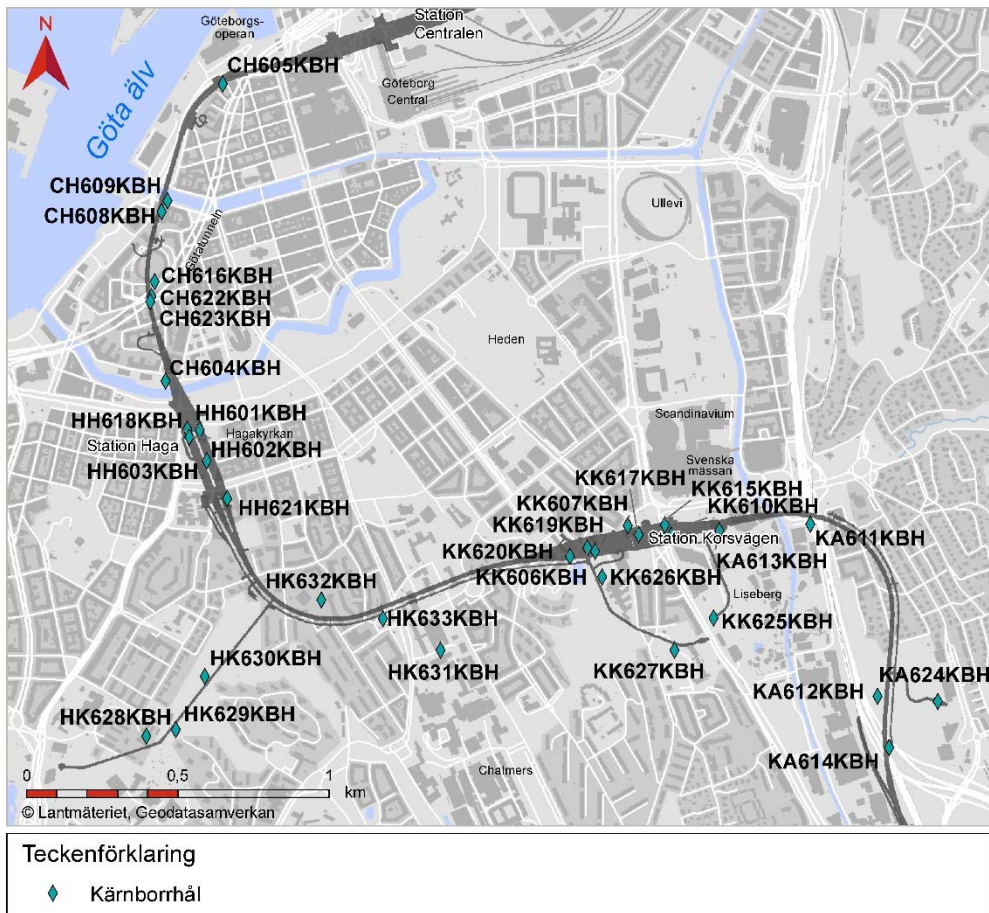
Borrhåls-beteckning	Syfte	Lutning från horisontalen (°)	Riktning (°)	Total borrhåls-längd (m)	Borrhåls-längd i berg (m)	Q/s (m ² /s)
HK4215H	Provpumpning	60	89	100	97	2,8· 10 ⁻⁷
KA4006H	Hydrogeologiska förhållanden	70	110	39	38	-
KA4007H	Hydrogeologiska förhållanden	70	270	39	38	-
KA4008H	Hydrogeologiska förhållanden	90	-	30	30	-

5.2 Kärnborrningar inom projekt Västlänken

Kärnborrningar (ø56 mm) har utförts i olika kampanjer under perioden 2012-2015. Syftet med borrningarna har varit att undersöka bergförhållanden som underlag för framtagandet av systemhandlingen. Detaljerad kärnkartering, BIPS-filmning och bergmekanisk laborietestning har utförts. Detta arbete och resultaten därav redovisas inte här. För detaljerad information hänvisas till PM F 06-001 med bilagor (Trafikverket 2014f).

En sammanställning av kärnborrningarna redovisas i Tabell 3, där också syftet utöver undersökning av bergkvaliteten för respektive borrhål redovisas principiellt. Lägen för kärnborrhålen redovisas i Figur 7.

Kärnborrhålen har i samband med borrningen vattenförlustmätts i 3 m-sektioner samt som hel- och halvhålstester. I ett senare skede har kompletterande vattenförlustmätningar utförts i två utav borrhålen (CH605KBH och KA611KBH) då tidigare utförda mätningar uppvisade avvikelse mellan halvhålsmätningen och sektionmätningarna. Analyser av dessa mätningar presenteras i avsnitt 7.4. I senare skede har även trycknivåmätning utförts i ett av kärnborrhålen (HH602KBH) i samband med att trycknivåmätningar utfördes i hammarborrhål, se vidare avsnitt 7.1.



Figur 7. Utförda kärnborrhål inom projekt Västlänken.

Tabell 3. Utförda kärnborrhål inom projekt Västlänken. Hydraulisk transmissivitet utvärderad från vattenförlustmätning med enkelmanschett sätt cirka 10-20 meter under bergöveryta.

Borrhåls-beteckning	Syfte	Lutning från horisontalen (°)	Riktning (°)	Total borrhåls-längd (m)	Borrhåls-längd i berg (m)	Hydraulisk transmissivitet (m ² /s)	Mätsträcka (m)
HH601KBH	Tunnelpåslag	70	132	31,3	28,7	3,8E-06	13,3
HH602KBH	Tunnelpåslag	61	183	33	25,6	5,7E-08	10,0
HH603KBH	Geologisk struktur	78	295	34	22,5	8,4E-08	12,0
CH604KBH	Tunnelpåslag	48	334	34,1	17,6	3,7E-07	9,1
CH605KBH	Tunnel/ omgivande konstruktioner	58	101	17,1	16,2	2,2E-07	10,1
KK606KBH	Geologisk struktur/ stationsutrymme	58	50	48,9	38,9	2,1E-06	24,9
KK607KBH	Tunnelpåslag	58	94	41,1	40,3	1,5E-06	22,1
CH608KBH	Tunnelpåslag	59	92	32,2	31,3	2,4E-06	30,2
CH609KBH	Tunnelpåslag	64	187	27	15,5	2,5E-07	13,0

Borrhåls-beteckning	Syfte	Lutning från horisontalen (°)	Riktning (°)	Total borrhålslängd (m)	Borrhålslängd i berg (m)	Hydraulisk transmissivitet (m ² /s)	Mätsträcka (m)
KK610KBH	Geologisk struktur	58	222	38,1	16,9	5,2E-05	13,1
KA611KBH	Tunnelpåslag	64	93	31	25,3	1,2E-08	16,0
KA612KBH	Tunnelpåslag	59	146	45,9	43,8	4,4E-05	15,9
KA613KBH	Tunnelpåslag	54	319	35,9	34,6	1,5E-05	33,9
KA614KBH	Tunnelpåslag	45	300	31,9	28,1	1,8E-05	27,4
KK615KBH	Tunnelpåslag/ geologisk struktur	90	-	27,9	6,5	-	-
CH616KBH	Geologisk struktur	13	164	90,5	89,7	1,4E-06	88,2
KK617KBH	Stationsutrymme	8	250	185,4	185,4	6,8E-05	182,4
HH618KBH	Stationsutrymme	10	150	152,6	146,1	1,4E-05	139,6
KK619KBH	Geologisk struktur/ stationsutrymme	25	278	101,9	84,5	4,6E-06	80,9
KK620KBH	Geologisk struktur/ stationsutrymme	27	273	100,8	96,2	1,8E-06	92,8
HH621KBH	Geologisk struktur	44	192	53,6	51,4	1,0E-06	33,6
CH622KBH	Geologisk struktur	90	-	22,7	22,7	1,6E-06	8,0
CH623KBH	Geologisk struktur	89	166	22,8	22,8	2,3E-07	13,5
KA624KBH	Servicetunnel	4	277	101	86,2	4,7E-05	84,4
KK625KBH	Servicetunnel	6	46	100,8	100,8	2,9E-06	90,8
KK626KBH	Servicetunnel	23	166	91,8	88,4	9,3E-06	85,8
KK627KBH	Servicetunnel	10	71	84,7	76,8	5,7E-05	76,7
HK628KBH	Servicetunnel	40	204	65	50,0	4,9E-07	39,0
HK629KBH	Servicetunnel	44	49	75,3	73,0	4,7E-05	70,3
HK630KBH	Servicetunnel	29	89	42,5	42,5	1,3E-05	41,5
HK631KBH	Geologisk struktur	30	67	123,0	117,0	1,3E-04	115,3
HK632KBH	Geologisk struktur	40	88	90,8	89,6	2,0E-06	81,8
HK633KBH	Geologisk struktur	39	74	110,0	109,3	1,9E-04	97,0

5.3 Utförda hydrauliska tester i hammarborrhål

I en del hammarborrhål har kompletterande undersökningar och analyser utförts, förutom kapacitetstester i samband med borrhning.

5.3.1 Provpumpning Almedalsberget

En provpumpning har utförts i borrhål AA4005H beläget vid Lundgrens trappor i Örgryte. Flödet var konstant 20 L/min under pumpningen som varade i 2 timmar. Återhämtningen mättes under 13 timmar. En transient utvärdering av pumpningen resulterade i en transmissivitet $8,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, det vill säga $T \approx 1,2 \cdot (Q/\text{s})$ från kapacitetsbedömningen efter borrningen.

Magasinskoefficienten S kan från den transienta utvärderingen uppskattas till cirka $2,6 \cdot 10^{-5}$, men värdet bedöms som osäkert. Hammarborrhålet uppvisar en negativ skinfaktor, det vill säga har en hydraulisk radie som är större än den nominella.

5.3.2 Provpumpning Landala

En provpumpning har utförts i hammarborrhålen HK4001H och HK4215H sydöster om Fjäderborgen i Landala under tre veckor hösten 2015. Pumpflödet var totalt cirka 35 L/min under de första två veckorna. Den sista provpumpningsveckan användes endast en av brunnarna, HK4215H, och flödet var då cirka 20 L/min. Syftet med provpumpningen var att studera påverkan på grundvatten i jord, resultaten redovisas därför mer utförligt i MPU02-50GT-025-00-0005. Pumpbrunnarnas transmissivitet har beräknats till omkring $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ från de transienta avsänkingsförlöppen och en avstånds-avsänkingsanalys av de bergborrade observationspunkterna ger en hydraulisk transmissivitet på omkring $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

5.3.3 Provpumpning Örgryte

En provpumpning har utförts i hammarborrhålet KA4006H vid ryska konsulatet vid Sankt Sigfrids plan under tre veckor hösten 2015. Det genomsnittliga pumpflödet under provpumpningen var cirka 35 L/min. Grundvattennivåmätningar gjordes i 35 observationsrör, varav 27 rör satt i det undre magasinet, 2 i det övre och resten i berg. Syftet med provpumpningen var att studera påverkan på grundvatten i jord, resultaten av provpumpningen redovisas därför mer utförligt i MPU02-50GT-025-00-0005. Pumpbrunnens specifika kapacitet beräknades till cirka $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

5.3.4 Kapacitetstest vid servicetunnel Korsvägen

För KK4007H utvärderades det transienta återhämtningsförlöppet efter ett kapacitetstest och gav en transmissivitet $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, det vill säga $T \approx 2,6 \cdot (Q/\text{s})$ från kapacitetsbedömningen efter borrningen.

Motsvarande utvärdering av återhämtningsförlöppet för KK4008H gav en transmissivitet $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, det vill säga $T \approx 0,02 \cdot (Q/\text{s})$ från kapacitetsbedömningen efter borrningen.

5.3.5 Kapacitetstest vid servicetunnel Haga

Borrhålen HK4009H och HK4010H är extremt lågtransmissiva. För HK4009H uppskattas den specifika kapaciteten till cirka $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ och för HK4010H uppskattas den specifika kapaciteten till cirka $1,6 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Värdena bedöms vara osäkra.

5.3.6 Korttidspumpningar efter hydraulisk simulering

Flertalet hammarborrhål utförda på sträckan mellan Station Haga och Station Korsvägen uppvisade mycket låga hydrauliska kapaciteter. I syfte att om möjligt erhålla hydraulisk kommunikation med vattenförande strukturer i den omgivande berggrunden utfördes hydraulisk stimulering av borrhålen. Manschettplacering i borrhålen och maxtryck beslutades individuellt för varje borrhål med hänsyn till bedömda geologiska förhållanden.

Följande hammarborrhål stimulerades; HK4001H, HK4002H, HK4003H, HK4004H, HK4005H, HK4007H, HK4008H.

Korttidspumpning utfördes efter utförda stimuleringar i samtliga sju hammarborrhål, med pumpen installerad 3-10 m över borrhålsbotten. Pumpflödena reglerades med hänsyn till lämplig avsänkningstakt i respektive borrhål. Avsänkningen och återhämtningen registrerades.

I följande borrhål bedömdes stimuleringen, vid jämförelse med transmissiviteter baserade på kapacitetstester efter borrning, som lyckad; HK4002H, HK4004H, HK4005H. I ytterligare två hål, HK4001H och HK4008H trycktes vatten in, men resulterande transmissivitet var i princip oförändrad mot tidigare. I de båda övriga borrhålen gick det inte att trycka in något vatten i berget vid ansatta maxtryck.

Data från pumpförsöken framgår av Tabell 4.

Tabell 4. Resultat av korttidspumpningar i hammarborrhål efter stimulering.

Borrhål	Pumpflöde (L/min)	Pumptid (min)	Max avsänkning (m)	Hydraulisk transmissivitet (m ² /s)
HK4001H	18	125	20	5·10 ⁻⁶
HK4002H	4,4	106	40	2·10 ⁻⁷
HK4003H	5,5	68	28	6·10 ⁻⁷
HK4004H	4,7	125	18	8·10 ⁻⁷
HK4005H	7,0	140	19	1·10 ⁻⁶
HK4007H	4,0	118	40	3·10 ⁻⁷
HK4008H	6,0	120	11	3·10 ⁻⁶

5.3.7 Vattenförlustmätningar

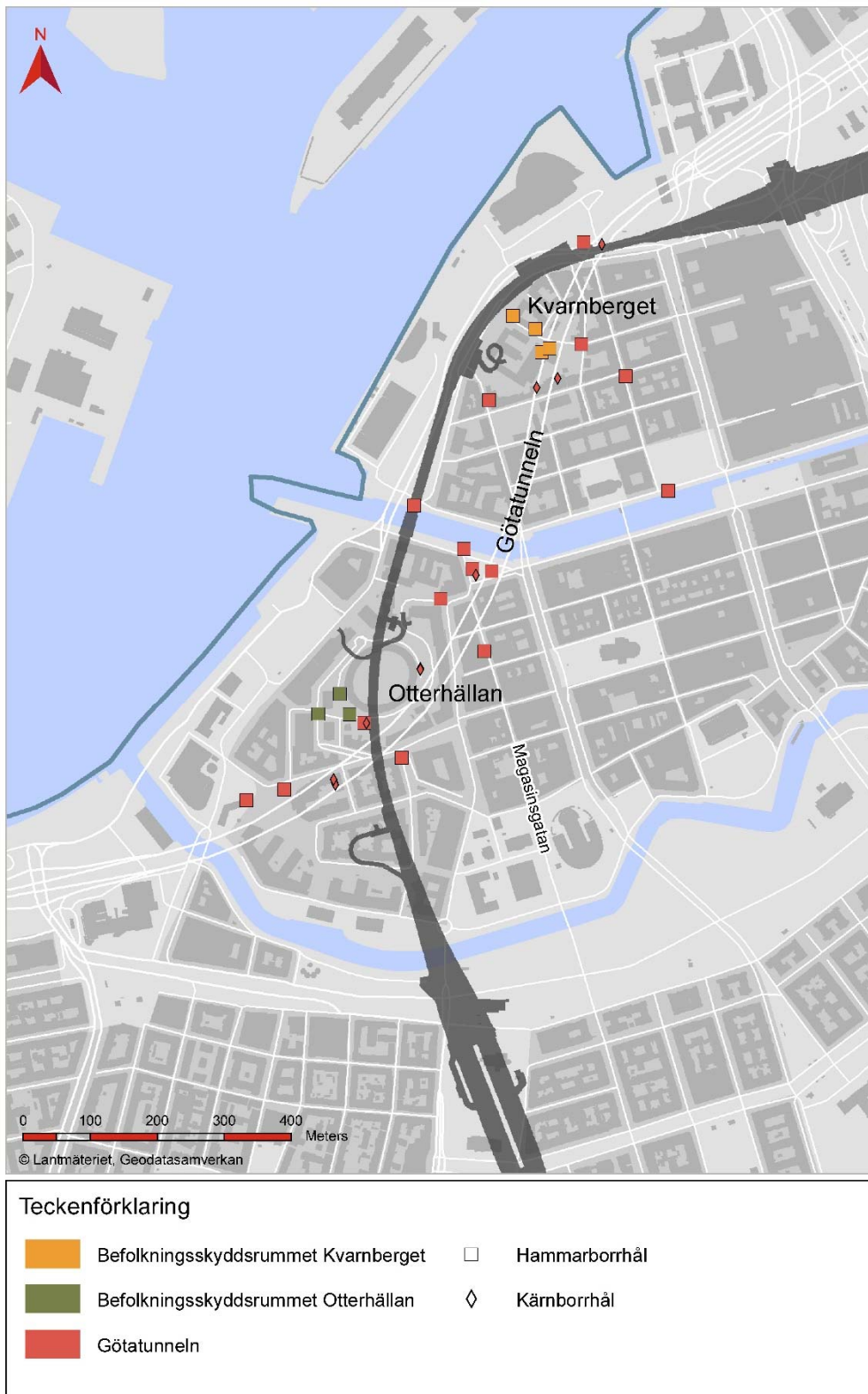
Vattenförlustmätningar har i huvudsak utförts i kärnborrhål, men för att få ett bättre dataunderlag i Almedalsberget utfördes även vattenförlustmätningar i fyra hammarborrhål, se Tabell 5. I KA4006H var vattenförlusterna högre än tillgänglig pumpkapacitet, vilket innebär att utvärderad hydraulisk transmissivitet anger ett lägsta värde och den verkliga transmissiviteten är högre.

