

PM Hydrogeologi

Slussar i Trollhätte kanal

Anläggande av sluss i Trollhättans kommun,
Västra Götalands län

2025-10-09



Trafikverket

Postadress: Vikingsgatan 4, 41101 Göteborg

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

Konfidentialitetsnivå: 1 Ej känslig

Dokumenttitel: PM Hydrogeologi

Filnamn: S.14+TK.N.A00-UHA.T.101

Författare: Anders Nilsson, Ingmar Geuze, Sarah Ali, Ida Nordberg, Johanna Nilsson, Johan Burman

Dokumentdatum: 2025-10-09

Ärendenummer: TRV2022/121065

Kontaktperson: Mikael Rintala

Rev.	Ändringen avser	Godkänd av	Ändringsdatum
A			
B			
C			

Innehåll

Bilagor	5
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.1.1 Trollhättan	6
1.2 Syfte	7
2 Platsspecifika förhållanden	8
2.1 Topografi och områdesbeskrivning	8
2.2 Geologiska förhållanden	8
2.2.1 Delområde 1	10
2.2.2 Delområde 2	10
2.2.3 Delområde 3	10
2.3 Hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden	11
2.3.1 Ytvatten	11
2.3.2 Grundvatten	12
2.3.3 Delområde 1	13
2.3.4 Delområde 2	14
2.3.5 Delområde 3	14
3 Planerade anläggningar	16
3.1 Anläggande av ny slussled	16
3.2 Ledningskulvert och bro	19
3.3 Betongdamm	19
3.4 Breddning av Bergkanalen	20
3.5 Sänkning av Höljan	22
4 Hydrogeologiska undersökningar	23
4.1 Slugtester i jordlager	23
4.1.1 Utförande	24
4.1.2 Resultat	24
4.2 Vattenförlustmätning i kärnborrhål	25
4.3 Stegprovpumpning i kärnborrhål	27
4.3.1 KBH503	27
4.3.2 KBH504	29
4.3.3 KBH509	31

4.3.4 KBH510	33
4.4 Provpumpning i hammarborrhål.....	34
4.4.1 Provpumpning HBH506	35
4.4.2 Provpumpning HBH502	39
5 Beräkningar	44
5.1 Hydraulisk konduktivitet i berg	44
5.2 Grundvattenmodell	47
5.2.1 Mjukvara.....	47
5.2.2 Simuleringsmetod	47
5.2.3 Konceptualisering	48
5.2.4 Modelluppbyggnad	50
5.2.5 Randvillkor.....	52
5.2.6 Hydrauliska parametrar.....	56
5.2.7 Beräkningsfall	58
5.2.8 Kalibrering	59
5.2.9 Osäkerheter.....	64
6 Resultat	66
6.1 Grundvattennivåförändringar	67
6.1.1 Anläggningsskede	67
6.1.2 Driftskede	68
6.2 Påverkansområde	70
6.3 Grundvattenbortledning	74
6.3.1 Anläggningsskede	75
6.3.2 Driftskede	76
6.4 Vattenutläckage.....	77
7 Motstående intressen.....	78
7.1 Enskilda brunnar.....	78
7.2 Sättningskänsliga objekt	78
7.3 Naturvärden.....	79
8 Bedömda konsekvenser	82
8.1 Enskilda brunnar.....	82
8.1.1 Anläggningsskede	84
8.1.2 Driftskede	85

8.2 Sättningskänsliga objekt	85
8.3 Naturvärden.....	85
9 Klimatanpassning	86
Referenser	88

Bilagor

Bilaga 1 - Grundvattennivåer

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Projektet Slussar Trollhätte kanal syftar till att säkra Vänersjöfartens framtid genom att skapa förutsättningar för fortsatt sjöfart. Projektet omfattar byggnation av nya slussar i Lilla Edet, Trollhättan och Vänersborg.

Trollhätte kanal är den allmänna farleden mellan Vänersborg och Göteborg. Av dess totala längd på cirka 82 km lång är cirka 10 km grävd och sprängd kanal, resterande del utgörs av en naturlig fåra i Göta älv. Idag finns sex slussar i stråket mellan Göteborg och Vänern, en i Brinkebergskulle, fyra i Trollhättan och en i Lilla Edet. Slussarna kompenserar för den nivåskillnad på 44 meter som råder mellan Vänern och Kattegatt. I stråket finns tretton broar som trafikeras under hela dygnet, året om. Tio av dessa broar är öppningsbara.

Befintliga slussar i Trollhätte kanal bedöms ha nått slutet av sin tekniska livslängd år 2030 och behöver därför förnyas i syfte att kunna upprätthålla farledens funktion för sjöfarten, samt en fullgod dammsäkerhet.

Nya slussar är en förutsättning för att kunna säkerställa det nuvarande och framtida behovet av sjötrafik, där vissa industrier är helt beroende av sjöfarten. De är också en nödvändighet för att kunna realisera sjöfartens potential i stråket och därigenom på sikt avlasta järnvägen och minska andelen transporter med lastbil. Nya slussar möjliggör en framtida kapacitetshöjning, genom att större fartyg kan trafikera kanalen. Detta bedöms ge minskade transportkostnader och därmed bättre förutsättningar för näringslivet i regionen. Nya slussar gynnar även båtturen och den lokala turistnäringen.

1.1.1 Trollhättan

Den befintliga slussanläggningen i Trollhättan består av en slusstrappa med tre steg samt en enkel sluss högre upp i kanalen. Trollhättans översiktsplan från 2013 anger en ny sträckning för sluss och kanal söder om befintliga slussar.

Göta älv rinner genom en kanjon med branta sidor väster om Trollhättans stadskärna. Området kring kanalen har en stadsmässig karaktär med bebyggelse kopplad till sluss- och kanalverksamheten. Olidans kraftstation ligger i älvens fåra och tar upp en nivåskillnad på cirka 33 meter.

Planerade slussar i Trollhättan berör flera riksintressen, inklusive kulturmiljövård, naturvård, friluftsliv och kommunikation. Området kring Trollhättefallen vittnar om en lång kulturhistorisk utveckling med lämningar från olika tidsperioder, och slussområdet samt Bergkanalen är viktiga kulturmiljöer med flera byggnadsminnen och värdefulla byggnader. Det finns också flera äldre slussanläggningar och andra

fornlämningar i området. Naturresevatena Ryrbäcken och Älvrummet är viktiga för bevarande av värdefulla skogsmiljöer och friluftsliv.

Området kring Trollhättan är ett riksintresse för friluftsliv med goda förutsättningar för berikande naturupplevelser, med flera vandringsleder, promenadstråk och utsiktsplatser. Trollhättans centrala delar ligger nära Bergkanalen och bostadsområdet Västergärdet ligger i direkt anslutning till utredningsområdet för de nya slussarna.

1.2 Syfte

Föreliggande rapport syftar till att beskriva de utförda hydrogeologiska undersökningarna och redovisa de lokala hydrogeologiska förutsättningar för den planerade nya slussleden i Trollhättan, samt att beskriva beräkningar för grundvattenpåverkan som anläggandet och driften av den nya slussleden bedöms medföra.

2 Platsspecifika förhållanden

2.1 Topografi och områdesbeskrivning

I Trollhättan kommer den befintliga slussleden i södra Trollhättan ersättas av en ny slussledssträcka med en delvis ny dragning norr om den befintliga. Detta innebär att den befintliga farleden i Göta älv förlängs norrut och att en ny slussled anläggs genom Älvrummets naturreservat, norr om bostadsområdet vid Västergärdet för att ansluta till den befintliga farledssträckningen i Bergkanalen vid Olidan. Den befintliga sträckan av Bergkanalen planeras att breddas mellan Klaffbron och Olidan.

Befintliga byggnader längs den norra delen av Bergkanalen är huvudsakligen flerbostadshus och villor grundlagda på berg. Vid den södra delen av Bergkanalen finns främst industribyggnader. Dessa är huvudsakligen grundlagda med platta på mark på berg alternativt på fyllnadsmassor. I undersökningsområdets västra del, vid Västergärdet utgörs befintlig bebyggelse främst av äldre villor som är grundlagda på berg.