Tabell 5. Utförda vattenförlustmätningar i hammarborrhål i Almedalsberget.

Borrhålsbeteckning	Hydraulisk transmissivitet (m ² /s)	Mätsträcka (m)
AA4005H	8,6E-06	15
KA4006H	>8,8E-05	11
KA4007H	6,7E-08	22
KA4008H	1,7E-09	25

5.4 Tidigare hydrogeologiska utredningar

Hydrogeologiska undersökningar av berget inom området kring Västlänken har utförts i samband med ett antal tidigare utförda undermarksprojekt. Dessutom finns en del information från utförda kapacitetstester och provpumpningar i bland annat enskilda brunnar i skyddsrum etc. Undersökningarnas lägen redovisas i Figur 8 och Figur 9.



Figur 8. Lägen för bergborrhål inom Vallgraven, i vilka hydrogeologiska undersökningar har utförts inom tidigare utredningar. Projekten redovisas med färg och borrhålstyp med symbol.

I befolkningsskyddsrummet i Kvarnberget har det funnits fyra bergbrunnar, varav tre nu är igensatta. Brunnarna har provpumpats vid flera tillfällen (VBB VIAK, 1991; Sweco VIAK, 2006) vilket gett samstämmiga resultat. Utvärderade transmissiviteter är $3\text{--}4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ och skinfaktorn -5 till -6. Grundvattennivån i brunnarna har legat på cirka $\pm 0 \text{ m}$.

Under arbetet med Götatunneln gjordes vattenförlustmätningar i kärnborrhål i 3 m-sektioner, se Tabell 6. Hydrauliska tester utfördes även i hammarborrhål och resultatet redovisas i Tabell 7. En korttidsprovpumpning i ett hammarborrhål vid Magasinsgatan indikerade en transmissivitet $3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Sweco VIAK, 1995). Vid en propumpning vid Otterhällan 2005 kunde den hydrauliska transmissiviteten utvärderas till $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Propumpningen utfördes i ett borrhål som var 79 m djup. 1991 gjordes en propumpning i samma borrhål, men brunnen var då pluggad med en manschett på cirka 35 m djup. Liten skillnad i specifik kapacitet ($4,0 \cdot 10^{-6}$ och $4,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ för pumpning 1991 respektive 2001) indikerar att merparten av transmissiviteten bör hänföras till bergets översta 35 m.

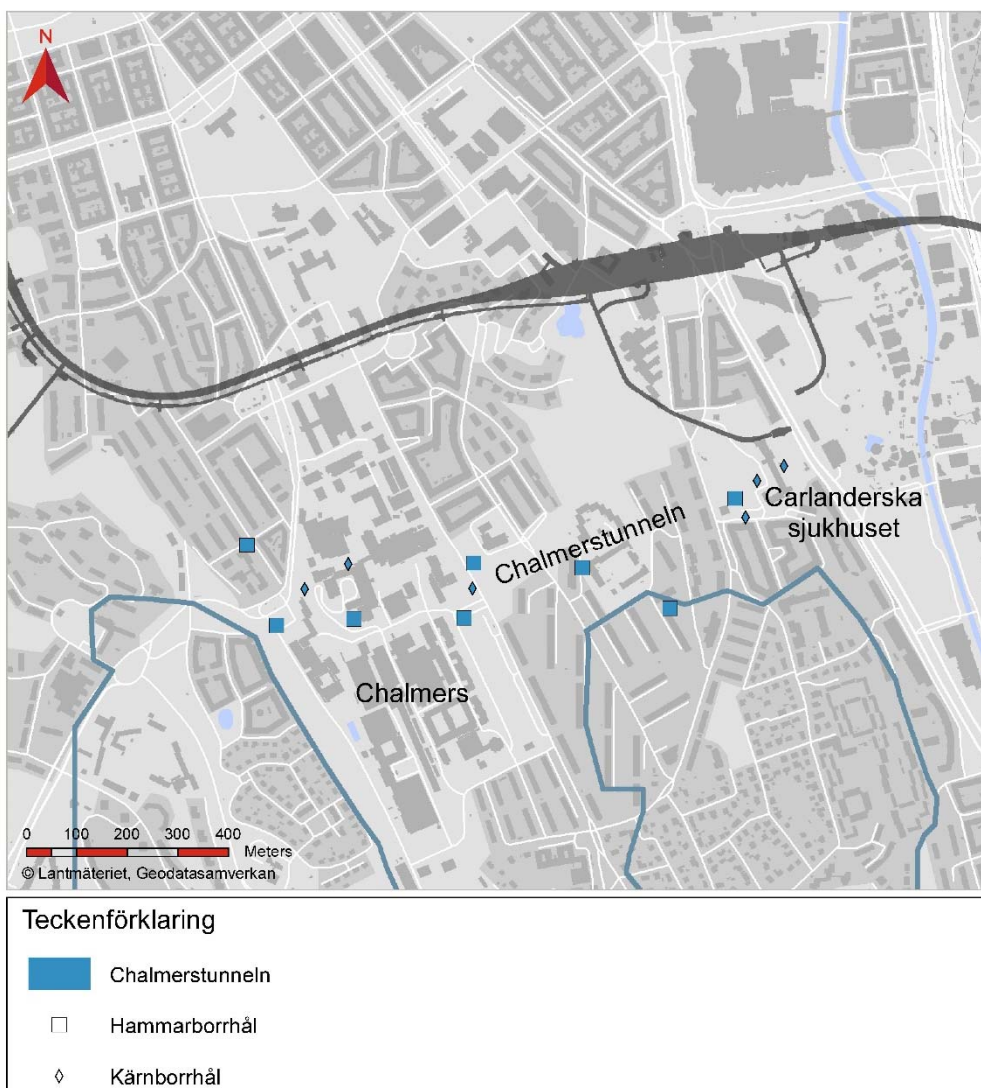
Tabell 6. Sammanställning av resultat av vattenförlustmätningar från arbetet med Götatunneln (data från Sweco VIAK, 1995).

Antal tester	15 st.
Mediankonduktivitet (m/s)	$1,3 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
Minsta värde	$1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$
Största värde	$1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Mediantestskala	3 m

Tabell 7. Hydrauliska resultat från hammarborrhål för Götatunneln (data från Sweco VIAK, 1995).

Antal borrhål	15 st.
Mediankapacitet	0,6 L/h
Minsta kapacitet	0,002 L/h
Största kapacitet	180 L/h
Uppskattad mediankonduktivitet	$0,8 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$
Mediantestskala	26 m

I Otterhällans skyddsrum finns tre bergbrunnar vilka propumpats vid flera tillfällen (VIAK, 1987; Sweco VIAK, 2006). Transmissiviteten har utvärderats till $1\text{-}2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ och skinfaktorn till -5 till -7.



Figur 9. Lägen för bergborrhål längs Chalmerstunneln, i vilka hydrogeologiska undersökningar har utförts inom tidigare utredningar. Projekten redovisas med färg och borrhålstyp med symbol.

I arbetet för Chalmerstunneln utfördes hydrogeologiska undersökningar av berget i några borrhål, se Figur 9. Ett 60 m djupt hammarborrhål utfört NV om tunnelpåslaget vid Chalmers gav ett flöde på 440 L/h. Transmissiviteten bestämdes till $4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bergab, 1999a). Ett annat hammarborrhål vid Chalmers kårhus gav efter spräckning en transmissivitet på $4\text{--}8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bergab, 1999b). Även vid Carlanderska sjukhuset gjordes undersökningar. Ett bergborrhål rapporterades ha en transmissivitet på $3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bergab, 1999b). Vattenförlustmätningar i kärnborrhål i dalgången väster om Carlanderska visade en transmissivitet på $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Bergab, 1999b).

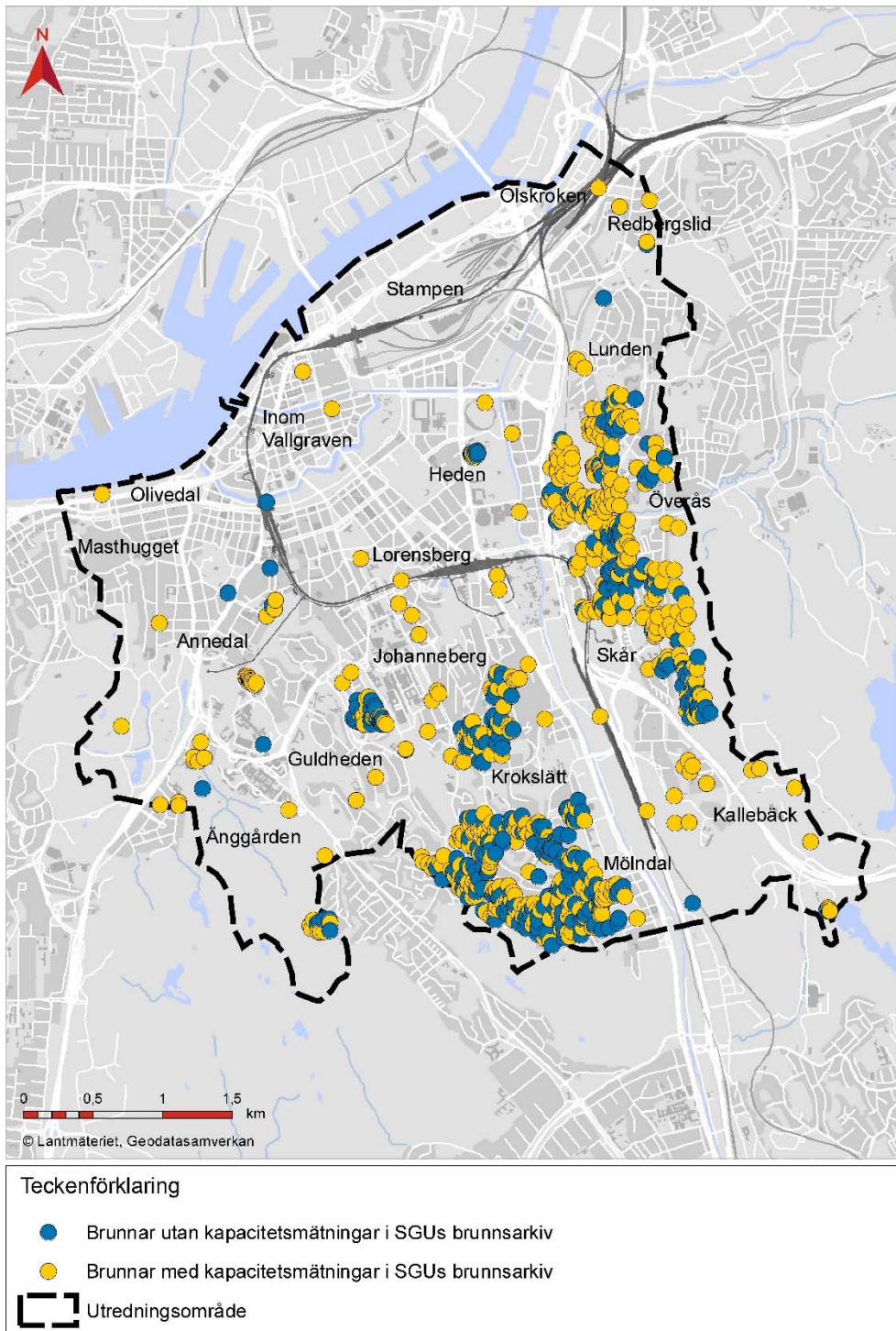
6 Övrigt hydrogeologiskt underlag

6.1 Brunnsinventering

En brunninventering har genomförts som omfattar SGUs Brunnarkiv samt Miljöförvaltningens arkiv för energibrunnar. Brunnarna utgör riskobjekt avseende grundvattenpåverkan från Västlänken. Brunninventeringen beskrivs utförligare i MPU02-50GT-025-00-0003.

I denna PM redogörs endast för brunnarna som identifierats i SGU:s Brunnarsarkiv, då Miljöförvaltningens arkiv saknar den data som behövs för vidare analys. För att få ett större statistiskt underlag utökades inventeringen i SGU:s Brunnarsarkiv till utredningsområdet, se Figur 10, vilket är något större än influensområdet. I Brunnarsarkivet identifierades i juni 2015 totalt 1255 brunnar inom utredningsområdet, varav 1212 är energibrunnar och 43 har annan användning.

I SGUs brunnarsarkiv finns uppgifter om bland annat brunnarnas kapacitet, borrhingsdjup, jorddjup och läge. De totala borrhjupen varierar mellan 20 m och 300 m. Brunnarnas lägen inom influensområdet visas i Figur 10.



Figur 10. Brunnar från SGU:s databas inom utredningsområdet.

Bergbrunnarnas rapporterade kapacitet varierar mellan 0 och 50 000 L/h och är en uppskattning av flöde från brunnborraren. Kapaciteten i SGU-brunnar har enligt utförda studier (exv. Wladis et al, 1997) visat ha en god korrelation med data från manschettmätningar från motsvarande område.

I aktuell databas har ett flertal brunnar kapaciteten noll angivet. Det är oklart om värdet noll betyder att brunnen inte har någon kapacitet eller om inget kapacitetstest har utförts. Dessa brunnar tas därför inte med i vidare bedömning. En översiktlig analys av eventuella skillnader i kapacitet redovisas i Tabell 8, där brunnarna delats in i olika delområden.

Tabell 8. Kapaciteter och djup för inventerade brunnar inom olika delområden.

Område	Antal brunnar	Djup (m)	Kapacitet (L/h)
Lunden	9	120 - 220	100 - 12000
Olskroken	6	89 - 210	1200 - 10800
Skår	117	40 - 220	10 - 35000
Överås	172	49 - 250	10 - 50000
Kallebäck	95	108 - 220	50 - 8000
Krokslätt	109	55 - 240	10 - 12000
Änggården	51	30 - 220	50 - 15000
Guldheden	17	44 - 200	10 - 2400
Annedal	6	150 - 210	60 - 500
Redbergslid	2	160 - 200	50 - 1000
Lorensberg	4	201 - 250	200 - 700
Heden	32	38,5 - 210	50 - 15000
Masthugget	1	150	1190
Inom Vallgraven	2	105,3 - 190	50 - 150
Olivedal	4	216 - 264	5000 - 10000
Johanneberg	19	140 - 300	100 - 3000
Möndal	137	90 - 230	1 - 20000

En statistisk analys av brunnskapaciteter och beräkningar av transmissivitet och hydraulisk konduktivitet baserat på informationen från Brunnsarkivet redovisas i avsnitt 7.2.

7 Hydrogeologiska analyser

7.1 Grundvattennivåer

Grundvattennivåmätningar har utförts i bergborrhål borrade inom ramen för undersökningarna för Västlänken sedan 2012. I ett antal av dessa mäts grundvattennivån fortlöpande inom ramen för kontrollprogrammet. Längs Västlänkens korridor finns det dessutom mätdata för grundvattennivåer i äldre bergborrhål utförda inom andra projekt. All mätdata lagras i Trafikverkets mätdatabas för omgivningspåverkan, TMO.

I syfte att undersöka eventuella kortslutningseffekter på grundvattennivåer i isolerade sprickor i berg, vilka kan maskera avsänkta grundvattentryck på djupet, har tryckmätningar utförts över respektive under manschett i totalt 26 hammarborrhål och 1 kärnborrhål.

Manschetterna installerades normalt 10 m ner i hålet. I de borrhål där grundvattenytan stod lägre än 10 m, sattes manschetten 2 m under grundvattenytan. I varje borrhål pågick mätningarna under/över manschett i minst 8 timmar.

Tabell 9 redovisar en sammanställning av erhållna resultat. Som framgår uppvisade mätningarna generellt små skillnader, i medeltal cirka 1 m och som mest cirka 3 m. Slutsatsen är att mätta grundvattennivåer i de undersökta bergborrhålen relativt väl representerar förhållandena i berget, utan större påverkan från jordlager.

Tabell 9. Sammanfattning över trycknivåmätningar. Ett positivt värde innebär att trycket under manschett är större än trycket ovanför manschett.

Borrhål	Differens (tryck _{över} – tryck _{under}) (m)
AA4002H	-0,5
AA4005H	±0
HH4002H	1,5
HH4003H	1,1
HH602KBH	0,2
HK4001H	2,4
HK4002H	0,8
HK4003H	1,5
HK4004H	2,9
HK4005H	0,5
HK4007H	1,4
HK4008H	1,3
HK4009H	0,8
HK4010H	-0,1
HK4012H	-0,5
HK4013H	-1,9
HK4014H	±0
HK4015H	0,8
KA4004H	-0,1
KA4005H	1,9
KA4006H	0,5
KA4007H	2,1
KA4008H	±0
KK4003H	-0,1
KK4005H	3,0
KK4007H	0,9
KK4008H	0,5

7.2 Analys brunnsinventering

Från SGU:s brunnarsarkiv har 1028 bergbrunnar, för vilka det finns kapacitetsdata, identifierats inom influensområdet. Av dessa brunnar har dock i databasen värdet 0 angivits för vattenmängden för 231 brunnar. För denna analys görs antagandet att det inte gjorts något kapacitetstest i dessa brunnar, varför dessa brunnar har exkluderats i den statistiska beräkningen.