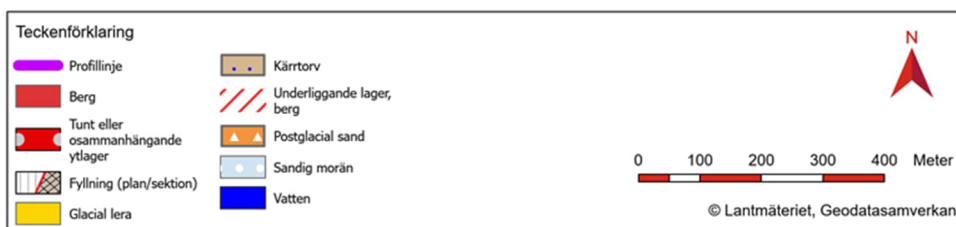
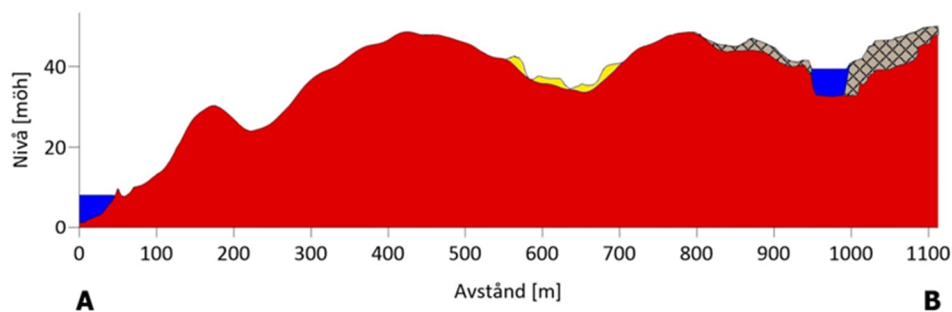
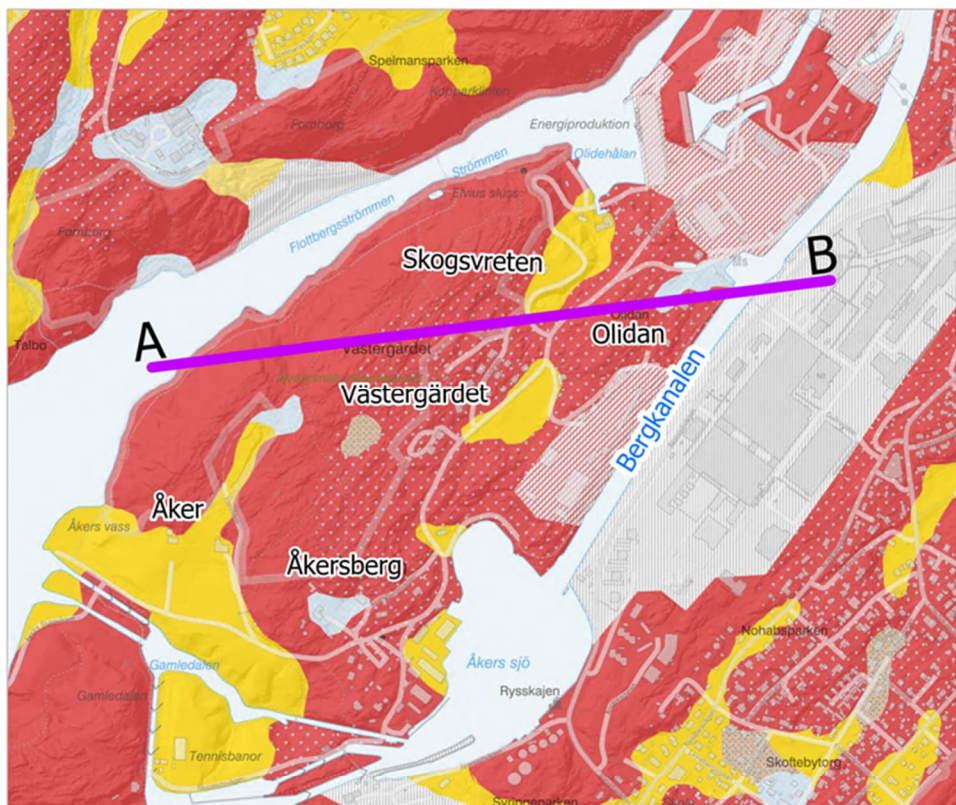
Området som den nya slussleden ska gå genom utgörs huvudsakligen av ett kuperat skogslandskap med tunna jordlager på berg. Topografiskt varierar befintliga marknivåer i läge för planerad slussled från cirka +7 vid Göta älv väster om Västergärdet till cirka +39 i Bergkanalen, och däremellan ligger höjdområden som tangerar cirka +50 (höjdsystem RH2000). I området återfinns en djupare dalgång som sträcker sig mot nordost, med höjdnivåer kring cirka +35 i södra delen ned mot cirka +10 närmast Olidehålan, se Figur 1.

2.2 Geologiska förhållanden

Den geologiska tolkningen baseras på utförda sonderingar och Sveriges geologiska undersöknings (SGU) jordartskarta.

Vid Trollhättan rinner Göta älv i en kanjon, en dalgång som avgränsas av ställvis höga och branta bergssidor på båda sidor om älven. Dalgången är en utpräglad sprickdal orienterad i nordostlig – sydvästlig riktning. Berggrunden inom det nya slussområdet tillhör den västsvenska gnejsregionen, även kallad den sydvästskandinaviska provinsen, och är en del av den baltiska urbergsskölden. Berggrunden på östra sidan älven utgörs huvudsakligen av förgnejsade kvartsrika djupbergarter som tonalit – granodiorit, med ett mindre område granit inom Älvrummets naturreservat, se Figur 1.

Jordartsgeologin för slussleden och Bergkanalen beskrivs uppdelat i tre delområden, se Figur 2.



Figur 1. Jordartskarta över det berörda området i Trollhättan. Profillinje A-B illustrerar sträckning för ett tvärsnitt av den konceptuella geologiska uppbyggnaden från Göta älv och till strax öster om Bergkanalen i läge för planerad ny slussled.



Figur 2: Indelning i delområden för beskrivning av jordartsgeologiska förhållanden.

2.2.1 Delområde 1

Jordlagerföljden inom delområde 1 utgörs generellt av fyllning eller naturligt lagrad friktionsjord, ställvis med inslag av lera eller silt, ovanpå berg. I norra delen av området, vid Spikön och Karl Johans torg, varierar jorddjupet mellan 0 och cirka 3 m. I undersökta punkter på Spikön (väster om kanalen) utgörs jorden av mulljord ovan fyllningsmaterial bestående av huvudsakligen siltig lera. Vid Karl Johans torg (öster om kanalen) består jorden av lera enligt SGU:s jordartskarta.

2.2.2 Delområde 2

Jordlagerföljden inom delområde 2 utgörs till stora delar av berg vid eller nära markytan. I delar av området finns fyllning och/eller lera till ett djup av som mest cirka 10 meter. Fyllningens sammansättning är mycket varierande men utgörs generellt av sand och grus. Även fyllning bestående av lera och silt förekommer i området.

2.2.3 Delområde 3

Marken inom delområde 3 utgörs till stor del av ytligt berg, med undantag för några lokala områden med större jorddjup.

I områdets nordvästligaste del, där ny slussled planeras ansluta till Bergkanalen, utgörs jordlagerföljden av antingen fyllning och naturlig friktionsjord på berg eller

naturlig friktionsjord på berg. Jorddjupet är som mest cirka 4 meter. Fyllningen och friktionsjorden utgörs av grus, sand och silt, ställvis med inslag av lera.

Vid Olidevägen finns ett lerområde med ett mäktigare djup på som mest cirka 8 meter. Lerlagret ligger huvudsakligen direkt på berg, med tunna moränlinser i vissa punkter. Lerlagret ligger i slänten ner mot Olidehålan i nordost. I väster avgränsas lerområdet av högre liggande bergspartier. Leran är siltig och sand/siltkörtlar förekommer.

I skogsområdet mellan Olidevägen och Göta älv, i läget för den planerade nya slussleden, utgörs jordlagerföljden generellt av berg vid markytan eller ett relativt tunt jordtäckte ovan berg. Jorddjupet varierar generellt mellan cirka 0 till 2 meter och jorden utgörs av mulljord ovanpå torrskorpelera, silt eller torv. I enstaka undersökta punkter har lera påträffats till ett djup av cirka 4 meter.

2.3 Hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden

2.3.1 Ytvatten

Göta älv är Sveriges största vattendrag, vilket omfattar ett avrinningsområde på cirka 50 000 km² och med en medelvattenföring på cirka 557 m³/s enligt statistiskt för perioden 1991–2020 (SMHI, 2025). Älven rinner genom en dalgång som sträcker sig från Väneren vid Vänersborg genom Trollhättan, Lilla Edet, Kungälv och Göteborg för att så småningom mynna ut i Kattegatt. Nivån i Väneren och Göta älv är reglerad. Vattennivån i bergkanalen är cirka +39,4 och nivån i Göta älv väster om Västergärdet är cirka +8.

Det nya slussläget i Trollhättan är beläget inom den av SMHI definierade vattenförekomsten "Göta älv - Slumpån till Stallbackaån" och delavrinningsområdet "Nedlagd mätstation Göta älv nedströms Trollhättan".

Den övergripande vattenbalansen för aktuellt område kan beskrivas enligt ekvationen nedan:

$$P_n = P_k - ET$$

Där P_k är korrigerad nederbörd, ET är evapotranspirationen (total avdunstning) och P_n nettonederbörd, vilken bildar grundvatten och sedan avrinning.

Översiktlig vattenbalans enligt modellerade data från S-HYPE för perioden 1991 – 2020 och respektive delavrinningsområde redovisas i Tabell 1.

Tabell 1: Vattenbalans enligt modellerade data från S-HYPE för perioden 1991–2020, (SMHI, 2025).