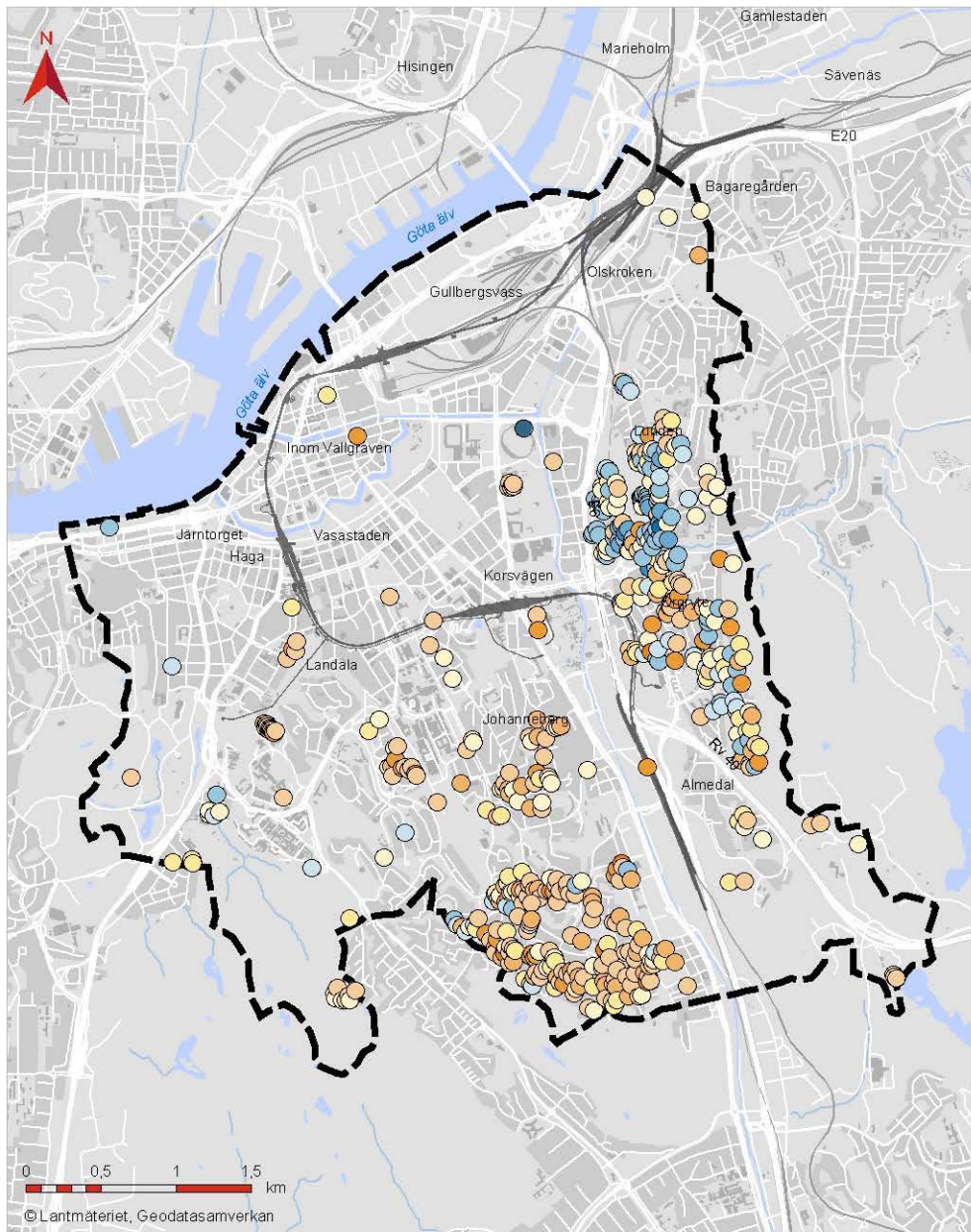
I brunnarsarkivets databas finns uppgifter om bland annat brunnarnas kapacitet, borrhållsdjup, jorddjup och läge. Dessa uppgifter kan användas för att uppskatta transmissiviteten. Brunnarnas kapacitet (Q) mäts vid borrhållningen, då brunnen oftast töms helt, det vill säga full avsänkning uppnås. Avsänkning, s_w , kan då anses motsvara ungefär brunnsdjupet, d . Brunnens specifika hydrauliska kapacitet kan definieras som Q/s_w . I genomförd dataanalys har d ansatts som borrhållens totala djup minus foderrörets längd för respektive brunn.

Enligt Gustafson (2009) gäller $T \approx Q/s_w \leq Q/d$

En uppskattning av bergmassans hydrauliska konduktivitet i borrhålsskala erhålls genom division med brunnsdjupet, d , definierat enligt ovan.

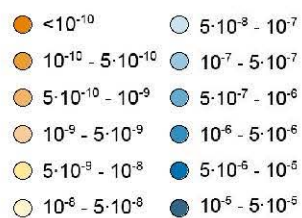
Djupen på brunnarna varierar, vilket framförallt beror på syftet med utförda borrhningar. Vid borrhning av energibrunnar är målet att åstadkomma en önskad borrhålslängd med hänsyn till hur stor termisk effekt som eftersträvas. Den hydrauliska kapaciteten för brunnen har i detta sammanhang ingen betydelse. Vid borrhning av vattenbrunnar är målet med borrhningen däremot att erhålla en tillräcklig vattenmängd för ett specifikt behov. Borrhningen avslutas då oftast när detta bedöms uppfyllas.

Ett stort antal av brunnarna inom influensområdet är koncentrerade till ett område öster om Mölndalsån, se Figur 11. Norr om Delsjöbäcken visar brunnarna på mycket hög vattenföring, vilket återspeglas i en hög hydraulisk konduktivitet. I den statistiska analysen delas data därför in i tre områden, se Figur 12, i syfte att se om det föreligger några statistiska skillnader i vattenförande förmåga.



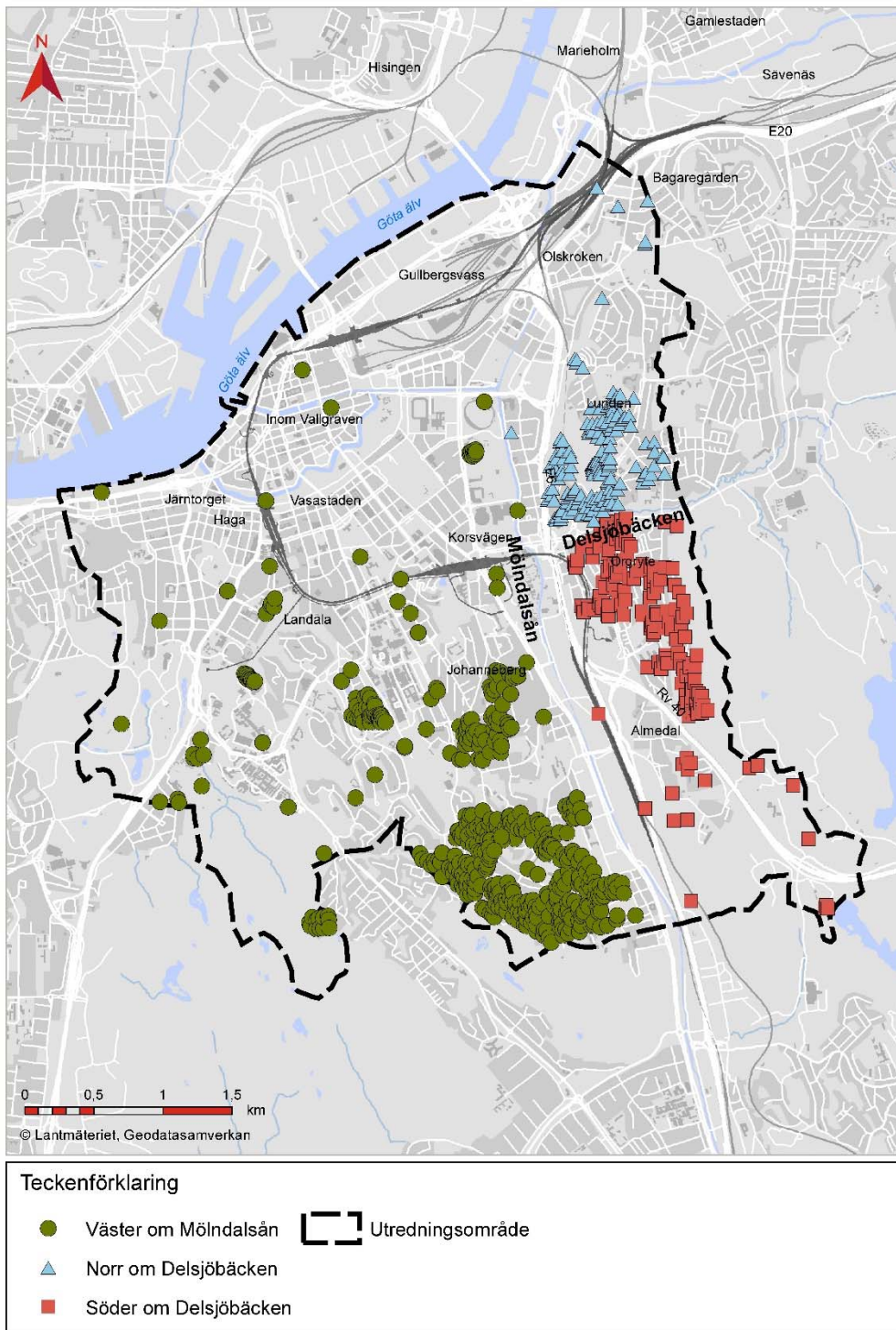
Teckenförklaring

Hydraulisk konduktivitet (m/s)



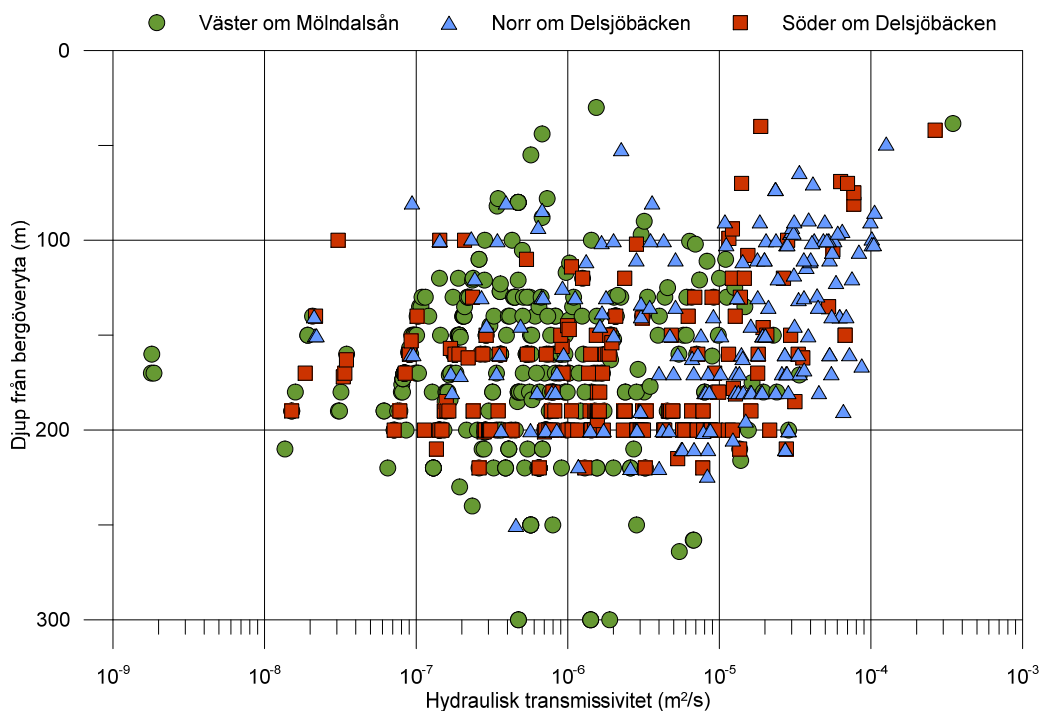
 Utredningsområde

Figur 11. Hydraulisk konduktivitet, approximerad genom specifik kapacitet och brunnsdjup, för brunnar i SGUs brunnarkiv.



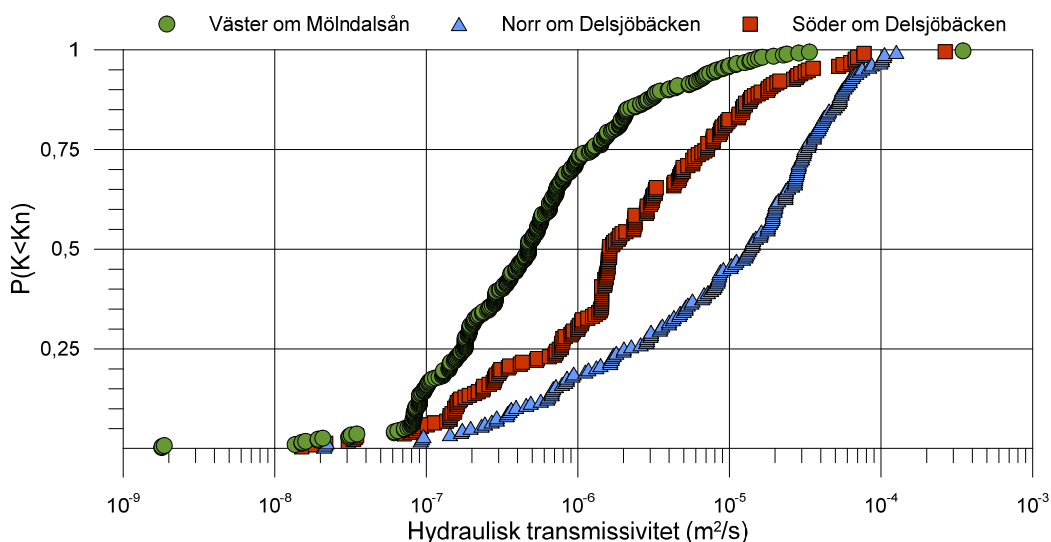
Figur 12. Områdesindelning för brunnar i SGUs brunnarkiv.

Figur 13 redovisar ett diagram över specifik kapacitet som funktion av brunnsdjupet, d . Av diagrammet framgår att det finns en tyngdpunkt på djupare brunnar inom det västra området. Endast ett fåtal av brunnarna (6 st) är vattenbrunnar och synbara skillnader i diagrammet speglar därför inte olika syften med borrhningarna. Olika borrhjup för energibrunnar motsvarar därför troligen vilket energiutbyte man dimensionerat för.

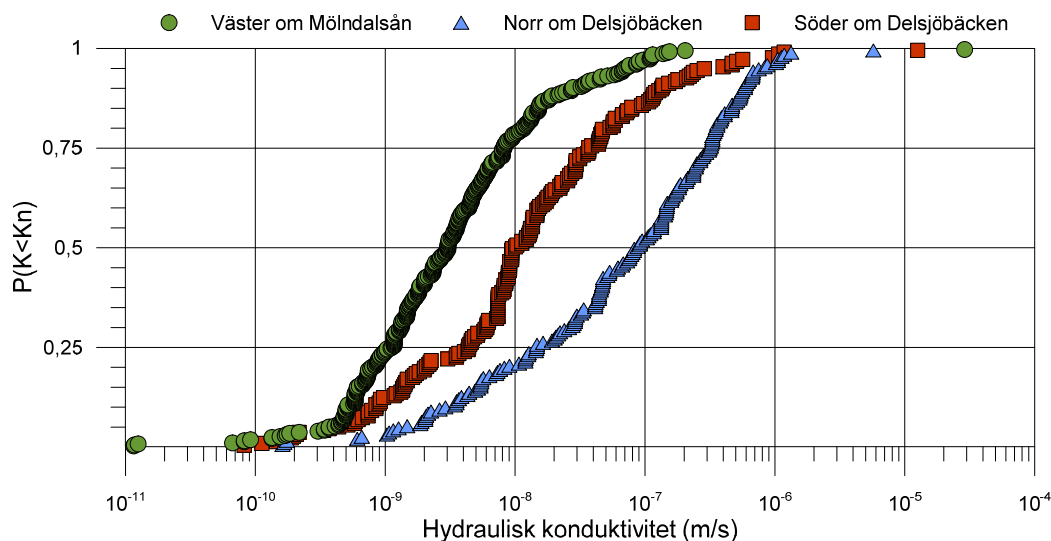


Figur 13. Transmissivitet, approximerat som specifik kapacitet, som funktion av brunnsdjupet, med områdesindelning enligt Figur 12.

Flera undersökningar visar att det finns ett samband mellan djup och hydraulisk konduktivitet, då den hydrauliska konduktiviteten minskar med djupet (Gustafson, 2009). Detta innebär att det är sannolikt att anta att huvuddelen av uppmätt kapacitet härrör från de övre delarna av borrhålet. För att inte underskatta den hydrauliska konduktiviteten görs därför ett konservativt antagande om att de övre 40-50 m av borrhålet bidrar med huvuddelen av vattenmängden. I Figur 14 och Figur 15 redovisas den beräknade hydrauliska transmissiviteten och konduktiviteten i kumulativa fördelningsdiagram för de tre områdena.



Figur 14. Kumulativt fördelningsdiagram (CDF) över hydraulisk transmissivitet, approximerat som specifik kapacitet, med områdesindelning enligt Figur 12.



Figur 15. Kumulativt fördelningsdiagram (CDF) över hydraulisk konduktivitet, med områdesindelning enligt Figur 12.

För att göra bedömningar av representativa effektiva konduktiviteter för hela området och för de tre studerade delområdena kan följande formel användas för ett tredimensionellt flödesproblem (Gustafson, 2009):

$$K_{3D} = K_G \times e^{\left(\frac{\sigma^2}{6}\right)}$$

där K_G är det geometriska medelvärdet för K i aktuell mätskala och σ är $\sigma_{\ln K}$, det vill säga standardavvikelsen för logaritmen av K . K_G , $\sigma_{\ln K}$ och K_{3D} redovisas i Tabell 10. Mätskalan är i detta fall brunnsdjupet.

Tabell 10. Statistiska parametrar för hydraulisk konduktivitet (m/s) för brunnsinventeringen.

Parameter	Hela området	Väster om Mölndalsån	Norr om Delsjöbäcken	Söder om Delsjöbäcken
Geometriskt medelvärde, K_G	9,2E-09	3,2E-09	5,9E-08	1,2E-08
Aritmetriskt medelvärde, K_a	1,3E-07	8,8E-08	2,3E-07	1,2E-07
Matherons förmodan, K_{3D}	2,1E-08	5,1E-09	1,2E-07	2,2E-08
Standardavvikelse, σ_K	1,2E-06	1,5E-06	4,8E-07	8,7E-07
Standardavvikelse, $\sigma_{\ln K}$	2,19	1,67	2,03	1,95

7.3 Analys av hammarborrhål

Hammarborrhål har på sträckan mellan Station Haga och Station Korsvägen, se Figur 6, utförts huvudsakligen i syfte att undersöka förekomst av prognostiserade svaghetszoner och dessas vattenförande förmåga. Dessutom har hammarborrhål utförts vid planerade servicetunnlar och i Almedalsberget.

För borrhålen i den första gruppen ligger utvärderade transmissiviteter i intervallet $1 \cdot 10^{-8}$ till $5 \cdot 10^{-6}$ m²/s. I några av hålen med lägst uppmätt specifik kapacitet vid borrhning, resulterade den hydrauliska stimuleringen i 10-100 gånger högre vattenförande förmåga. Inget av borrhålen mellan Haga och Korsvägen kan betecknas ha en hög transmissivitet, vilket kan tolkas antingen som att de prognostiserade svaghetszonerna ej är nämnvärt vattenförande eller att de inte har genomborrats. Det är uppenbart att borrhålens relativa branthet (65-90°) har inneburit begränsade förutsättningar att genomborra brantstående zoner. Det finns därför en väsentlig risk att vissa av borrhningarna missat de avsedda målen.

Hammarborrhålen som utförts för att undersöka förhållandena vid planerade servicetunnlar uppvisar transmissiviteter i intervallet $2 \cdot 10^{-9}$ till $8 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Den högsta siffran erhöles i Almedal vid planerad

servicetunnel Skår. I majoriteten av övriga borrhål låg transmissiviteten i intervallet $2 \cdot 10^{-7}$ till $7 \cdot 10^{-6}$ m²/s. En jämförelse kan göras med data från SGUs brunnsarkiv (Figur 15). Som framgår faller hammarborrhålens data, med något undantag, inom den lägre halvan av Brunnsarkivets data. Notera dock skillnaderna i borrhålsdjup.

Slutsatser om bergets generella vattenförande förmåga i området, och specifikt data för vattenförande svaghetszoner, kan inte dras enbart baserat på hammarborrhålen, utan en sammanvägning måste göras med övrig tillgänglig information om grundvattenförhållanden, såsom karteringar av inläckage i befintliga undermarksanläggningar, resultat av kärnborrningar samt data från Brunnsarkivet. Vattenförlustmätningar i helhålskala har utförts i fyra hammarborrhål i Almedalsberget och resultaten från dessa analyseras tillsammans med kärnborrhålen i avsnitt 7.4.3

7.4 Analys av kärnborrhål

7.4.1 Allmänt

I den ingenjörsgelogiska prognosen för Västlänken inom systemhandlingen (Trafikverket, 2013) redovisas en kvantitativ tolkning av berggrundens hydrauliska konduktivitet, baserat på data från vattenförlustmätningar i 3 m-sektioner utförda i de kärnborrhål som utförts till och med 2013. Vid Gullberget (se Figur 20) saknas uppgifter från vattenförlustmätningar, de hydrauliska egenskaperna har uppskattats baserat på övrig geologisk information. Syftet med utförd analys var att identifiera hydrauliska domäner knutna till de geologiska förhållandena. Förutom mätningar i 3 m-sektioner har även helhålsmätningar utförts. För varje sektion har tre mätningar utförts vid trycken 0,3 MPa, 0,5 MPa och slutligen 0,3 MPa över hydrostatiskt tryck. Mätperioderna har varit 5 minuter. I en stor andel av testsektionerna (drygt 75 % av sammanlagt cirka 500 mätsektioner) har vattenförlusten redovisats som noll liter per 5 minuter. Detta innebär att sektionen har haft så låg vattenförande förmåga att flödet inte kunnat mätas med använd flödesmätningstrustning. I vissa fall har låga flöden noterats i protokollen (1 liter per 5 minuter). Sådana värden är behäftade med stor osäkerhet då använda flödesmätare inte har denna mätnoggrannhet, vilket innebär att det verkliga flödet kan vara högre. För att statistiskt kunna hantera de vattenförlustmätningar där vattenförlusten har angetts till 0 liter per 5 min, har noll-värdet ersatts med 1 liter per 5 min. Den undre mätgränsen motsvarar en hydraulisk konduktivitet av cirka $3 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Senare har dessa kärnborrhål kompletteras med nya mätningar med högre mätnoggrannhet med avseende på flöde (mätgräns $< 0,01$ L/min) i helhålskala, vilket resulterar i att lägre värden för hydraulisk konduktivitet kan bestämmas. I samband med de kompletterande mätningarna utfördes även vattenförlustmätningar i fyra hammarborrhål, som inkluderas i analysen av mätningar i helhålskala i avsnitt 7.4.3. Mätningarna utfördes med tre trycksteg; för varje trycksteg pågick vattenförlustmätningen i 10 minuter. För att säkerställa ett stabilt flöde gjordes en testmätning under 10 minuter innan själva mätningen påbörjades.

Senare har även tre kompletterande kärnborrhål borrats i Landala, i vilka vattenförlustmätningar i 3 m-sektioner samt hel- och halvhålsmätningar har utförts. För hel- och halvhålsmätningarna eftersträvades tryckstegen 0,2 MPa, 0,3 MPa, 0,5 MPa och slutligen 0,3 MPa under en mättid om 10 min per trycksteg. För 3 m-sektionerna eftersträvades tryckstegen 0,3 MPa, 0,5 MPa och slutligen 0,3 MPa, med en mättid om 5 min. Vid samtliga mätningar säkerställdes att tryck och flöde var stabilt innan den inledande mätningen på varje nivå påbörjades. Flödesmätarens nedre mätgräns var 0,1 L/min, vilket ger en mätgräns på omkring $2 \cdot 10^{-8}$ m/s för 3 m-sektionerna. Läge för samtliga kärnborrhål redovisas i Figur 7.

En svårighet vid bestämningar av hydrauliska egenskaper i sprucket berg är att grundläggande hydrauliska samband gäller för varje enskild spricka, medan varje sprickas egenskaper inte kan bestämmas med rimliga insatser. Undersökningar av bergets genomsläpplighet representerar alltid en viss volym. Framförallt beroende på bergets heterogenitet uppvisar hydrauliska egenskaper vanligen skaleffekter. Detta innebär att egenskaperna varierar beroende på storleken på den undersökta volymen eller observationsskalan. Valet av

testmetod liksom testtiden medför också att utvärderade egenskaper uppvisar en kvantitativ variation och representerar olika observationsskala.

Såväl analytiska som numeriska metoder för beräkning av grundvattenflöden och hydrauliska påverkan bygger vanligen på att berget kan betraktas som ett homogent medium. Det finns behov att beskriva bergets hydrauliska egenskaper i större skala än använd testskala, såsom 3 m-sektioner. För att bestämma ett representativt värde på hydraulisk konduktivitet över en större volym krävs en skaltransformation. Den mest använda tekniken för skalning av hydrauliska egenskaper är medelvärdesbildning. Det vanligast använda är det geometriska medelvärdet K_G , som har visats vara en god skattning av den effektiva hydrauliska konduktiviteten i ett tredimensionellt flödessystem. Det geometriska medelvärdet ligger ofta nära medianvärdet (Gustafson, 2009). För liten testskala är skillnaden mellan K_G och K_{3D} större än för en stor testskala, som exempelvis data från Brunnarsarkivet.

Vid samtliga utförda vattenförlustmätningar för Västlänken har säkerställts att mätningar endast utförts under grundvattenytan i borrhålen. Det är annars en vanlig felkälla vid vattenförlustmätningar att redovisade data även omfattar mätningar ovanför grundvattenytan.

7.4.2 Hydrauliska domäner

I den ingenjörsgelogiska prognosen (Trafikverket, 2013) redovisas hydrauliska domäner för Västlänkens sträckning. Underlaget för de hydrauliska domänerna baseras på de vattenförlustmätningar som utfördes till och med 2013. Vid framtagande av de hydrauliska domänerna har korrelation mellan hydraulisk konduktivitet och zonberg, hydraulisk konduktivitet och geologiska domäner, hydraulisk konduktivitet och djupberoende samt hydraulisk konduktivitet och områdesindelning analyserats.

Jämförelse av vattenförlustmättningsdata från sektioner som innehåller zonberg jämfört med sektioner som inte innehåller zonberg visar att det inte finns någon större skillnad i hydraulisk konduktivitet. Vid undersökning av korrelation mellan hydraulisk konduktivitet och geologiska egenskaper har inte heller några tydliga skillnader av vattenföring inom de geologiska domänerna kunnat noteras. Bergarterna i sig, som huvudsakligen utgörs av olika typer av gnejs, är väldigt lika egenskapsmässigt ur ett hydrogeologiskt perspektiv varför bergarten inte bedöms kunna kopplas till bergets vattenförande förmåga. Ett undantag är den breccia som påträffats vid arbetstunneln för Haga. Denna har geologiska egenskaper som kan motivera avvikande hydrauliska egenskaper, men vattenförlustmätningarna där visar inte på mätbara vattenförluster.

Borrhål som är riktade tvärs bergets foliationsriktning (130° - 225°) tycks ha lägre vattenförluster än de som även skär de tvärande strukturerna som går i öst-västlig riktning.

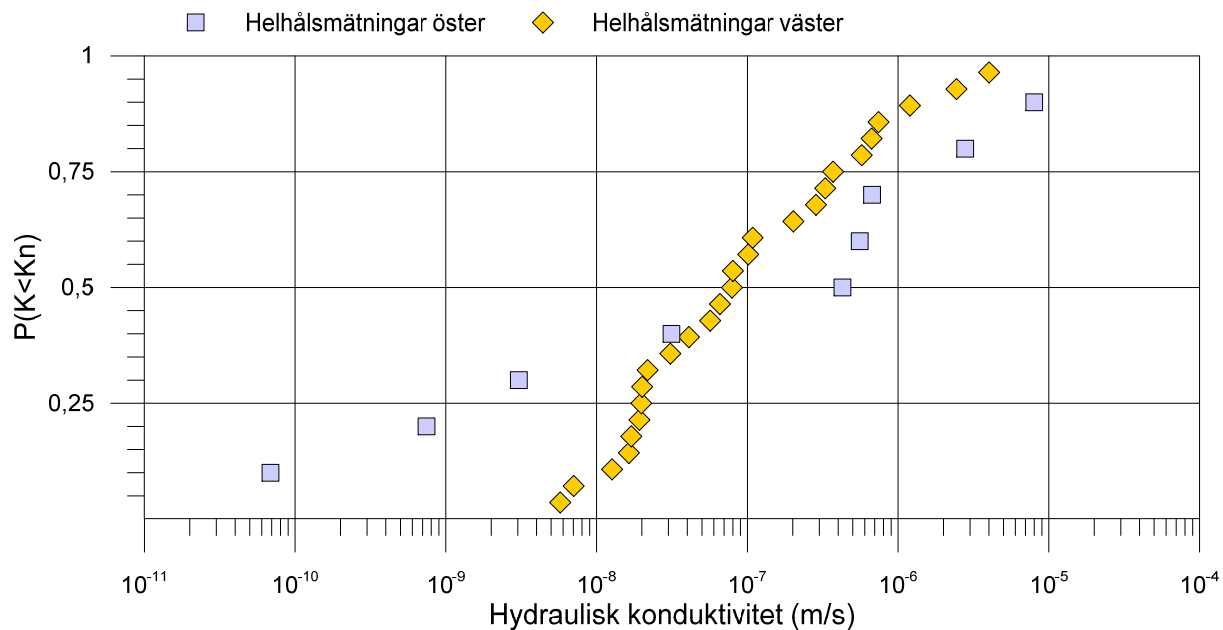
En dålig bergkvalitet medför inte med automatik en hög vattenförande förmåga hos berget, då svaghetszonerna kan vara läkta eller fyllda med lermineral, likaså kan enskilda öppna sprickor ha hög vattenförande förmåga. Ingen entydig koppling av bergets vattenförande förmåga till bergkvaliteten har kunnat göras.

En analys av djupberoende hos hydraulisk konduktivitet visar ett samband mellan djup och genomsläpplighet där det ytliga berget är mer genomsläppligt och det djupa berget mer lågpermeabelt. Dock ligger stor andel av data för sektionsmätningar under mätgräns.

7.4.3 Analys av mätningar i helhållsskala

Borrhållslängden i berg för kärnborrhålen borrade för Västlänken varierar mellan 8 och 182 m, se Tabell 3. Medellängden på testsektionerna för helhållsmätningarna är cirka 50 m och medianlängden cirka 30 m. Eftersom helhållsmätningarna inte kan delas in i ytberg och djupberg på samma sätt som de hydrauliska domänerna, redovisas helhållsmätningarna för berg väster om Mölndalsån i en fördelning och helhållsmätningar öster om Mölndalsån i en fördelning i Figur 16. Med en testsektion i helhållsskala fås en mindre spridning för den hydrauliska konduktiviteten jämfört med 3 m-sektionerna. Mätningarna i berget

öster om Mölndalsån visar en större spridning i hydraulisk konduktivitet jämfört med berget väster om Mölndalsån, se Figur 16. Detta kan förklaras av att borrhålen är längre, se Tabell 11, och därmed fås även längre testsektioner, vilket i sin tur ger en mindre spridning i data. Sammantaget visar Figur 16 och Tabell 11 att det inte föreligger någon signifikant skillnad i berget väster och öster om Mölndalsån om hänsyn tas till längderna på testsektionerna.



Figur 16. Kumulativt fördelningsdiagram (CDF) över hydraulisk konduktivitet från helhålmätningar. Den högst uppmätta konduktiviteten (visas som $8 \cdot 10^{-6}$ m/s) är större än övre mätgräns och kan således vara högre. I figuren inkluderas även data från vattenförlustmätningar i fyra hammarborrhål.

Tabell 11. Statistiska parametrar för hydraulisk konduktivitet (m/s) från helhålmätningar.

Parameter	Samtliga helhålmätningar	Väster	Öster
Geometriskt medelvärde, K_g	8,5E-08	9,4E-08	6,4E-08
Aritmetriskt medelvärde, K_a	6,7E-07	4,3E-07	1,4E-06
Matherons förmodan, K_{3D}	2,3E-07	1,6E-07	6,8E-07
Standardavvikelse, σ_K	1,5E-06	8,7E-07	2,5E-06
Standardavvikelse, $\sigma_{\ln K}$	2,43	1,77	3,77
Mätsträcka, medel (m)	48	53	36
Mätsträcka, median (m)	29	34	25
Mätsträcka, min (m)	8	8	11
Mätsträcka, max (m)	182	182	91

7.5 Analys inläckage i befintliga berganläggningar

Som redovisas i avsnitt 4.3 finns ett antal befintliga berganläggningar från vilka grundvatten bortleds, se Figur 4. Inom ramen för inventeringsarbetet (PM AKF 06-102) har sammanställningar gjorts av tillgänglig information rörande inläckage och grundvattenbortledning. Informationen redovisas översiktligt i Tabell 12.

Tabell 12. Sammanställning av information rörande inläckage/grundvattenbortledning i befintliga berganläggningar (data från PM AKF 06-102).