	Nedlagd mätstation Göta älv nedströms Trollhättan, 1991 – 2020 (millimeter/år)	Göta älv – Slumpån till Stallbackaån, 1991 – 2020 (millimeter/år)
Nederbörd (P)	910	888
Evapotranspiration (ET)	529	523
Avrinning (Pn)	382	366

Utifrån ovanstående data erhålls en generell nettonederbörd (P_n) om cirka 374 millimeter/år för det aktuella området, vald som medelvärde mellan delavrinningsområdena.

2.3.2 Grundvatten

Observationspunkter för grundvattennivåer i jordlagren har installerats både i läget för den nya slussleden och i omgivningen, medan observationspunkter i berg ligger inom korridoren för den nya slussleden. Mätning av grundvattennivåer i jordlager och berg påbörjades i april 2024 och är fortsatt pågående. Uppmätta grundvattennivåer från starten av mätningarna fram till juli 2025 presenteras i Bilaga 1.

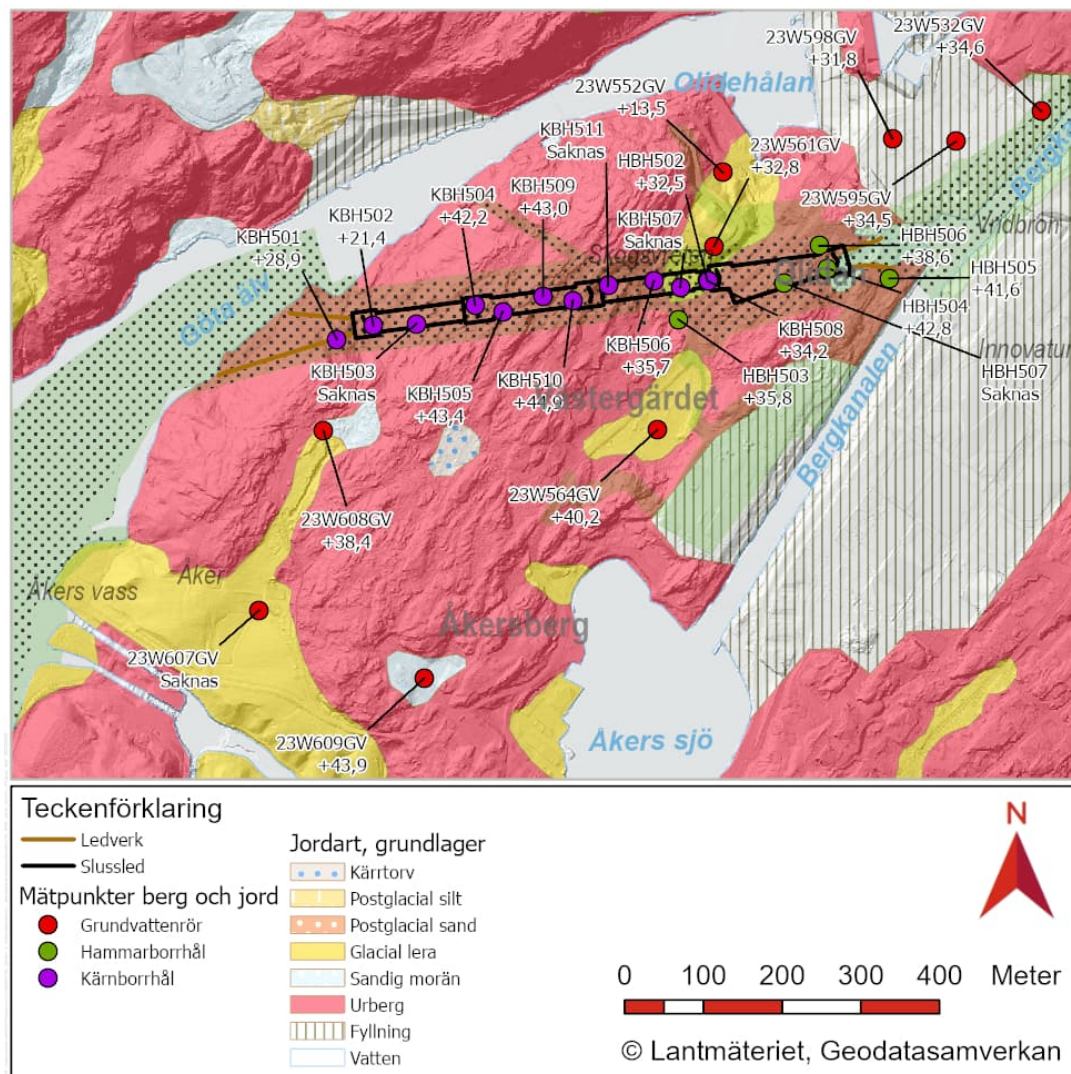
Lägen för mätpunkter för grundvattennivåer i jord och berg inom och i närheten av planerad slussled och uppmätta medelnivåer av hittills utförda mätningar redovisas i Figur 3.

Grundvattenbildning sker generellt inom hela området, men varierar beroende på lokala geologiska förhållanden. Lertäckta områden innebär generellt lägre grundvattenbildning än områden med jordarter som har större kornstorlekar. Där morän eller berg går i dagen förekommer så kallade randzoner, infiltrationsområden där vatten kan följa bergytan eller moränavlagringen ner under leran. Dessa infiltrationsområden utgör en viktig komponent i nybildning av grundvatten som tillförs till grundvattenmagasin i morän och berg.

Infiltrationskapaciteten i förekommande ytliga jordarter är normalt sådan att all nederbörd kan förutsättas infiltrera. Vid kraftiga skyfall alternativt under perioder med långvarig nederbörd kan det lokalt förekomma ytavrinning i områden med låg infiltrationskapacitet och/eller branta terrängförhållanden. Normalt ansamlas sådan ytavrinning i lokala lågpunkter eller i randzonen mellan jord och berg, varefter den infiltrerar i marken. En viss andel kan dock avrinna till närmaste vattendrag, dike, eller dagvattenbrunn utan att infiltrera. Generellt bedöms dock att mängden ytavrinning kan anses vara försumbar som årsmedelvärde. Således kan i

princip hela avrinningen från området antas ha varit grundvatten en kortare eller längre tid innan den når ytvattendrag.

Det finns inga utpekade grundvattenmagasin eller grundvattenförekomster i området angivna i SGU:s kartvisare Grundvattenmagasin (SGU, 2025) eller i Vatteninformationssystem Sverige (VISS, 2025). Det finns inget allmänt uttag av grundvatten i området.



Figur 3: Lägen för grundvattenrör i jord och bergborrhål där nivåmätningar utförs inom och i närheten av planerad ny slussled. Medelnivåer redovisas som nivåer i RH2000 vid varje observationspunkt för grundvatten.

I nedanstående kapitel ges en beskrivning av de hydrogeologiska förutsättningarna för de delområden som anges under kapitel Fel! Hittar inte referenskölla. och Figur 2.

2.3.3 Delområde 1

I delområde 1 saknas uppmätta grundvattennivåer. Grundvattenflödet österifrån bedöms vara riktat mot Bergkanalen och grundvattenytan lutar ner mot

Bergkanalen. På västra sidan Bergkanalen är grundvattenflödet huvudsakligen riktat västerut mot Göta älv och grundvattenytan bedöms ligga i nivå med vattenytan i Bergkanalen och intagskanalerna till Olidans kraftverk.

2.3.4 Delområde 2

Även i delområde 2 bedöms grundvattenflödet österifrån vara riktat mot Bergkanalen och på västra sidan ner mot Göta älv.

Grundvattenytan i delområdet bedöms luta ner mot Bergkanalen på östra sidan. På västra sidan följer grundvattenytan nivån i Bergkanalen och intagskanalerna till Olidans kraftverk i den norra delen.

I den sydvästra delen ligger grundvattennivåerna i jordlagren något lägre med uppmätta medelgrundvattennivåer kring cirka +34,6 närmst Bergkanalen och cirka +31,8 längre västerut, jämfört med Bergkanalens nivå på cirka +39. Detta bedöms dels bero på att kanalmuren mot Bergkanalen har en dämmande effekt, dels på att jordlagren väster om dammen är mer genomsläppliga än berget.

2.3.5 Delområde 3

I delområde 3 bedöms grundvattenflödet huvudsakligen vara riktat från höjdområdena vid Västergärdet ned mot Göta älv. I området som berörs av den nya slussleden domineras geologin av tunna jordlager på berg. Rörligt grundvatten bedöms huvudsakligen förekomma i det kristallina bergets sprickor, men även till viss del i de tjockare jordlagren med lera eller morän. I de områden där moränen inte överlagras av ett tätande lager, såsom områden där moränen eller berget går i dagen, råder en fri grundvattenyta där atmosfärstrycket och vattentrycket är lika stora. Här är grundvattenmagasinet ett öppet grundvattenmagasin.