Berganläggning	Mätning	Vattenbortledning	Observationer	Lägsta dränerande nivå
Bergrum under Skansen Lejonet	Ingen mätning	Infiltration i botten, bortledning via dränering	Fukt och dropp	Cirka +2,5
Götatunneln	13 mätvallar (inkl arbetstunnlar), uppsamlingsbrunn B2	14-26 L/min	Lägen för dropp/rinnandevatten redovisat på ritning	Cirka -39 (lågpunkt i pumpstation DU3)
Befolknings-skyddsrummet Kvarnberget	Pumpdata	1990-talet: 0-33 L/min 2000-2005: 0-12 L/min 2007-2011: 0,4-5,7 L/min	Utpumpat vatten inkluderar även dagvatten, fukt och ställvisa dropp	-5,9
Stadsarkivets bergrum	Ingen mätning	Infiltration i grusbotten, bortledning via dränering	Fukt och ställvisa dropp, lokalt även rinnande vatten	+2,5
Befolknings-skyddsrummet Otterhällan	Pumpdata från 3 spillvattenpumpgropar och 2 dränvattenpumpgropar	Totalt dräneringsflöde inkluderar inläckande grundvatten, dagvatten och spillvatten. Max 18 L/min	Fukt och ställvisa dropp	Olika i olika anläggningsdelar -2,5 till -6,0 (pumpgropar)
Skyddsrum Nedre Fogelbergsgatan	Ingen mätning	-	I princip torrt	+17
Universitetsbibliotekets skyddsrum/arkiv	Ingen mätning	Leds till dräneringsbrunnar	Fukt, ställvisa dropp och lokalt rinnande vatten	+12,1
Chalmers-tunneln, Kringen	Registrering utpumpat vatten	2006-2014: 15-58,7 L/min 2011-2012: medel 25,9 L/min, vilket motsvarar 2,4 L/min 100 m	Lägen för dropp/rinnandevatten redovisat på ritning	+1,1 (pumpgrop) +4 (tunnelbotten)
Gårdatunneln	Inga mätningar, uppskattningar kan göras baserat på pumpdata	Pumpstation: Bedömning inläckande gv 2013: 180 L/min, vilket motsvarar 8,5 L/min 100 m	Utpumpat vatten inkluderar dagvatten och grundvatten. Fukt längs hela tunneln, kraftiga dropp och rinnande vatten lokalt	-7,6 (pumpgrop)
Gårdatunneln, Lisebergs station	Registrerande mätare på pump	Medelvärde övre pumpgrop 0,1 L/min.	Mätning inkluderar både dagvatten och grundvatten. Kraftiga	Pumpgropar på nivåer -4 resp -9

Berganläggning	Mätning	Vattenbortledning	Observationer	Lägst dränerande nivå
		Medelvärde nedre pumpgrop 4,3 L/min	dropp-rinnande vatten i NV stigorten	
Anläggning 206	Två pumpstationer	Medelflöde 1,3 L/min	Information saknas	
Anläggning 509	Inga installationer för mätningar	Inläckande vatten leds till dränering	-	
Anläggning 105	Inga installationer för mätningar	Inga data finns	Information på relationsritningar om områden med mycket inläckage och injektering har använts för tolkning av vattenförande svaghetszoner	
Anläggning 314	Mätvallar där manuella mätningar sker	Genomsnittligt inläckage totalt cirka 70 L/min	Information på relationsritningar om områden med mycket inläckage och injektering har använts för tolkning av vattenförande svaghetszoner	Cirka -70

Information om inläckande vattenmängd till berganläggningar kan ibland användas för att med hjälp av analytiska samband beräkna vilken vattenförande förmåga som berget runt anläggningen har. Antaganden får då göras av i vilken omfattning som utförd tätning har reducerat det naturliga inläckaget.

Ovanstående sammanställning av mätta och bedömda inläckage är behäftade med stora osäkerheter vad avser förutsättningar och i vissa fall datakvalitet. Det bedöms därför inte meningsfullt att göra sådana beräkningar. Däremot används informationen för avstämning av rimligheten i resultat från de beräkningar av inläckage för Västlänkens tunnlar som redovisas i Bilaga 1 till MPU02-50GT-025-00-0006.

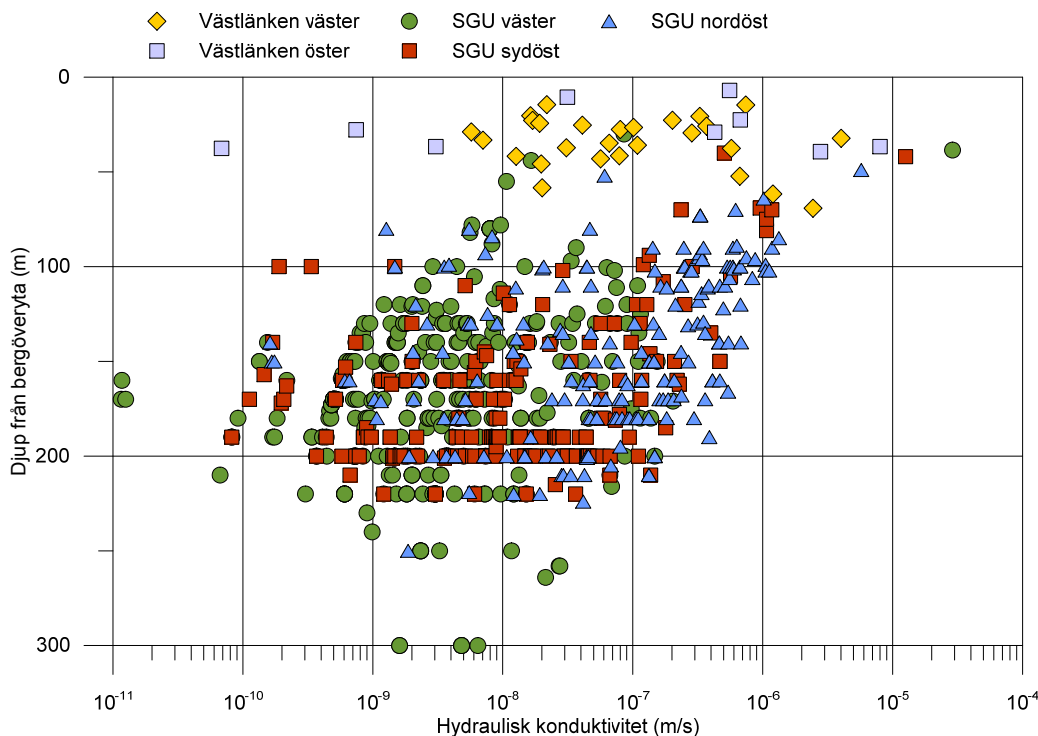
8 Sammanfattning av utförda dataanalyser

8.1 Bergmassans vattenförande förmåga

Bergets vattenförande förmåga har undersökts och analyserats i olika skalor. Resultaten från vattenförlustmätningarna i 3 m-skala är främst användbara vid injekteringsdesign. Resultaten från de större skalorna, så som vattenförlustmätningar i hela och halva borrhålet, specifik kapacitet från brunnsinventering och inläckage till befintliga anläggningar är mer representativa vid beräkning av inläckage till bergtunnlar samt vid beräkning av influensområdets utbredning. De kumulativa fördelningsdiagrammen beskriver sannolikheten för att ett värde på den hydrauliska konduktiviteten över- eller underskrids. Ju mindre skala som analyseras desto större är spridningen av sannolik genomsläpplighet.

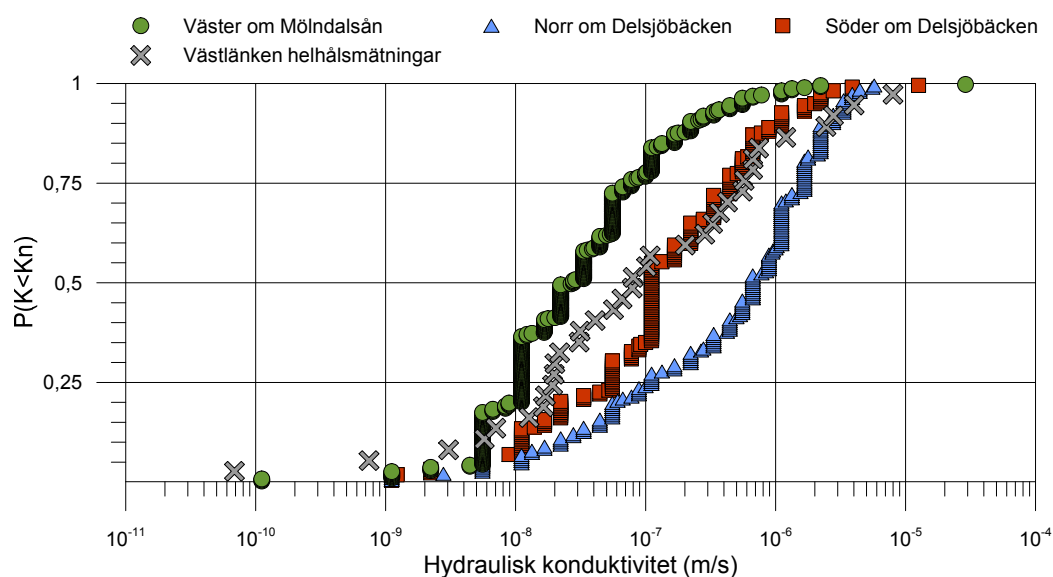
Vid värdering av hydraulisk transmissivitet och konduktivitet beräknad från den specifika kapaciteten i brunnsinventeringen måste hänsyn tas till att det inom de hydrauliska domänerna har konstaterats ett djupberoende för konduktiviteten. Denna observation är i överensstämmelse med studier från andra

områden. De inventerade brunnarna från SGUs arkiv är borrade till ett stort djup, betydligt djupare än den blivande spårtunneln för Västlänken och de kärnborrhål som är borrade för densamma, se Figur 17.



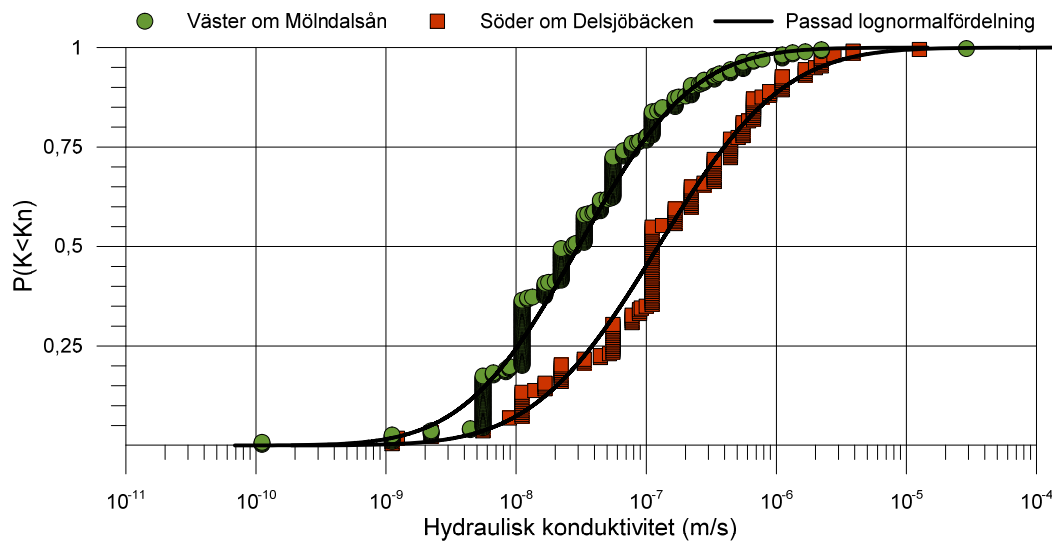
Figur 17. Hydraulisk konduktivitet i Västlänkens kärnborrhål samt i inventerade brunnar, vid antagande om att hela brunnens längd är hydrauliskt aktiv.

Ett antagande kan göras att en större del av det totala vattenflödet till brunnen kommer från den övre delen av borrhålet. Vid antagande om att de övre 40-50 m bidrar med den huvudsakliga vattenmängden erhålls en relativt god överensstämmelse mellan sannolikhetsfördelning för data från kärnborrhål jämfört med SGUs brunnarsdata söder om Delsjöbäcken (SGU sydöst), se Figur 18. Antagande ger dessutom konservativa värden på den hydrauliska konduktiviteten. SGU-data norr om Delsjöbäcken innehåller många extremt höga värden och dessa bedöms inte vara representativa för berget söder om Delsjöbäcken.



Figur 18. Kumulativt fördelningsdiagram (CDF) över hydraulisk konduktivitet beräknat från VFM i kärnborrhål samt från kapacitetsdata i SGUs brunnarsarkiv, med antagande om att de översta 40 m står för huvuddelen av vattenmängden.

Statistiskt kan då berget beskrivas med en lognormalfördelning som passats till SGU-data väster om Mölndalsån samt data för berget söder om Delsjöbäcken enligt Figur 19 och Tabell 13.



Figur 19. Kumulativt fördelningsdiagram (CDF) över hydraulisk konduktivitet med passade lognormalfördelningar.

Tabell 13. Statistiska parametrar för hydraulisk konduktivitet (m/s).

Parameter	Berg väster om Mölndalsån	Berg söder om Delsjöbäcken
Geometriskt medelvärde, K_g	3,0E-08	1,2E-07
Aritmetriskt medelvärde, K_a	1,8E-07	4,3E-07
Matherons förmodan, K_{3D}	4,6E-08	2,0E-07
Standardavvikelse, σ_K	1,5E-06	1,0E-06
Standardavvikelse, $\sigma_{\ln K}$	1,59	1,73

8.2 Vattenförande förmåga inom svaghetszoner

Vid utförandet av såväl hammarborrhål som kärnborrhål har syftet i många fall varit att undersöka bergförhållanden inom prognostiserade svaghetszoner. Såsom beskrevs översiktligt i avsnitt 6.5.3 kunde ingen statistisk korrelation fastställas mellan förekomst av zonberg och högre vattenförande förmåga baserat på analys av vattenförlustmätningarna. Inte heller utförda provpumpningar i hammarborrhål riktade genom prognostiserade svaghetszoner visade på någon hög vattenförande förmåga. I det senare fallet kan anledningen vara att zonerna inte träffats med borrhålen.

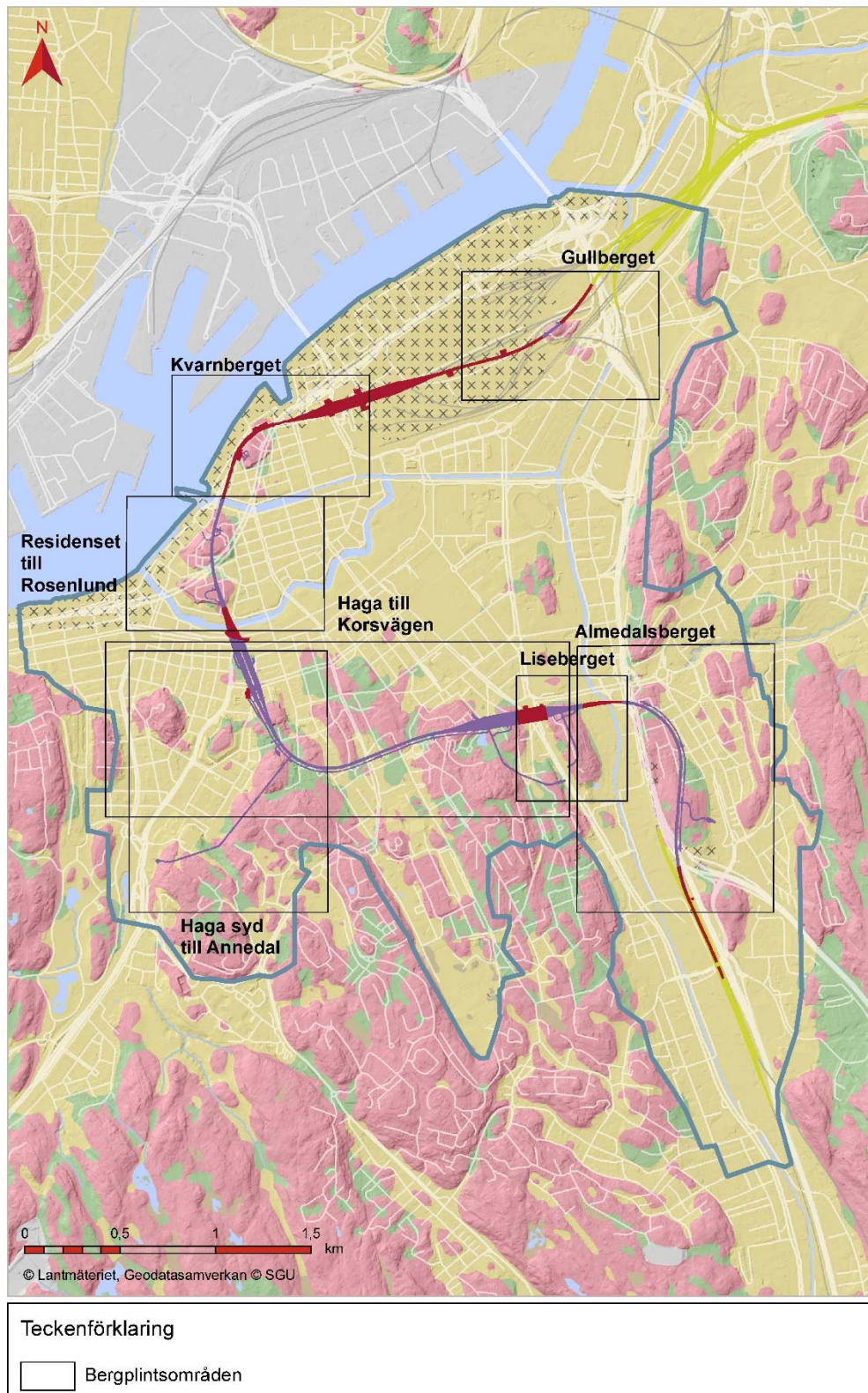
En del SGU-brunnar uppvisar anmärkningsvärt hög kapacitet, upp till 50 000 L/tim i några enstaka fall vid Överås, se Tabell 8 och Figur 11. Sannolikt svarar dessa höga kapaciteter mot svaghetszoner, men nödvändig information saknas för att göra några tolkningar av data.

För vattenförlustmätningarna finns data från några testsektioner med mycket höga konduktiviteter. Ingen av dessa representerar dock karterade zoner, utan bara en eller ett fåtal enskilda sprickor.

En bedömning, som i dagsläget följaktligen inte kunnat verifieras, är att det längs Västlänken förekommer svaghetszoner med hög vattenförande förmåga. För beräkningar av inläckage till bergtunnlar måste värden på vattenförande förmåga inom zoner väljas utifrån generella erfarenhetsmässiga bedömningar.

9 Områdesvisa beskrivningar

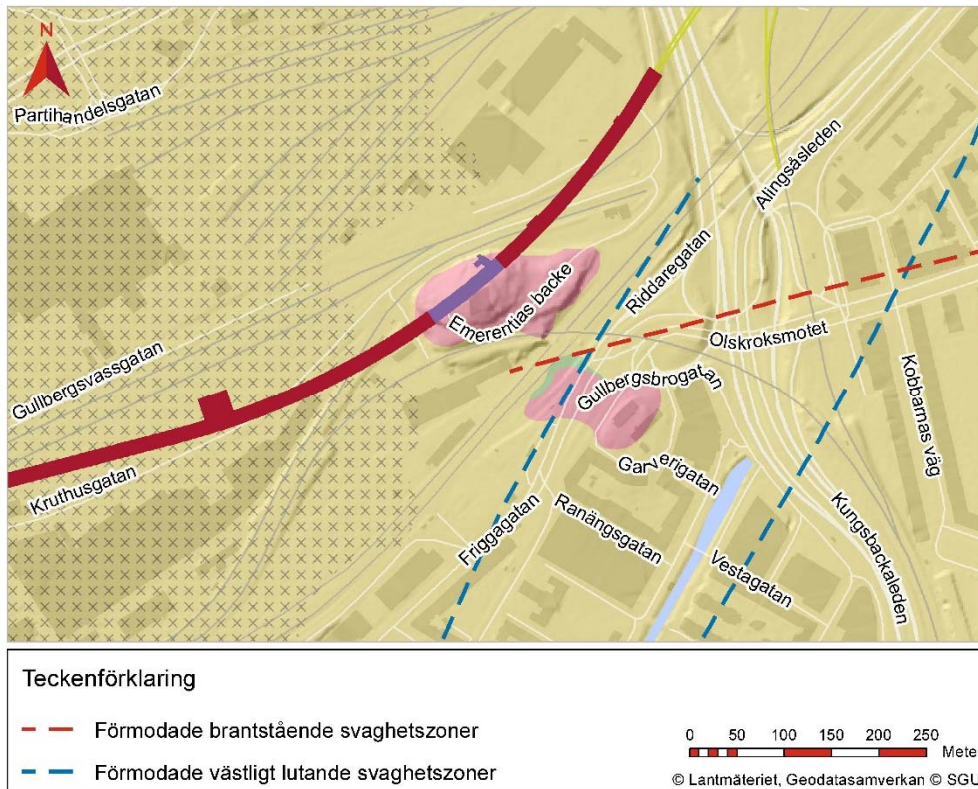
I detta kapitel redovisas en samlad bild av de hydrogeologiska förhållandena i berggrunden uppdelat på olika bergplintsområden enligt Figur 20. Inom varje avsnitt redovisas först en sammanfattning av den information som samlats in, innan den integrerade tolkningen av förhållandena görs.



Figur 20. Bergplintsområden för beskrivning av hydrogeologiska förhållanden i berg.

9.1 Gullberget

Gullberget utgör en över omgivningen uppstickande bergplint med en längd av cirka 120 m, där det gamla befästningsverket Skansen Lejonet är anlagt, se Figur 21. Gullbergets högsta nivåer ligger på cirka +21. Jorddjupen inom omgivande mark med nivåer omkring +2 uppgår till cirka 20-40 m.



Figur 21. Gullberget.

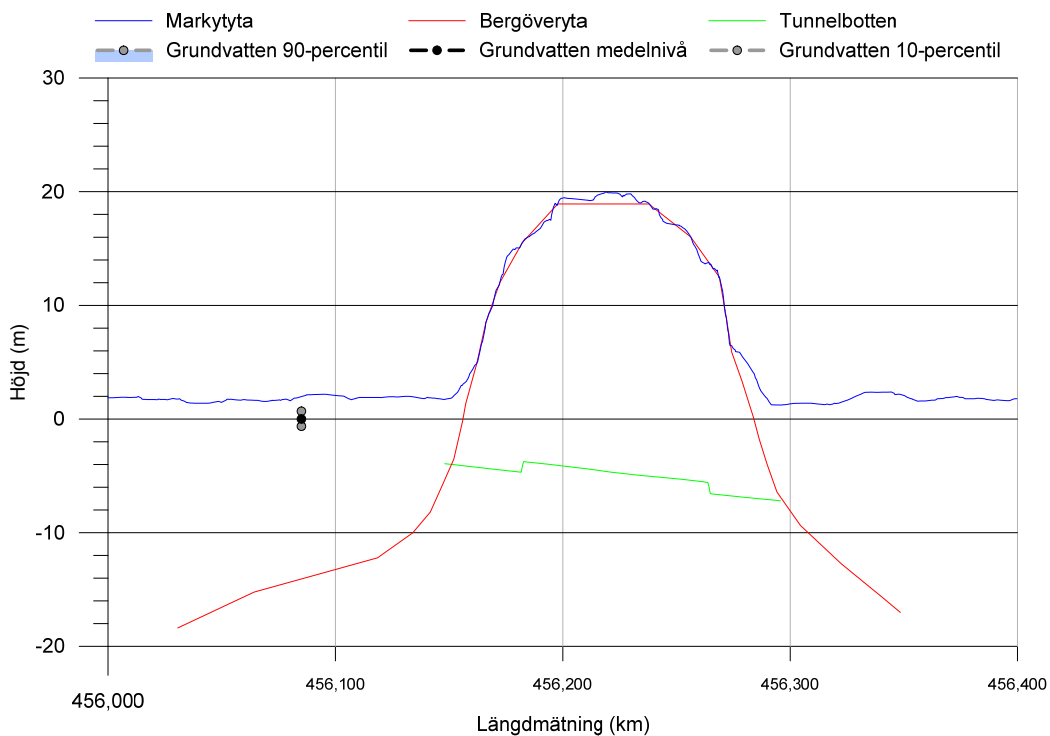
Utförd yt- och linjekartering på Gullberget (Trafikverket, 2013) visar på två dominerande brantstående sprickgrupper SG1 ($295 \pm 20 / 85 \pm 15$) och SG2 ($15 \pm 15 / 80 \pm 15$). Inga större svaghetszoner som förväntas skära genom bergplinten har identifierats vare sig vid ytkartering eller vid besiktning av synligt berg i befintlig undermarksanläggning. Inga bergborrhål har utförts i Gullberget. Mindre inläckage och dropp förekommer i anläggningen men inte koncentrerat till några speciella områden eller sprickriktningar.

Söder och öster om Gullberget förväntas svaghetszoner i berget under jordlagren.

Inga lokala hydrogeologiska data för berggrunden finns från detta område. Även uppgifter om grundvattennivåer i berg inom bergplinten saknas. Sannolikt påverkar den befintliga berganläggningen grundvattennivåerna, så att dessa ligger lågt inom bergplinten.

Den vattenförande förmågan bedöms kunna beskrivas enligt Tabell 13, kolumn "Berg väster om Mölndalsån".

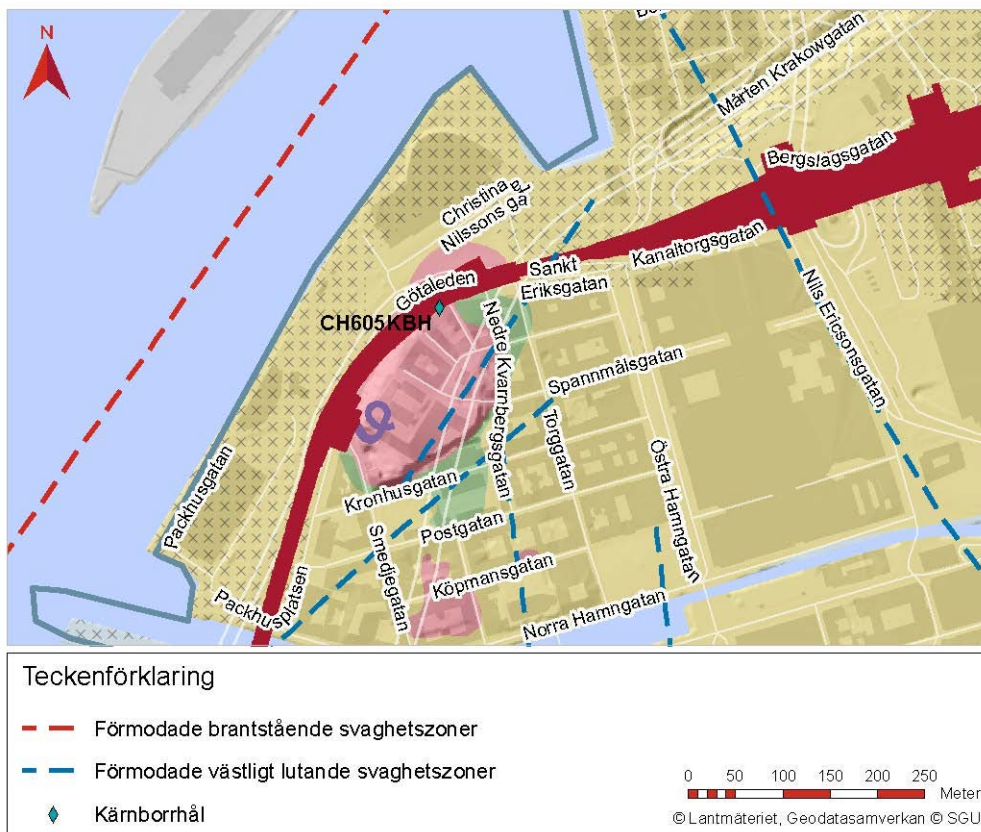
En profil längs bergtunneln visas i Figur 22, där även grundvattennivå redovisas för en observationspunkt i berg.



Figur 22. Profil längs bergtunneln genom Gullberget samt grundvattennivå i en observationspunkt i berg inom 100 m på ömse sidor av tunneln.

9.2 Kvarnberget

Kvarnberget utgör en bergplint med högsta nivåer cirka +8. Jorddjupen runt Kvarnberget uppgår i allmänhet till omkring 30 m. Ett kärnborrhål, CH605KBH, har utförts vid Kvarnberget, se Figur 23. Ytkartering utförd ovan och under mark inom Kvarnberget visar tre huvudsprickgrupper, en flackt stupande längs bergets foliation, SG1 ($205 \pm 20 / 30 \pm 15$), och två brantstående grupper, SG2 ($355 \pm 15 / 70 \pm 15$) respektive SG3 ($100 \pm 20 / 90 \pm 10$). Tolkad strukturgeologi från utförda undersökningar stämmer väl överens med information från inventerat material från projekt Götatunneln. Inga svaghetszoner karterades i kärnan för utfört kärnborrhål.



Figur 23. Kvarnberget.

Bergkartering har utförts i såväl Götatunneln som i befolkningsskyddsrummet Kvarnberget. Tolkningen av denna kartering samt data från äldre kärnbrorrhål visar på förekomst av några svaghetszoner i foliationens riktning. Information från befintliga berganläggningar indikerar förekomst av NO-SV sprickor med mer omfattande vattenföring.

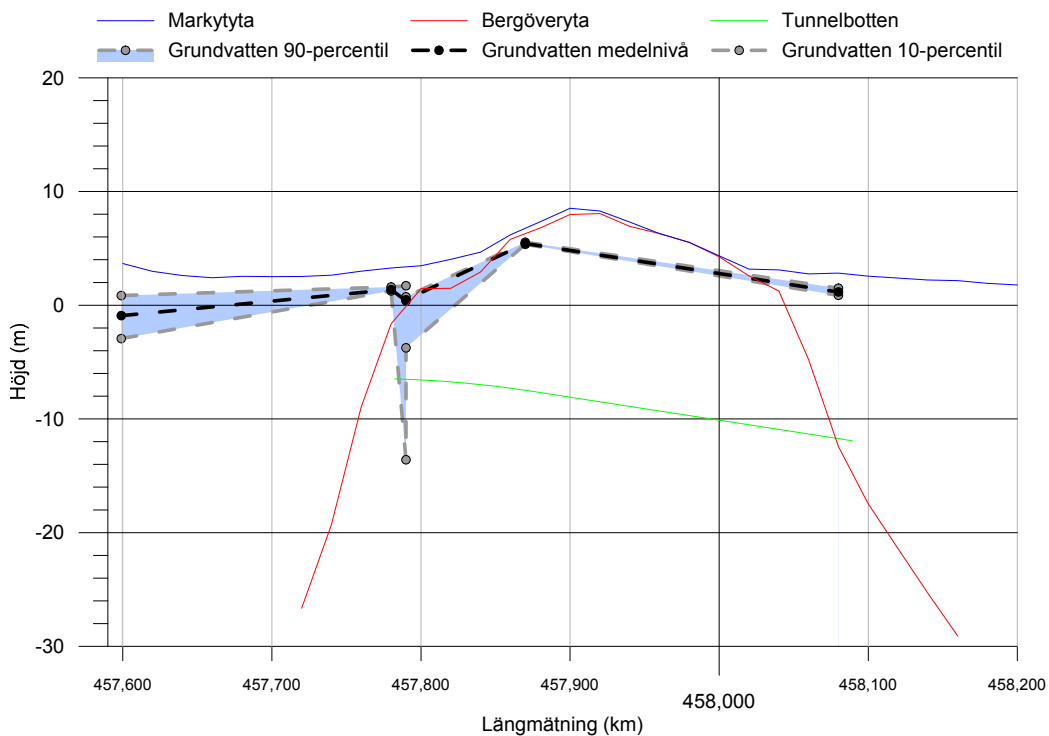
Information från Götatunneln visar på förekomst av svaghetszoner kring riktning NO-SV.

Kvarnberget påverkas hydrauliskt av både Götatunneln och Kvarnbergets befolkningsskyddsrum, genom dessas dränerande effekt. Sannolikt är grundvattentrycken i berget därför delvis avsänkta i förhållande till de ursprungliga, se exempelvis grundvattennivån vid längdmätning km 457+800 i Figur 24.

Kärnbrorrhålet CH605KBH visar en konduktivitet på omkring $4 \cdot 10^{-8}$ m/s i borrhålsskala.

Den vattenförande förmågan bedöms kunna beskrivas enligt Tabell 13, kolumn "Berg väster om Mölndalsån".

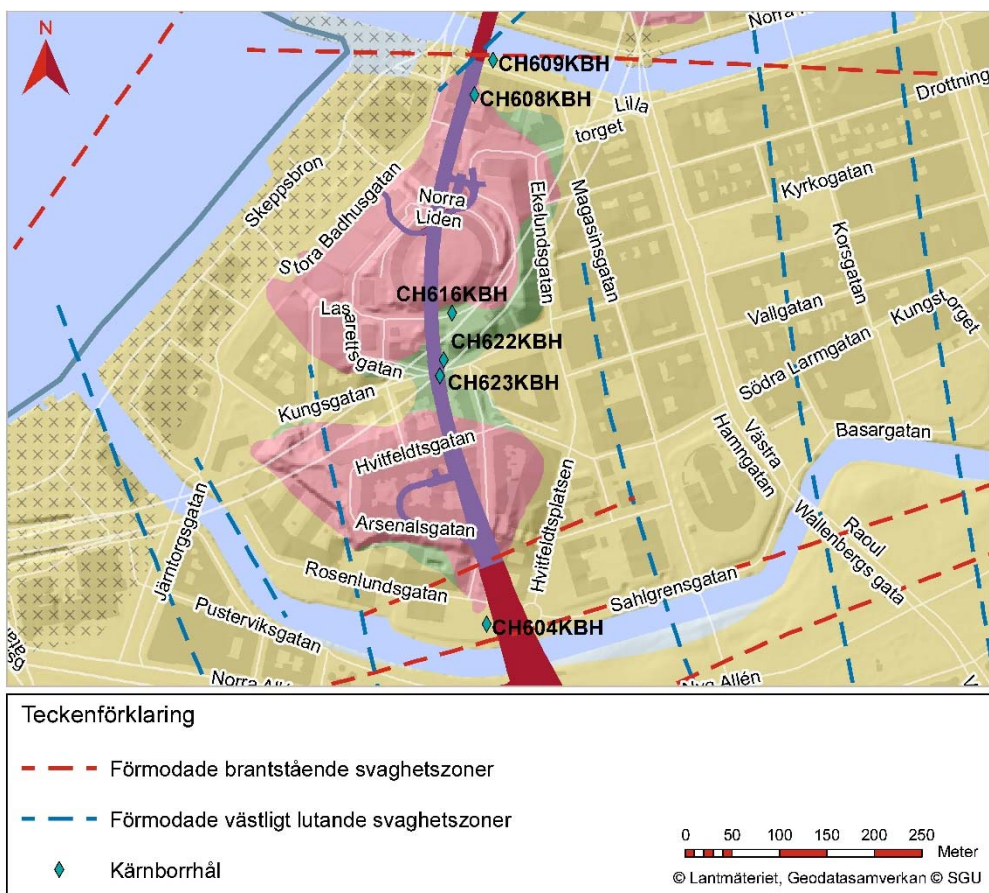
Utgående från extrapolation av gjorda observationer i befintliga undermarksanläggningar och sprickkartering görs bedömningen att Västlänkens tråg kan korsas av stråk med möjlig förekomst av vattenförande svaghetszoner inom den södra delen mot Stora Hamnkanalen.



Figur 24. Profil längs betongtunneln genom Kvarnberget samt grundvattennivåer i observationspunkter i berg inom 100 m på ömse sidor av tunneln.

9.3 Residenset till Rosenlund

Området omfattar Västlänkens sträckning från Stora Hamnkanalen under Otterhällan fram till Rosenlundskanalen, det vill säga området inom Vallgraven, se Figur 25. Marknivåerna ligger omkring +2 vid de båda kanalerna och som högst omkring +30 vid Otterhällan. Vid Kungsgatan bryts bergplinten av ett så kallat yxhugg med lägre bergyttenivå och lokalt större jorddjup innan marknivåerna åter blir högre, cirka +20, vid Arsenalsgatan.



Figur 25. Residenset till Rosenlund.

Information om berggrunden finns från besiktningar och sammanställning av geologisk information från ett flertal berganläggningar. Dessutom har sex kärnbrorhåll borrats inom ramen för arbetet med systemhandlingen för Västlänken, CH608KBH, CH609KBH, CH616KBH, CH622KBH, CH623KBH och CH604KBH. I utförd analys av sprickorienteringar har även kärnbrorhåll från Götatunneln utnyttjats. En strukturgeologisk analys av information från yt- och linjekarteringar ovan och under mark samt från kärnbrorhållen visar förutom slumpmässigt orienterade sprickor två sprickgrupper, en grupp SG1 längs bergets foliation ($180 \pm 20 / 45 \pm 15$) samt en grupp SG3 ($290 \pm 20 / 90 \pm 15$).