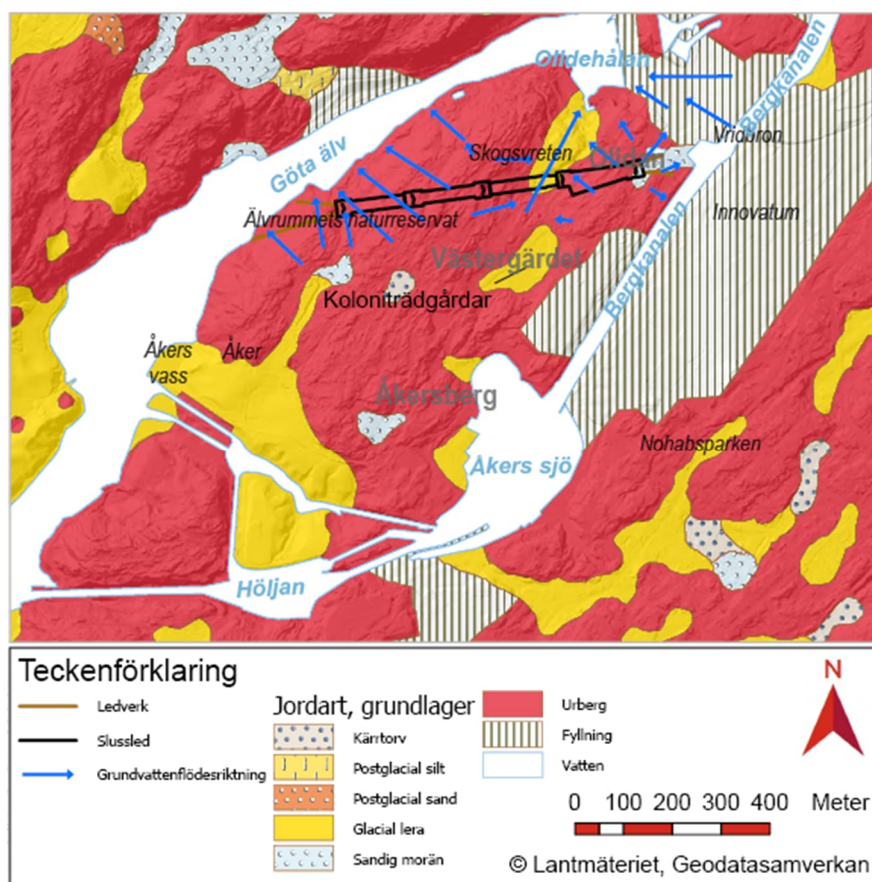
Lokalt påverkas grundvattnets flödesriktning av skillnader i topografi.

I höjdområdet vid Olidan är uppmätta medelgrundvattennivåer i berg på mellan cirka +41,4 till +42,5. Här bedöms flödesriktningen var riktad huvudsakligen västerut mot dalgången mellan Västergärdet och Olidehålan, men kan även röra sig mot Bergkanalen i den nordöstra delen av delområde 3. I ett mindre område närmast bergkanalen bedöms det kunna förekomma ett lokalt övre grundvattenmagasin i fyllnadsjorden.

I dalgången mellan Västergärdet och Olidehålan ligger medelgrundvattennivån i berg på cirka +32,7 till +36,2 meter. I jordlagren ligger medelgrundvattennivån på cirka +32,9 meter. Från dalgången rör sig grundvatten huvudsakligen norrut mot Olidehålan, där Göta älv ligger på cirka +7 meter.

I höjdområdet väster om Västergårdet och Skogsvreten har medelgrundvattennivåer i berg på cirka +44,2 till +44,9 uppmätts. Medelgrundvattennivåerna faller därefter av i området ner mot älven.

Baserat på de uppmätta grundvattennivåerna har grundvattenflödet i berg konstaterats vara generellt riktat från Bergkanalen ner mot Göta älv. Vid Olidan finns en högpunkt, varifrån grundvattenflödet är riktat både ner mot dalgången vid Skogsvreten och ner mot Bergkanalen. Från höjdområdet väster om Skogsvreten och Västergårdet är flödesriktningen huvudsakligen ner mot älven, men även till viss del ner mot dalgången vid Skogsvreten. I dalgången vid Skogsvreten är flödesriktningen ner mot Olidehålan. Flödesriktningarna illustreras i Figur 4.

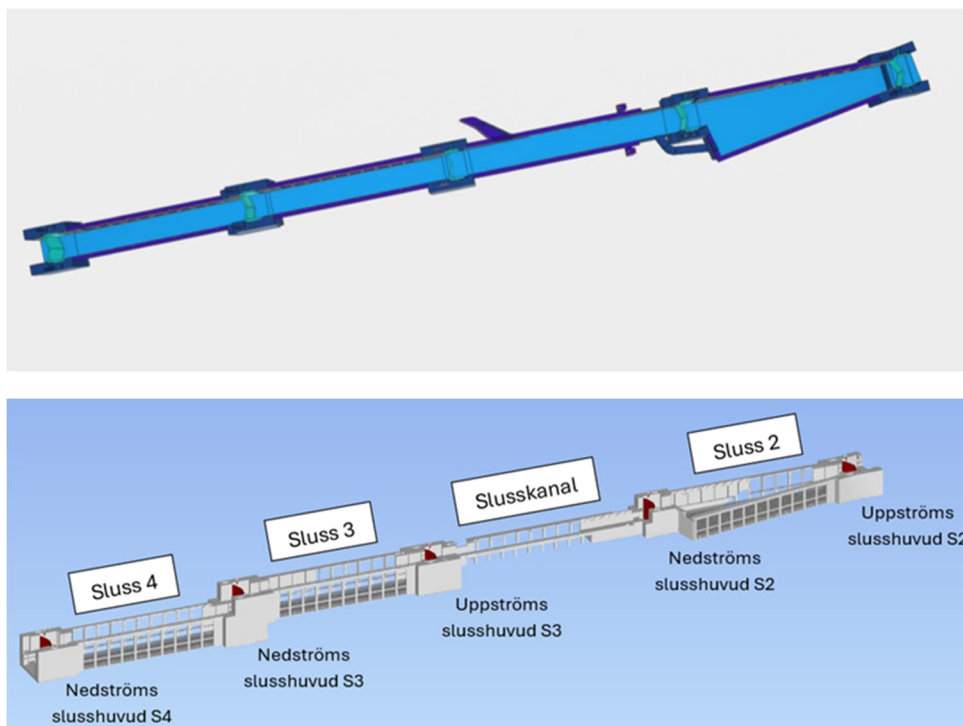


Figur 4: Flödesriktningar för grundvatten i berg.

3 Planerade anläggningar

3.1 Anläggande av ny slussled

En ny slussled kommer att anläggas i den nya sträckningen av farleden i syfte att ta upp höjdskillnaden mellan Bergkanalen och Göta älv nedströms. En schematisk skiss av den nya slusstrappan visas i Figur 5.



Figur 5: Schematisk skiss av slusstrappan uppifrån och från sidan.

Slussleden kommer att utgöras av en slusstrappa bestående av en triangelssluss (sluss 2), en mellanliggande kanaldel (Slusskanalen) och två raka slussteg (sluss 3 och 4). I den triangelformade slussen vrids fartygen till en ny vinkel under slussningen. Det görs för att minimera farledsbredden, eftersom fartygen annars skulle behöva en längre sträcka för att navigera in i eller ut från sluss 2. Slusskanalen mellan slussteg 2 och 3 utgörs av en cirka 140 meter lång kanal. Vattenytan i kanalen kommer huvudsakligen att ligga på en konstant nivå, men kan variera tillfälligt vid slussning.

Varje slussteg består av ett uppströms slusshuvud av betong med portar för att stänga ute vatten, slusskammare och ett nedre slusshuvud med portar.

Slusstrappan kommer att grundläggas direkt på berg. Botten i slusskamrarna kan komma att utgöras av berg med vissa delar i betong, eller med en botten helt i betong.

Slusshuvudena kommer att stå på en bottenplatta som bedöms behöva förankras i berget med dragstag för att undvika upplyft. Det bedöms även vara lämpligt att

utföra tätande konstruktioner vid slusshuvudet för att förhindra läckage av vatten från slusskammaren genom berget förbi slusshuvudet.

I Slusskanalen ligger bergets överyta under den planerade vattennivån i slussleden på en del av sträckan. För att förhindra att vatten läcker ut från slussleden till lägre liggande terräng i dalen vid Skogsvreten kommer det att uppföras en dämmande konstruktion längs kanalens norra vägg. Den dämmande konstruktionen kan antingen utföras som en tät dammkonstruktion närmast sluss 2, som går fram mot sluss 3 tills där bergets överyta åter når över vattennivån i slussleden, eller som en betongdamm längs kanalens norra vägg med eventuell tätning av berget under dammen.

Väggarnas utförande i slusskamrarna kommer variera med förutsättningarna. Där den nya slussleden ligger helt nere i berg kommer berget att utgöra väggarna i slusskammaren. Betongpelare kommer att gjutas mot bergväggen för att hålla upp en betongplatta som fungerar som kajkant, men betongpelarna är relativt tunna jämfört med de öppna sektionerna av bergväggen och bedöms inte påverka bergets hydrauliska kontakt med slusskammaren. Där den nya slussledens vattenyta kommer ligga över befintlig bergnivå eller marknivå kommer väggarna i slusskammaren att utgöras av betong. Närmast slusshuvudena kommer täta betongväggar att anläggas för att hindra utläckage av vatten förbi slusshuvudet och ner till nästa steg.

I Slusskanalen kommer ett bräddavlopp att anläggas, där överskottsvatten från sluss 2 kan släppas ner till Göta älv. Bräddavloppet kommer även att ha funktionen av ett isutskov, där is kan föras ur den nya slusstrappan vid isvintrar. Isutskov-bräddavloppet kommer att byggas som en tunnel i berg, med bergväggar och bergtak men med ett gjutet betonggolv. Tätningsåtgärder bedöms inte behöva utföras i tunneln för isutskov-bräddavlopp.

Schakt för den nya slussleden kommer förutom slusstrappan även att omfatta ytor för kajer och drift på bägge sidor. Längs den norra bergväggen kommer en serviceväg anläggas, som utgör en ramp ner till kajen på sluss 4. Det kommer även utföras mindre detaljschakt, men dessa bedöms inte medföra någon signifikant ytterligare påverkan.

Schaktbottennivåer för de olika anläggningsdelarna där grundvattenbortledning kommer utföras för den nya slussleden framgår av Tabell 2.

Tabell 2. Sammanställning av befintliga grundvattennivåer för respektive anläggningsdel och planerad schaktbottennivå för de olika anläggningsdelarna i planerad ny slussled i anläggningsskedet. Befintliga grundvattennivåer presenteras som ett spann för respektive anläggningsdel, då grundvattennivån varierar inom varje anläggningsdels utbredning. Grundvattennivåerna i respektive mätpunkt utgörs av ett medelvärde av hittills insamlade mätdata.

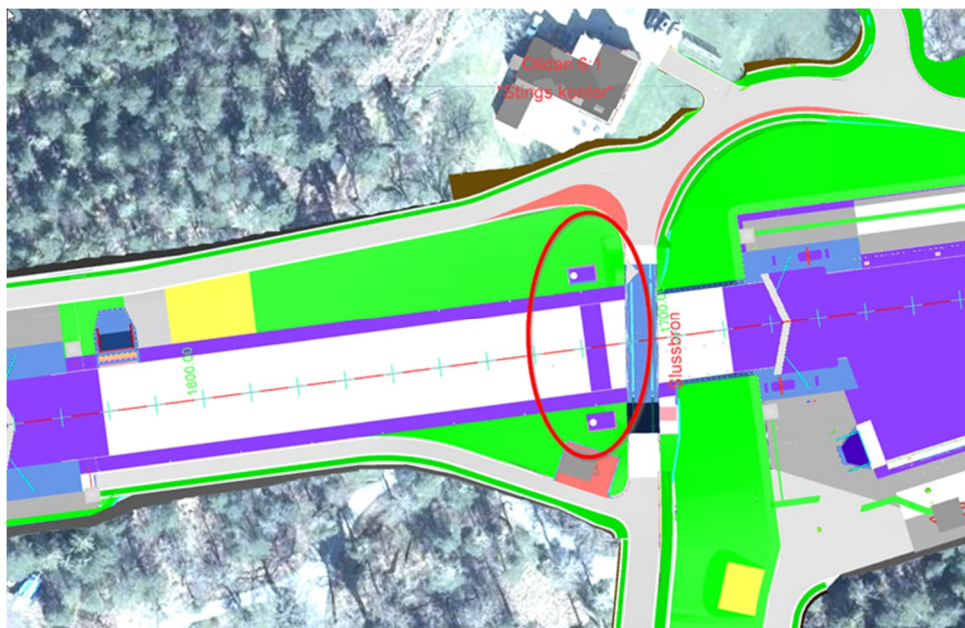
Schakt för anläggningsdel	Befintliga grundvattennivåer	Schaktbottennivå
Sluss 2 inlopp från bergkanalen	+39,4 - +42,8	+32,8
Sluss 2	+31,2 - +42,9	+22
Sluss 2 Kaj norra	+38,3 - +42,2	+39,6
Sluss 2 Kaj södra	+38,8 - +43,1	+39,1
Sluss 2 isutskov	+35,8 - +41,2	+31,3 - +33,8
Vägar och landskapsanpassningar norr om Sluss 2	+35,8 - +41,6	+32,2 - +35,7
Klaffbro	+34,3 - +35,4	+23,2
Vägar och landskapsanpassningar söder om klaffbron	+35,4 - +41,6	+33,8 - +38
Ledningskylvert under Slusskanalen	+33,9 - +35,1	+20,2
Slusskanalen tätt betongtråg	+32,7 - +35,2	+23,3
Slusskanalen	+35,4 - +42,4	+24,2
Slusskanalen kaj norra	+34,5 - +43,4	+31,6
Slusskanalen kaj södra	+35,1 - +43,4	+31,2 - +31,6
Serviceväg längs med Slusskanalen, Sluss 3 och 4	+20,7 - +45,6	+19,2 - +33,6
Sluss 3	+41,5 - +46,6	+9,8
Sluss 3 kaj norra	+40,5 - +46,1	+31,2
Sluss 3 kaj södra	+45,2 - +47,3	+30,6 - +31,1
Sluss 4	+17,9 - +45,0	-2,4
Sluss 4 kaj norra	+16,4 - +40,5	+19,2
Sluss 4 kaj södra	+24,3 - +46,0	+16,8 - +19,2
Utlopp Sluss 4	+8,0 - +29,2	+0,28
Betongdamm vid H-huset	+35,2 - +39,8	+30,8
Inlopp tunnel isutskov-bräddavlopp	+41,2 - +44,2	+23,8 - +24,9
Tunnel isutskov-bräddavlopp	+8,6 - +45,1	+7,9 - +24,2

3.2 Ledningskulvert och bro

Under Slusskanalen mellan sluss 2 och sluss 3 planeras en ledningskulvert att anläggas tvärs kanalen, se Figur 6. Ledningskulverten utformas som en betongtunnel stor nog för personal ska kunna utföra drift- och underhållsarbeten.

Invid kulverten kommer även grundläggas en bro som ska gå tvärs Slusskanalen.

Bägge konstruktionsdelarna medför detaljschakt i berg som är djupare än planerad botten på Slusskanalen.



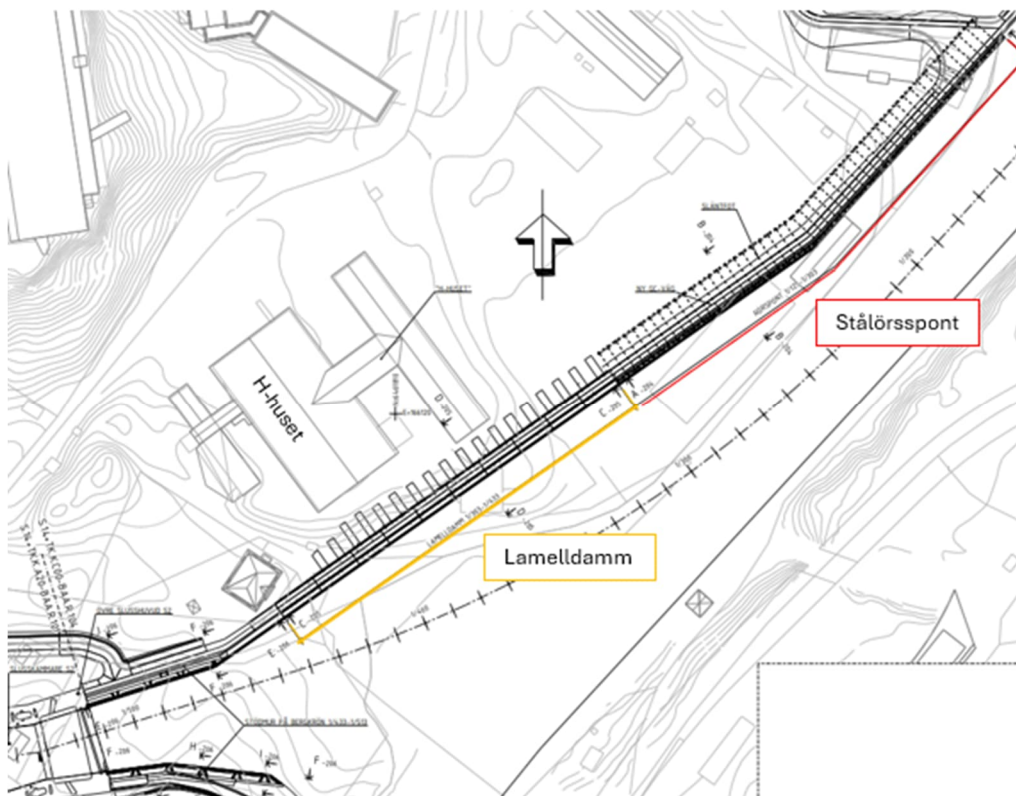
Figur 6. Läge för ledningskulvert som ska gå under Slusskanalen (lilafärgat block i den röda ringen) och grundläggning för bro (svart fyrkant) på södra sidan av Slusskanalen.