Tolkad strukturgeologi från utförda undersökningar stämmer väl överens med information från inventerat material från projekt Götatunneln.

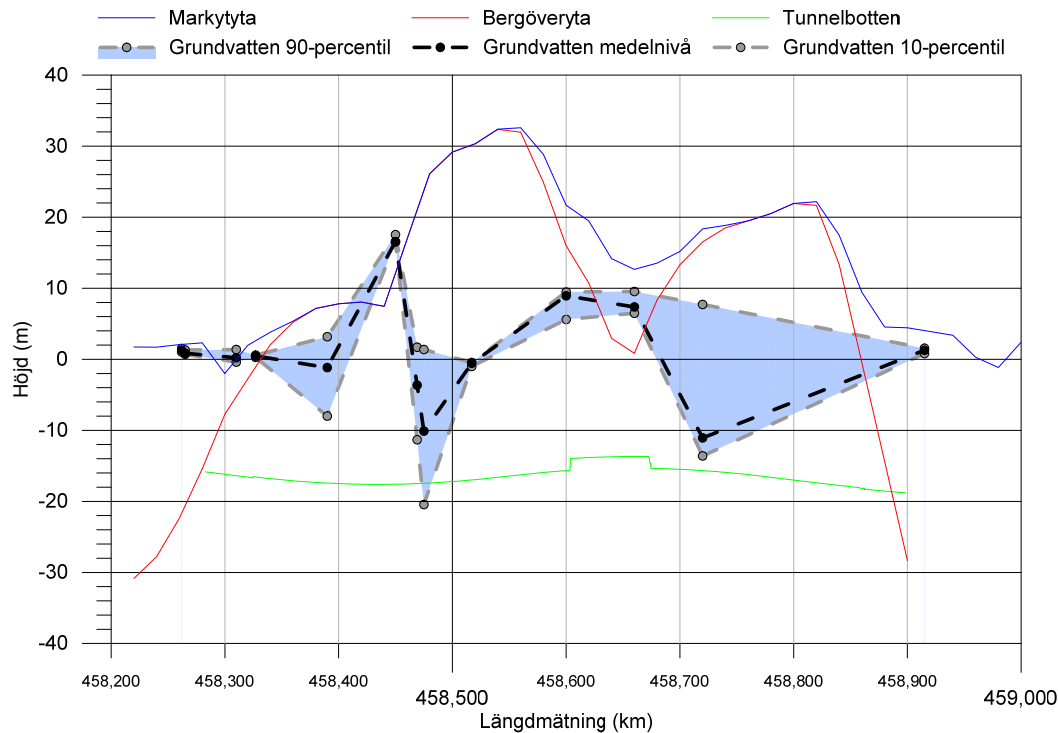
I kärnorna för CH608KBH och CH609KBH i norra delen av området noterades inga svaghetszoner. I de tre kärnbrorhållen i den mellersta delen av sträckan liksom i undermarksanläggningarna har dock ett antal smala svaghetszoner noterats. Den storskaliga riktningen på zonerna sammanfaller med foliationsriktningen. I det södra kärnbrorhålet CH604KBH karterades inga svaghetszoner.

Flera avsnitt med mer vattenförande berg prognosticeras på sträckan baserat på information om inläckage i befintliga berganläggningar. Sprickorna inom dessa avsnitt är orienterade antingen nära N-S eller kring O-V. Brantstående svaghetszoner med riktning VSV-ONO förväntas förekomma söder om berget vid Rosenlundsgatan.

Området innanför Vallgraven är hydrauliskt påverkat av flera dränerande berganläggningar, vilket bedöms ha betydande effekt på grundvattensituationen. Grundvattennivåer i berg inom en radie om 100 m från tunneln, redovisat i Figur 26, är avsänkta i anslutning till Kungsgaraget och Otterhällans skyddsrum.

Vattenförlustmätningar har utförts i sex kärnborrhål inom ramen för arbetet med Västlänken, med konduktiviteter i intervallet $1 \cdot 10^{-8}$ - $2 \cdot 10^{-7}$ m/s, i borrhålsskala. Inga nya hammarborrhål har utförts på sträckan. Däremot har ett flertal hammarborrhål utförts i tidigare utredningar, vilka visar på låga transmissiviteter. Provpumpningar i brunnar i Otterhällans skyddsrum och vattenförlustmätningarna i kärnborrhålen indikerar måttlig vattenförande förmåga.

Den vattenförande förmågan bedöms kunna beskrivas enligt Tabell 13, kolumn "Berg väster om Mölndalsån".



Figur 26. Profil längs bergtunneln från Residenset till Rosenlund samt grundvattennivåer i observationspunkter i berg inom 100 m på ömse sidor av tunneln.

9.4 Haga till Korsvägen

Området längs sträckan mellan Hagakyrkan och Korsvägen är generellt höglänt med marknivåer mellan +20 och +50, och domineras av berg i dagen och ett antal sedimentfyllda dalgångar i VNV-OSO riktning. Norr om Västlänkens sträckning dominerar flack topografi och stora jorddjup. Väster om planerad Station Haga finns inom influensområdet ett par högre bergområden (Skansberget och Nilssonsberg) och väster om Linnégatan ytterligare ett höjdområde, se Figur 27.

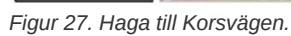
Flera sekretessbelagda undermarksanläggningar finns inom området, från vilka det finns dokumenterade geologiska förhållanden. Kärnborrhål har utförts huvudsakligen närmast stationslägen, men även för att undersöka förekomst av svaghetszoner inom andra delar av området. Data för den strukturgeologiska tolkningen utgår från kartering av åtta kärnborrhål samt ytkartering ovan och under mark samt linjekartering ovan mark. Sprickstatistiken visar förutom slumpmässigt orienterade sprickor två sprickgrupper SG1 ($160 \pm 20 / 45 \pm 15$) och SG3 ($80 \pm 20 / 90 \pm 15$). Den förstnämnda gruppen överensstämmer med riktningen på bergets foliation.

De fyra kärnborrhålen som borrar mellan Sprängkullsgatan och Haga kyrkogata uppvisar ett fåtal svaghetszoner, den bredaste är cirka 1 m, övriga betydligt smalare.

Inom bergområdet SV om Korsvägen visar den ingenjörsgelogiska prognosen för servicetunnel Korsvägen (Trafikverket, 2014c) på två dominerande sprickgrupper, SG1 ($140 \pm 30 / 60 \pm 15$) och SG2 ($310 \pm 20 / 35 \pm 15$). Den förstnämnda sprickgruppen följer bergets foliation.

Utförda kärnborrningar har identifierat ett antal mindre svaghetszoner samt en större zon. Den större zonen följer foliationen i området.

Utförda struktureologiska tolkningar av svaghetszoner, huvudsakligen baserat på information från befintliga undermarksanläggningar, indikerar flera svaghetszoner tvärs planerat läge för Station Haga. Dessutom visar tillgänglig information på förekomst av flera västligt stupande NNV-SSO-liga svaghetszoner i området mellan Hagakyrkan och Skansberget. Längre österut, i anslutning till topografiska svackor kring Karl Gustavsgatan respektive Aschebergsgatan, har västligt stupande svaghetszoner tolkats med ungefärlig riktning NNV-SSO. Även längs Södra vägen förväntas en motsvarande svaghetszon som grenar sig norr om Korsvägen.

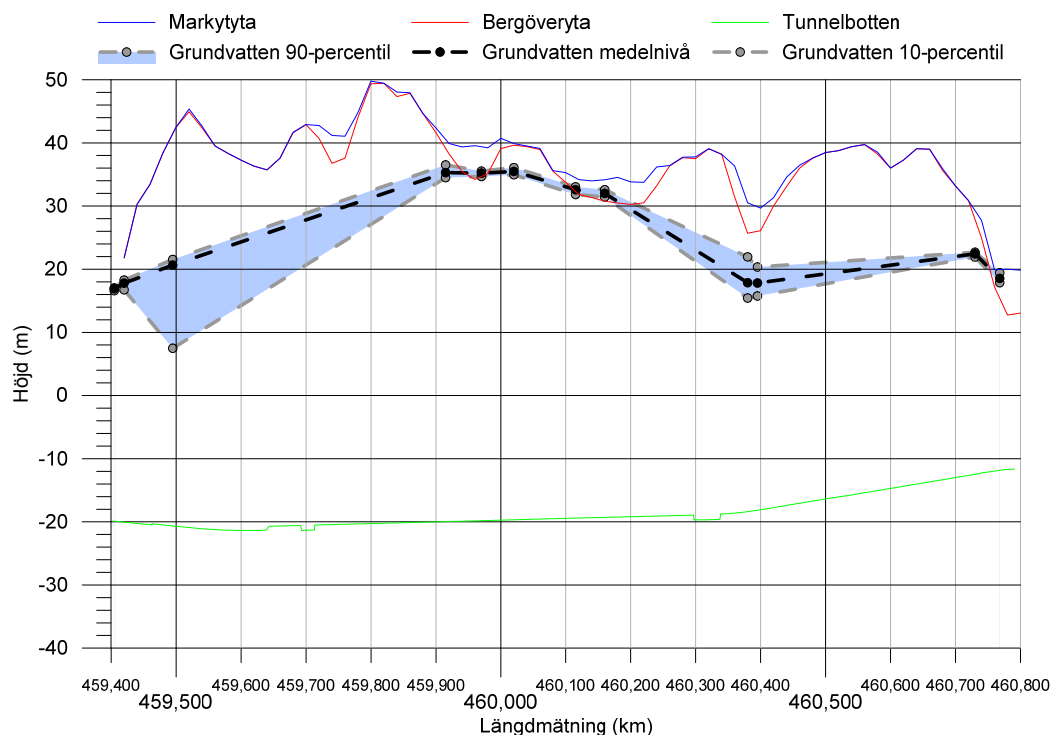


Vattenförlustmätningarna i kärnborrhålen vid Station Haga visar på konduktiviteter i intervallet $2 \cdot 10^{-9}$ - $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, i borrhålsskala.

Längs den långa bergtunnelsträckan mellan Station Haga och Korsvägen har ett antal breda stråk med möjliga svaghetszoner tolkats baserat på information från kartering och befintliga berganläggningar. Flera hammarborrhål har utförts för att studera prognostiserade svaghetszoner. Inget av hålen har dock med tydlighet genomborrat någon zon. Transmissiviteterna är generellt låga och bedöms därför representera normalberget mellan eventuella zoner. Korttidspumpningarna efter utförda stimuleringar visade på transmissiviteter i intervallet $3 \cdot 10^{-7}$ till $5 \cdot 10^{-6}$ m²/s för hållängder mellan 52 och 76 m. Detta motsvarar genomsnittliga konduktiviteter mellan $0,4$ - $8 \cdot 10^{-8}$ m/s i borrhålsskala. Vattenförlustmätningarna i kärnborrhålen visar på konduktiviteter i intervallet $6 \cdot 10^{-9}$ - $3 \cdot 10^{-6}$ m/s, i borrhålsskala. En energibrunnsanläggning är belägen rakt ovanför tunneln och visar på mycket låga specifika kapaciteter.

Den vattenförande förmågan bedöms kunna beskrivas enligt Tabell 13, kolumn "Berg väster om Mölndalsån".

Grundvattennivån i berg inom en radie om 100 m från tunneln redovisas tillsammans med en profil av bergtunneln från Haga till Korsvägen i Figur 28.



Figur 28. Profil längs bergtunneln från Haga till Korsvägen samt grundvattennivåer i observationspunkter i berg inom 100 m på ömse sidor av tunneln.

9.5 Haga syd till Annedal

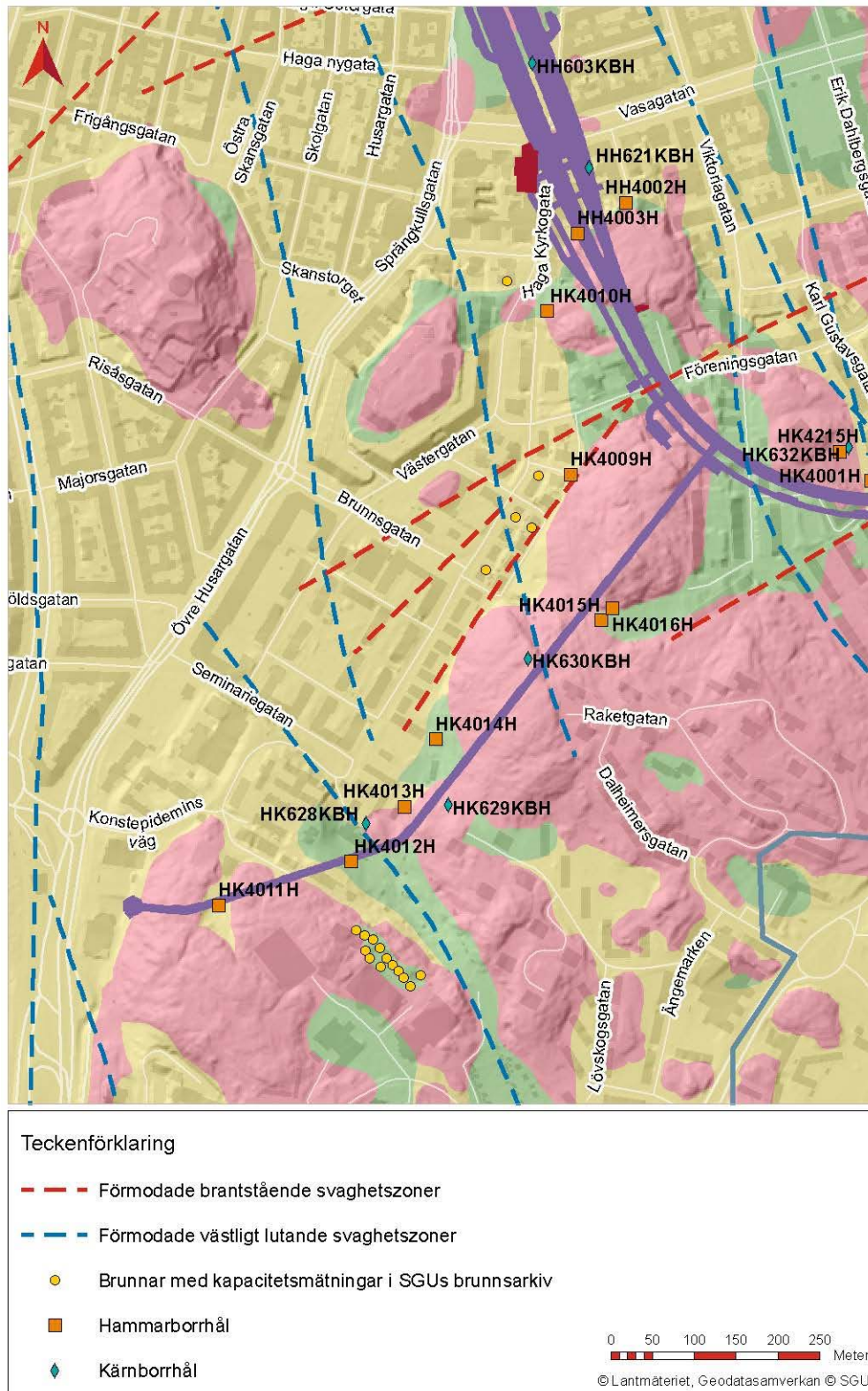
Området längs planerad servicetunnel Haga utgörs av ett höglänt område med stor omfattning av berg i dagen och marknivåer mellan +20 och +76, se Figur 29. Väster om bergsområdet ligger Annedal med marknivåer på cirka +16 och jorddjup på omkring 10 m. Ett par kärnborrhål har borrats i områdets södra del och ett flertal hammarborrhål har även utförts längs planerad tunnelsträcka. Flera sekretessklassade berganläggningar finns i området.

Strukturgeologisk information härrör från linje- och ytkartering ovan mark, från utförda kärnborrhål samt från linjekartering under mark i befintliga berganläggningar. Den ingenjörsgelogiska prognosen visar på ett antal mindre svaghetszoner på sträckan samt en större zon, i området kring Konstepidemin, se Figur 29. Riktningen på dominerande sprickor inom svaghetszonen är NNV-SSO men berget är allmänt sönderkrossat. Bergarten är en breccia.

Sammanställningar av sprickdata från utförd kartering visar för områdets södra del på två sprickgrupper SG1 ($165\pm 25/35\pm 20$) och SG2 ($340\pm 20/45\pm 15$). Dessutom förekommer slumpmässigt orienterade sprickor. Den första sprickgruppen följer bergets foliation.

Inom den norra delen av området har endast en urskiljbar sprickgrupp $165\pm 25/70\pm 15$, vilken följer foliationen, identifierats. Övriga sprickriktningar betraktas som slumpmässiga.

Ett par västligt stupande svaghetszoner med strykning kring NV-NNV förväntas på tunnelsträckan. Väster om bergområdet förväntas flera brantstående svaghetszoner under jordlagren.



Figur 29. Haga syd till Annedal.

På sträckan finns ett par dränerande berganläggningar som kan förväntas påverka grundvattenförhållandena lokalt. Grundvattennivåer i berg har mätts i sju borrhål.