3.3 Betongdamm

I samband med breddningen av Bergkanalen planeras nya dammar anläggas uppström ny sluss 2, se Figur 7.

Dammen föreslås byggas av två olika konstruktioner, en gravitationsdamm närmast ny sluss 2 och en rörspontdamm för den resterande sträckan. Betongdammen planeras att bli cirka 130 meter lång och dammkonstruktionens totala längd blir cirka 320 meter lång.

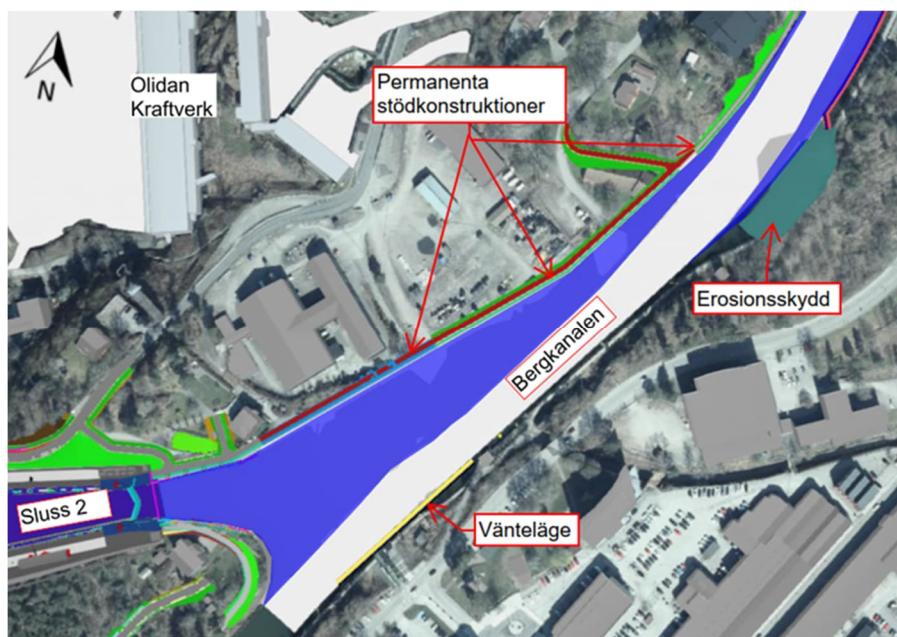
Grundläggningen utförs mot frilagd bergyta och plansprängd bergyta på olika djup längs med den naturliga bergkonturen. Berget under dammen tätas för att minska risken för läckage under den.



Figur 7. Läge för betongdamm/lamelldamm och spontdamm uppströms sluss 2.

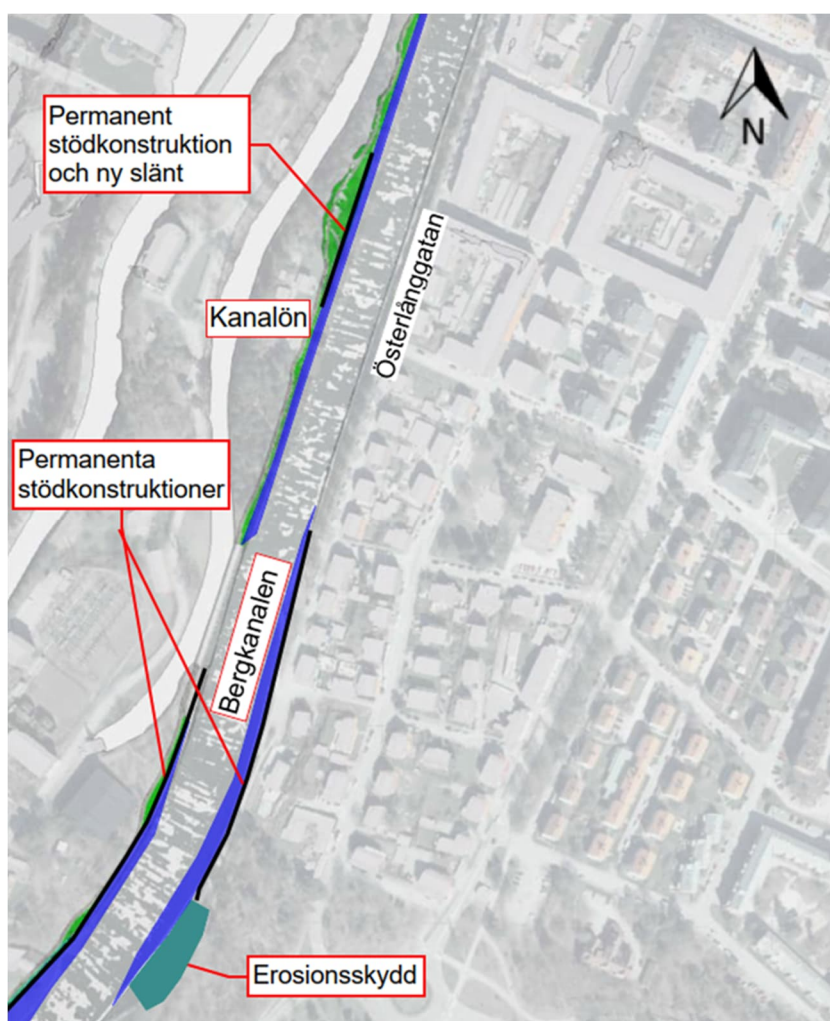
3.4 Breddning av Bergkanalen

På sträckan mellan de nya slussarna och Klaffbron (se delområde 1 och 2 i Figur 2) planeras breddning av Bergkanalen. Vid anslutningen till ny sluss görs breddningen huvudsakligen på Bergkanalens nordvästra sida, se Figur 8.

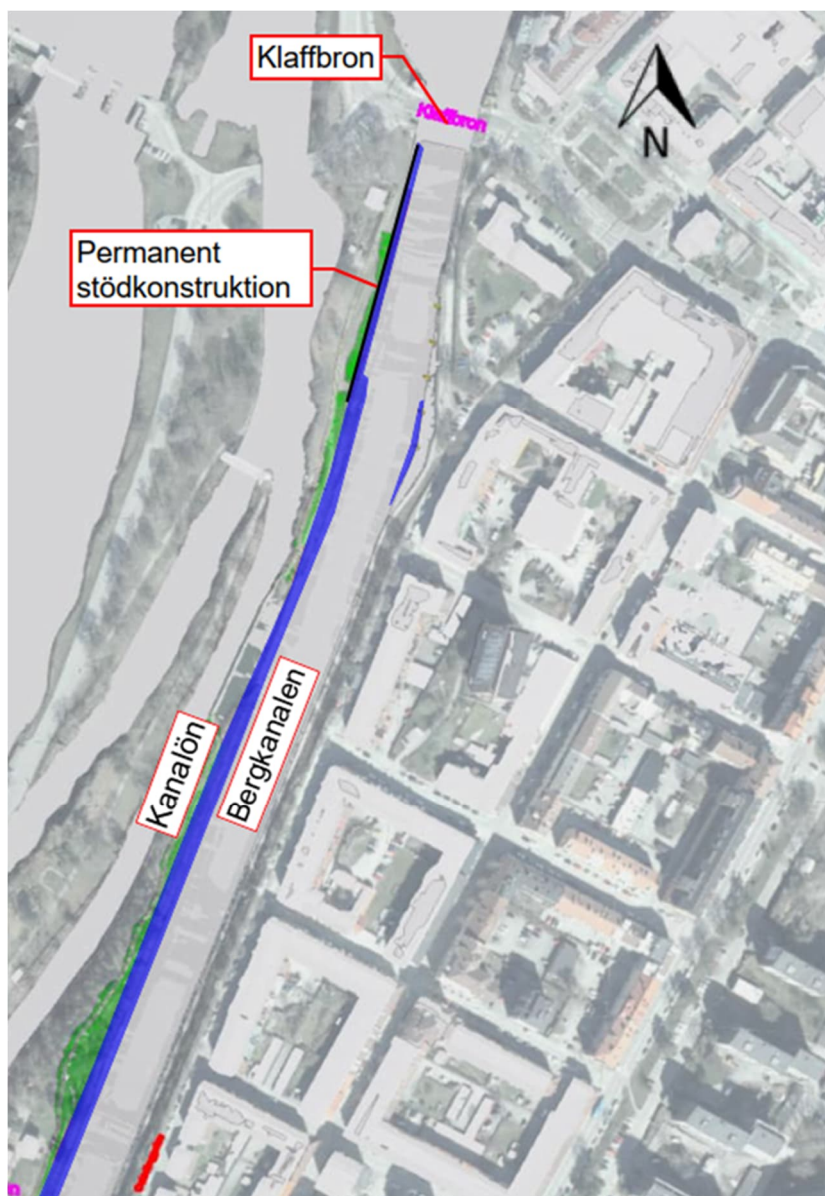


Figur 8. Planerade anläggningar norr om nya slussar. Ungefärligt område för breddning av Bergkanalen illustreras med blå markering.

Planerad breddning av övriga delar av Bergkanalen visas i Figur 9 och Figur 10.



Figur 9. Översiktlig illustration av planerad breddning av Bergkanalen. Breddning illustreras med blå markering.



Figur 10. Översiktlig illustration av planerad breddning av Bergkanalen. Breddning illustreras med blå markering.

3.5 Sänkning av Höljan

I samband med att 1916 års slussled tas ur bruk i driftskedet kommer vattennivån i Höljan att sänkas till nivån +30,3. Då den befintliga sluss 2 inte kommer att vara fylld med vatten under driftskedet förutsätts konservativt att den framtida vattennivå för Höljan även gäller för befintlig sluss 2. Detta innebär en avsänkning på cirka 1 meter jämfört med nuvarande vattennivå för Höljan och en avsänkning på cirka 9 meter för befintlig sluss 2.

Sänkningen av ytvattenivån i Höljan och den befintliga sluss 2 medför en grundvattensänkning i omgivningen.

4 Hydrogeologiska undersökningar

Hydrogeologiska undersökningar har utförts för att ge underlag i form av platsspecifik genomsläpplighet i jordlager och berg. I vissa områden med tjockare lerlager har det installerats porttrycksrör. Installerade grundvattenrör i jordlager och borrhål i berg har även använts för att mäta grundvattennivåer. Resultatet av grundvattennivåmätningarna presenteras i kapitel 2.3.2.

Undersökningar i jordlagren har utförts i grundvattenrör som installerats i jordlager både i läget för den nya slussleden och i området utanför. Grundvattenören som installerats utanför den nya slussleden är satta dels för att ge grundvattennivåer i områden där det finns risk för sättningar, dels för att ge grundvattennivåer för ett större område som underlag till en grundvattenmodell. Undersökningarna har omfattat slugtester, som är ett in situ-test för att undersöka genomsläppligheten i jordlagren.

Undersökningar i berg har utförts i läget för den nya slussleden. Undersökningarna har omfattat kärnborrhål, vilka utförts med huvudsyfte att kartera berget och utföra vattenförlustmätningar, samt hammarborrhål, vilka utförts för att göra hydrauliska tester i form av provpumpningar i berget.

I kärnborrhålen har vattenförlustmätningar utförts i samtliga kärnborrhål för att ta reda på bergets hydrogeologiska egenskaper. I några av kärnborrhålen visade vattenförlustmätningarna att det inte förekom någon vattenförlust, vilket bedömdes vara orimligt. Efter att kontrollerat mätnoggrannheten hos flödesmätaren som använts vid vattenförlustmätningarna bedömdes det att resultatet behövde bekräftas. Stegprovpumpningar har därför utförts i fyra av kärnborrhålen för att dels bekräfta om det inte förekom någon vattenförlust, dels bekräfta högre vattenförluster.

I hammarborrhålen har två provpumpningar utförts. Syftet med provpumpningarna var att utvärdera bergets vattenförande egenskaper och den hydrauliska kopplingen mellan berget och ovanliggande jordlager.

4.1 Slugtester i jordlager

Slugtester har utförts i installerade grundvattenrör som ett in situ-test för att undersöka genomsläpplighet i jordlagren. Ett slugtest går ut på att förändra den vilande grundvattennivån momentant, för att därefter mäta återhämtning till den ursprungliga grundvattennivån. Utifrån hastigheten på återhämtningen kan genomsläppligheten utvärderas hos det jordlager där grundvattenröret är installerat.

Slugtesten har utförts genom tillsats av vatten i grundvattenrören. Vid tillsatts av vatten ska den tillsatta mängden leda till att grundvattennivån i röret tydligt stiger. Därefter observeras grundvattennivåns återhämtning i röret.

4.1.1 Utförande

Slugtest enligt principen tillsats av vatten har utförts i 9 grundvattenrör. Arbetsordning har generellt varit enligt följande:

1. Manuell mätning av opåverkad grundvattennivå utfördes med ljud och-ljuslod.
2. Tryckgivare med mätintervall på varannan sekund installerades i grundvattenröret.
3. Tillsatts av vatten till grundvattenröret motsvarade cirka 1,5 meter vattenpelare eller upp till rörets överkant.
4. Manuella mätningar utfördes i grundvattenröret och en bedömning gjordes om återhämtning till den ursprungliga grundvattennivån var möjlig inom en halvtimme. Om möjligheten fanns inväntades återhämtning av grundvattennivån och ytterligare ett test utfördes. Om återhämtning inte bedömdes kunna ske inom 30 minuter så mättes resterande rör för att återkomma till röret under samma dag eller månaden därpå för att undersöka om röret hade återställts. Vid återhämtning utfördes nästa test.
5. Om återhämtningen tog mer än en månad antogs att området kring grundvattenröret har mycket låg genomsläpplighet.

4.1.2 Resultat

Slugtester utfördes under april 2024 samt under maj 2024 i totalt 9 grundvattenrör.

Resultatet av slugtest för grundvattenrör 23W561GV, 23W564GV, 23W598GV och 23W608GV bedöms ej vara tillförlitligt på grund av att ett undre magasin bedöms saknas och röret är således installerat i lera eller att delar av filtret bedöms vara installerat i lera. Inget resultat presenteras således för dessa grundvattenrör.

För de övriga grundvattenrören bedöms filterspetsarna vara placerade i moränen, antingen i ett undre grundvattenmagasin under ett lerlager eller i det övre grundvattenmagasinet där lerlager saknas ovanpå moränen.

Utvärderingen av samtliga slugtester utfördes med Hvorslevs metodik. Utvärderad hydraulisk konduktivitet samt information kring grundvattenröret och antal utförda test redovisas i Tabell 3. Den redovisade hydrauliska konduktiviteten (genomsläppligheten) är ett geometriskt medelvärde baserat på 2 – 3 utförda slugtest i varje grundvattenrör. För grundvattenrörens placering, se Figur 3.

Tabell 3. Resultat från utförda slugtester

Grundvatten rör	Diameter grundvattenrör	Antal utförda test	Tolkat magasin	Hydraulisk konduktivitet [meter/sekund]
23W532GV	2"	2	Övre	$1,1 \cdot 10^{-5}$
23W552GV	2"	2	Undre	$1,2 \cdot 10^{-5}$
23W595GV	2"	3	Övre	$2,0 \cdot 10^{-9}$
23W607GV	1"	3	Undre	$2,8 \cdot 10^{-5}$
23W609GV	2"	3	Övre	$1,2 \cdot 10^{-5}$