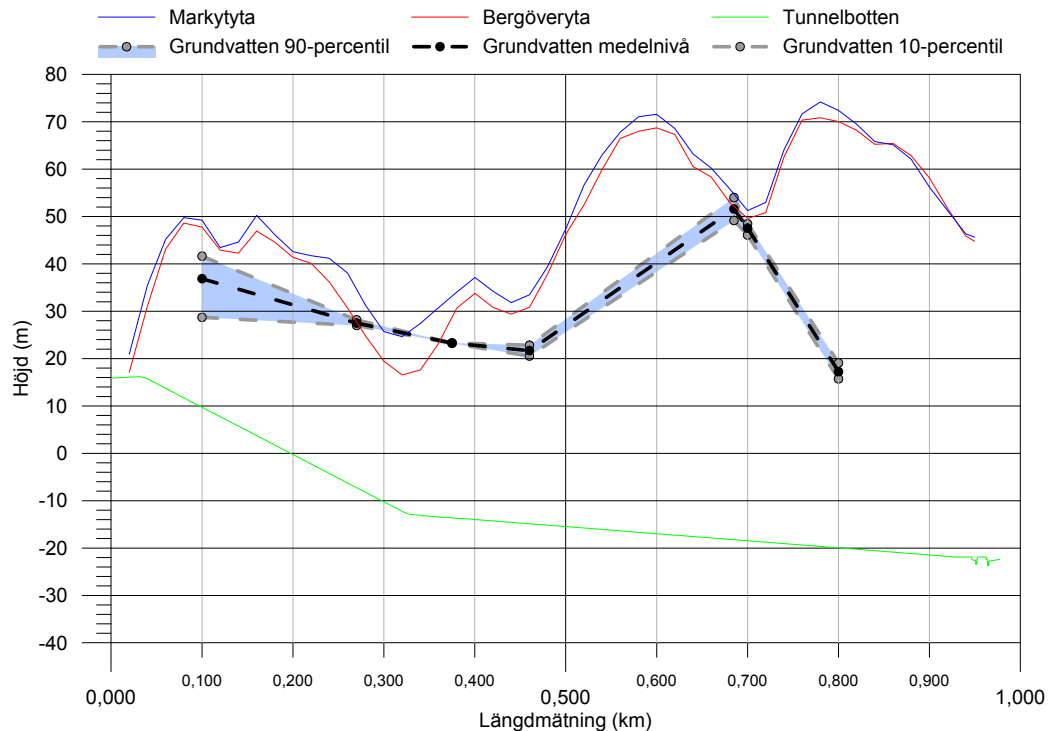
De sex hammarborrhål som utförts har visat på låg vattenförande förmåga i berget. Medianvärdet på specifik kapacitet är $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, vilket indikerar en genomsnittlig hydraulisk konduktivitet i borrhålsskala lägre än

10^{-8} m/s. Inga vattenförande svaghetszoner har genomborrats i dessa fall. Ett antal energibrunnar med låg specifik kapacitet finns borrade i området.

Tre kärnborrhål har borrats i vilka vattenförlustmätningar utförts. Resultaten visar på stor spridning i hydraulisk konduktivitet: $1 \cdot 10^{-8}$ - $7 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Den vattenförande förmågan bedöms kunna beskrivas enligt Tabell 13, kolumn "Berg väster om Mölndalsån".

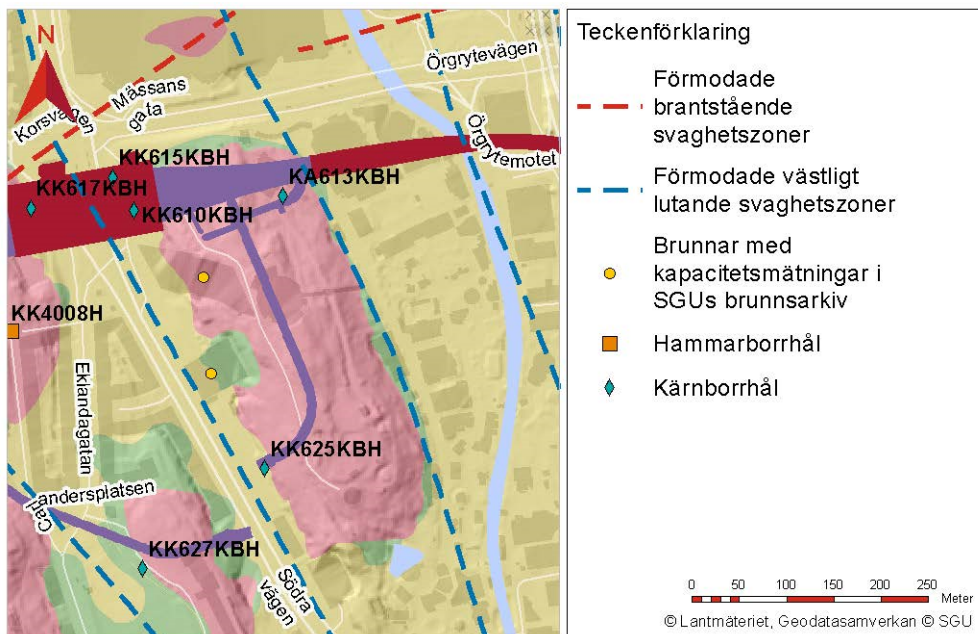
Grundvattennivån i berg inom en radie om 100 m från tunneln redovisas tillsammans med en profil av servicetunnel Haga i Figur 30.



Figur 30. Profil längs bergtunneln från Haga syd till Annedal samt grundvattennivåer i observationspunkter i berg inom 100 m på ömse sidor av tunneln.

9.6 Liseberget

Området söder om Örgrytevägen mellan Korsvägen och Mölndalsåns dalgång utgörs av ett bergområde där de västra delarna av nöjesfältet Liseberg ligger, se Figur 31. Marknivåerna ligger mellan +10 och +19. Inom det flacka området norr om Örgrytevägen varierar marknivåerna mellan +2 och +7. Åt väster avgränsas området av den jordtäckta sänkan längs Södra Vägen. Information om bergförhållanden och sprickriktningar har erhållits från några kärnborrhål samt från yt- och linjekartering av berg i dagen.



Figur 31. Liseberget.

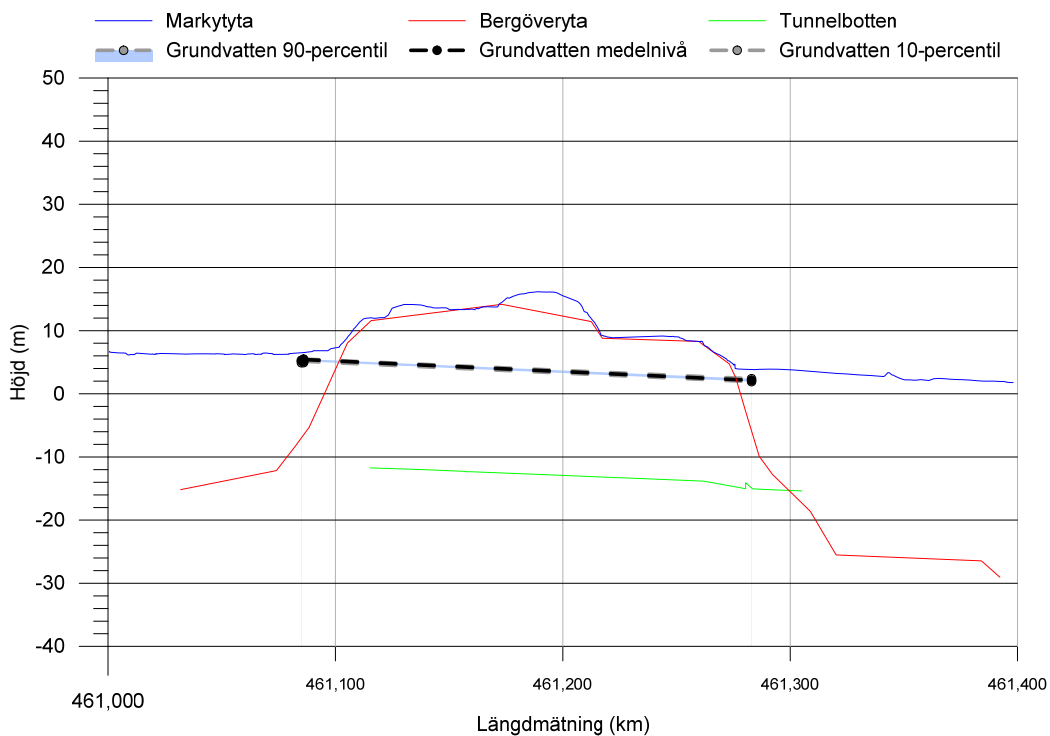
Den ingenjörsgelogiska prognosen för spårtunneln (Trafikverket, 2013) redovisar tre dominerande sprickriktningar; SG1 längs foliationen ($170 \pm 20 / 45 \pm 15$), SG2 ($350 \pm 20 / 50 \pm 15$) och SG3 ($85 \pm 20 / 85 \pm 15$). Den ingenjörsgelogiska prognosen för servicetunnel Liseberget (Trafikverket, 2014b) redovisar SG1 som $155 \pm 20 / 50 \pm 15$, SG2 som $330 \pm 20 / 60 \pm 15$ och SG3 som $270 \pm 20 / 90 \pm 15$.

Svaghetszoner i riktning NNV-SSO förväntas på ömse sidor av Liseberget.

I Liseberget har tre kärnborrhål utförts för att undersöka bergförhållandena. Vattenförlustmätningar från kärnborrhålen visar konduktiviteter i intervallet $3 \cdot 10^{-8}$ - $4 \cdot 10^{-6}$ m/s, i borrhålsskala. Två energibrunnsanläggningar med totalt 31 brunnar finns i närheten. Dessa uppvisar specifika kapaciteter omkring $8 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

Den vattenförande förmågan bedöms kunna beskrivas enligt Tabell 13, kolumn "Berg väster om Mölndalsån".

Grundvattennivån i berg inom en radie om 100 m från tunneln redovisas tillsammans med en profil av tunneln i Figur 32.



Figur 32. Profil över bergtunneln genom Liseberget samt grundvattennivåer i observationspunkter i berg inom 100 på ömse sidor av tunneln.

9.7 Almedalsberget

Almedalsberget sträcker sig från Örgrytemotet i norr till Kallebäcksmotet i söder och avgränsas i väster av Mölndalsåns dalgång längs vars östra sida E6 går i N-S riktning på nivå cirka +1-4. Marknivåer inom Almedalsberget uppgår till mellan +12 och +34, med de högsta nivåerna i den södra delen. Mot öster flackar topografin ut till nivåer kring +4 mot Sankt Sigfridsgatan, se Figur 33.



Figur 33. Almedalsberget.

Information om strukturgeologiska förutsättningar kommer från tre kärnborrhål, utförd yt- och linjekartering av berg i dagen samt från besiktningsinformation från Gårdatunneln. Även ett antal hammarborrhål har utförts inom området. I den ingenjörsgelogiska prognosen för spårtunneln (Trafikverket, 2013) framgår att, förutom slumpmässigt orienterade sprickor, två sprickgrupper kan identifieras, SG1 längs foliationen ($165 \pm 20 / 35 \pm 15$) och SG3 ($80 \pm 20 / 85 \pm 15$).

Den ingenjörsgelogiska prognosen för servicetunnel Skår (Trafikverket, 2014a) redovisar tre identifierade sprickgrupper, SG1 ($155 \pm 20 / 35 \pm 15$), SG2 ($355 \pm 20 / 70 \pm 15$) och SG3 ($70 \pm 20 / 85 \pm 15$). Svaghetszoner karterade i borrhälen för KA624KBH visar endast på mycket smala svaghetszoner ($< 0,3$ m).

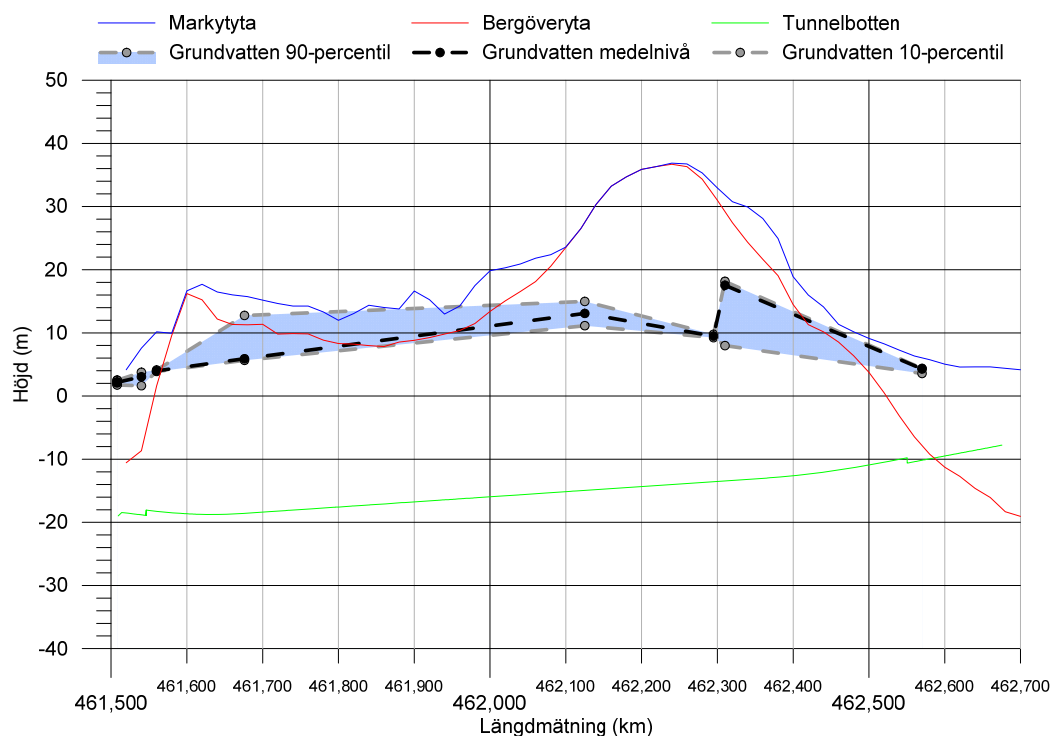
Västligt stupande svaghetszoner förväntas såväl väster om berget längs Mölndalsåns dalgång, i den så kallade Göta älvsförkastningen, som öster om berget.

Genom Almedalsbergets västra del går Gårdatunneln, vilken antas ha en dränerande effekt på bergmassan. Grundvattennivån i berg inom en radie om 100 m från tunneln redovisas tillsammans med en profil av tunneln i Figur 34.

Vattenförlustmätningar har utförts i fyra kärnborrhål och fyra hammarborrhål inom ramen för arbetet med Västlänken, med konduktiviteter i intervallet $7 \cdot 10^{-11}$ - $8 \cdot 10^{-6}$ m/s, och där hälften av mätningarna i helhållsskala antingen har återfunnits i det lägre intervallet och andra hälften i det övre intervallet. Borrhålen inom detta område är relativt korta jämfört med övriga borrhål utförda för Västlänken. Flera djupa energibrunnar finns inom området, vilka visar höga kapaciteter. I ett hammarborrhål i området finns uppgifter om specifik kapacitet på cirka $7 \cdot 10^{-5}$ m²/s, vilket dock bedöms representera en kombinerad vattenförande förmåga i jordlagren och i berget.

Den vattenförande förmågan bedöms kunna beskrivas enligt Tabell 13, kolumn "Berg söder om Delsjöbäcken".

Data från brunnsarkivet indikerar att den sannolikt finns vattenförande svaghetszoner i området, men nödvändig information saknas för att göra en mer noggrann tolkning av data.



Figur 34. Profil längs bergtunneln genom Almedalsberget samt grundvattennivåer i observationspunkter i berg inom 100 m på ömse sidor av tunneln.

10 Referenser

- Bergab (1999a). *Kringen tunnel Södra Vägen – Chalmers. Tekniskt PM, Geohydrologi.*
- Bergab (1999b). *Kringen tunnel Södra Vägen – Chalmers. RHydro, Geohydrologi.*
- Dahlström, L-O & He, J (1992). *Interpretation of in-situ stresses at the Röda Sten Rock*
- Gustafson, G (2009). *Hydrogeologi för bergbyggare.* Stockholm: Formas
- Heidbach, O, Tingay, M, Barth, A, Reinecker, J, Kurfeß, D, & Müller, B (2008). *The World Stress Map. Database release 2008 doi:10.1594/GFZ.WSM.Rel2008*
- Sweco VIAK (1995). *Väg 45, Götatunneln. Hydrogeologisk utredning.*
- Sweco VIAK (2006). *Provpumpning av bergbrunnar i Kvarnberget och Kungsgaraget.*
- Trafikverket (2013). *PM F 06 - 002 Ingenjörsgelogisk prognos.*
- Trafikverket (2014a). *PM F 06 - 009 Ingenjörsgelogisk prognos – Servicetunnel Skår.*
- Trafikverket (2014b). *PM F 06 - 010 Ingenjörsgelogisk prognos – Servicetunnel Liseberget.*
- Trafikverket (2014c). *PM F 06 - 011 Ingenjörsgelogisk prognos – Servicetunnel Korsvägen.*
- Trafikverket (2014d). *PM F 06 - 012 Ingenjörsgelogisk prognos – Servicetunnel Haga.*
- Trafikverket (2014e). *PM AKF 06 - 102 Inventering av befintliga undermarksanläggningar i berg med avseende på grundvatten inom Västlänkens preliminära influensområde.*
- Trafikverket (2014f). *PM F 06 – 001 Förundersökningsrapport berg.*
- VBB VIAK (1991). *Slutrapport avseende renovering av brunnsanläggning samt undersökning av vattenkvaliteten vid befolkningsskyddsrum Kvarnberget.*
- VIAK (1987). *PM rörande rensning av brunn i befolkningsskyddsrum Otterhällan.*
- Wladis, D., Jönsson, P och Wallroth, T (1997). *Regional characterization of hydraulic properties of rock using well test data.* SKB Technical report 97-29.