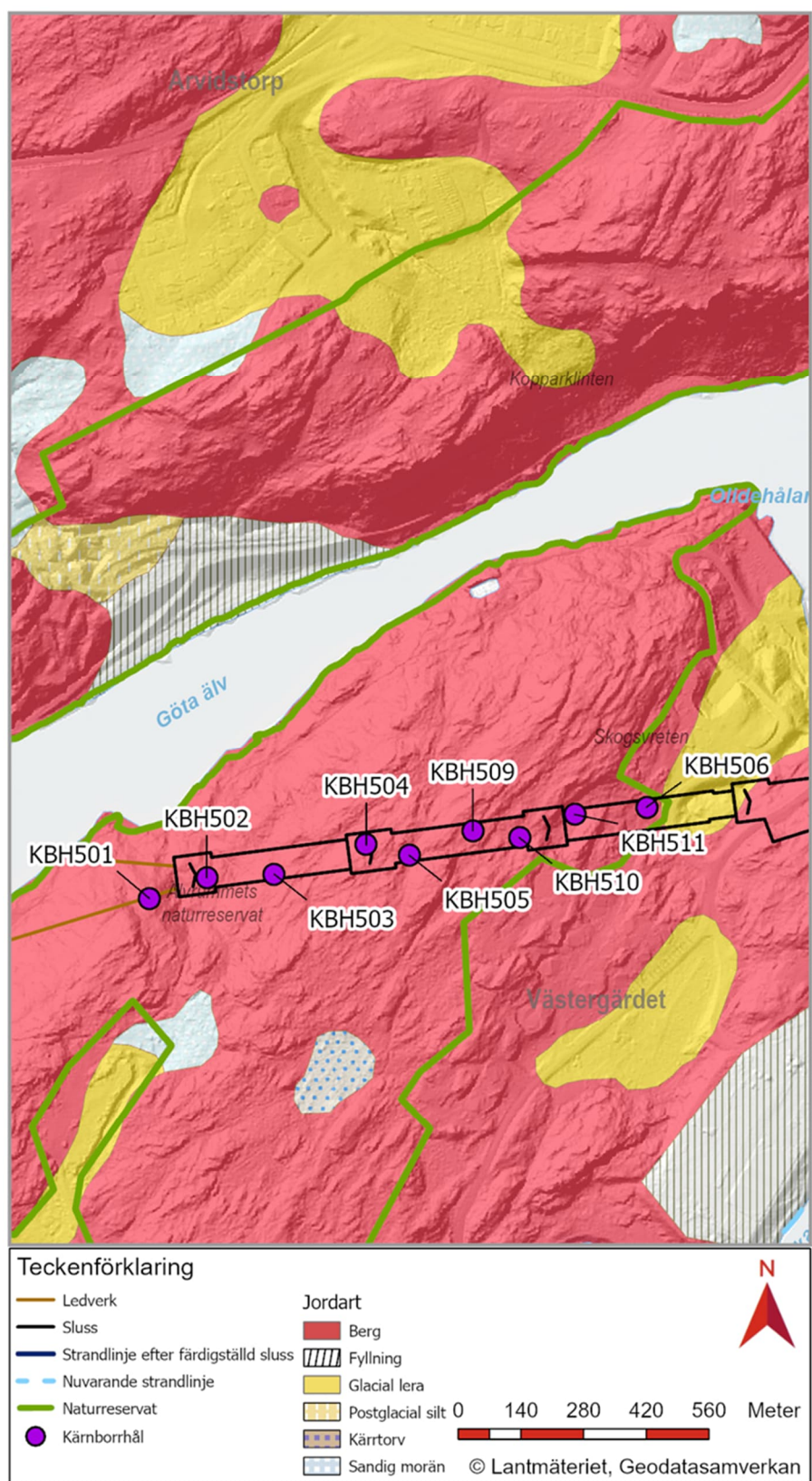
4.2 Vattenförlustmätning i kärnborrhål

Vattenförlustmätningar utförs i samtliga kärnborrhål för att få en uppfattning kring hur genomsläppligt berget är efter avslutad kärnborrning. Genom att använda en vattenpump för att pumpa in vatten i borrhålet skapas ett övertryck i bergsborrhålet. Därefter mäts hur mycket vatten som försvinner ut i berget genom sprickor.

Mätningarna i borrhålet utfördes både med enkelmanschett i hela kärnborrhålet och med dubbelmanschett i 3 meters sektioner. Trycket vid mätningarna var 2 bar. Resultat från helhålmätningen presenteras i Tabell 4 och kärnborrhålens placering visas i Figur 11.

Tabell 4. Resultat från vattenförlustmätningar i respektive kärnborrhål

Grundvattenrör	Från [meter under markytan]	Till [meter under markytan]	Vattenflöde [liter/minut]
KBH501	8	40	0
KBH502	7	45	26,2
KBH503	5	50	0
KBH504	3	60	32
KBH505	3	50	14
KBH506	4	30	51
KBH507	4	31	33
KBH508	6	30	17,3
KBH509	3	50	18,5
KBH510	2	42	28,6
KBH511	6	50	12,3



Figur 11. Utförda kärnborrhål vid den planerade slussleden

4.3 Stegprovpumpning i kärnborrhål

Stegprovpumpning har utförts i utvalda kärnborrhål för att verifiera utförda vattenförlustmätningar, då resultaten av vattenförlustmätningarna specifikt vid låga flöden, så som redovisat för KBH501 och KBH503 i Tabell 4, bedömdes vara orimligt låga.

Stegprovpumpning har utförts i fyra kärnborrhål, KBH503, KBH504, KBH509 och KBH510, under december 2024. Kärnborrhålen har valts för att representera olika flöden utifrån vattenförlustmätningarna, från inget flöde i KBH503 till det högst uppmätta flödet i KBH510. Mätning av grundvattennivåer har även utförts i de fyra närmsta borrhålen i förhållande till det pumpade kärnborrhålet.

Varje stegprovpumpning planerades att utföras i totalt 3 steg, där varje steg planerades att pågå cirka en timme. Avsänkningen i det pumpade kärnborrhålet registrerades med tryckgivare. Avsänkning mättes även i närbelägna kärnborrhål för att konstatera hydraulisk kontakt snarare än att utvärdera hydrauliska egenskaper, då stegprovpumpningen bedömdes utföras under för kort tid för att pseudostationära förhållanden skulle hinna uppnås.

Planerade pumpflöden baserades på de utförda vattenförlustmätningarna, se kapitel 4.2.

Stegprovpumpningarna har utvärderats för transmissivitet, T , ett mått på akvifärens förmåga att transportera vatten, och hydraulisk konduktivitet, K , vilket är ett mått på hur genomsläppligt ett geologiskt material är. Utvärderingen av transmissivitet har utförts med Jacobs metod (ref), där räta trendlinjer passas mot kurvor för avsänkings- respektive återhämtningsdata plottade i lin-log-diagram. Genom att avläsa dekadavsänkningen på y-axeln och med det kända pumpflödet kan T beräknas genom approximationen $T=(0,183Q)/\Delta s$, där Q är flödet och Δs är dekadavsänkningen. Avsänkingsdata och flöde har valts från det flödessteg under provpumpningen som bedöms medge ett stabilt uttag utan att avsänkningen når pumpintaget.

När transmissiviteten beräknats är det möjligt att beräkna hydraulisk konduktivitet med formeln $K=T/b$, där magasinmäktigheten, b , har antagits till borrhålsdjupet minus jordlagermäktigheten.

4.3.1 KBH503

4.3.1.1 Utförande

Den 10 december 2024 utfördes en stegprovpumpning i KBH503.

Stegprovpumpningen startades klockan 11:33 och avslutades klockan 14:50.

Pumpen installerades på cirka 15 meter och tryckgivare på cirka 14 meter under röröverkant.

Under stegprovpumpning för KBH503 planerades följande flöden att uppnås:

- 2 liter/minut
- 5 liter/minut
- 7 liter/minut

Första steget tog lite tid att justera in men etablerade sig så småningom på cirka 2 liter/minut. Efter cirka en timma höjdes flödet och hamnade på cirka 5 liter/minut och efter ytterligare cirka en timma höjdes flödet till cirka 7 liter/minut.

Följande fyra observationspunkter mättes kontinuerligt under stegprovpumpningen för KBH503:

- KBH501
- KBH502
- KBH504
- KBH505

Avsänkning noterades endast i KBH504, se Tabell 5.

Tabell 5. Uppmätt avsänkning i KBH504.

Observationspunkt [kärnborrhål]	Nedmätning [meter under röröverkant]	Tid
KBH504	0,12	12:28
KBH504	0,13	13:02
KBH504	0,13	13:44
KBH504	0,15	14:46

4.3.1.2 Resultat

Utförd stegprovpumpning visar på att borrhålet bör kunna medge ett uttag på cirka 5 liter/minut.

Utvärdering har utförts på avsänkingsdata från pumpsteget vid 5 liter/minut samt för återhämtningsdata efter att pumpen stängts av.

Dekadavsänkningen är cirka 6,45 meter för avsänkingskurvan och cirka 10,15 meter för återhämtningskurvan. Magasinsmaktigheten har ansatts till 42 meter. Beräknade värden för transmissivitet och konduktivitet framgår av Tabell 6.

Tabell 6. Utvärderad transmissivitet och konduktivitet för kärnborrhål KBH503

	Transmissivitet, T [kvadratmeter/sekund]	Hydraulisk konduktivitet, K [meter/sekund]
Avsänkning	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-8}$
Återhämtning	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$

4.3.2 KBH504

4.3.2.1 Utförande

Den 16 december utfördes stegprovpumpning i KBH504. Stegprovpumpningen startades klockan 09:33 och avslutades klockan 14:03.

Pumpen installerades på cirka 20 meter och tryckgivare på cirka 22 meter under röröverkant.

Under stegprovpumpning för KBH504 planerades följande flöden att uppnås:

- 5 liter/minut
- 10 liter/minut
- 15 liter/minut

Första steget inleddes med ett flöde på cirka 11 liter/minut, en omedelbar sänkning av flödet gjordes så att flödet i stället hamnade på cirka 5 liter/minut. Efter en timma höjdes flödet till cirka 10 liter/minut och därefter höjdes flödet till cirka 15 liter/minut. Avsänkningen i borrhålet var lägre än förväntat vilket ledde till att två ytterligare steg utfördes. Det näst sista flödet hamnade på 22 liter/minut och i det sista steget maximerades pumpens kapacitet där flödet landade på cirka 30 liter/minut.

Följande fyra observationspunkter mättes kontinuerligt under stegprovpumpningen för KBH504:

- KBH502
- KBH503
- KBH505
- KBH509

Avsänkning noterades i tre av borrhålen; KBH503, KBH505, KBH509, se Tabell 7.

Tabell 7. Avsänkingsförlöpp för KBH504.

Observationspunkt [KBH]	Nedmätning [meter under röröverkant]	Tid
KBH505	1,22	09:56
KBH505	1,44	10:44
KBH505	1,49	11:11
KBH505	1,47	11:45
KBH505	1,31	12:27
KBH505	1,67	13:10
KBH505	2	13:36
KBH505	2,48	14:41
KBH505	3,39	14:49
KBH503	0,75liter/minut*	10:04
KBH503	0,85liter/minut*	10:48
KBH503	0,85liter/minut*	11:20
KBH503	0,85liter/minut*	11:50
KBH503	0,75liter/minut*	12:35
KBH503	0,75liter/minut*	13:14
KBH503	0,62liter/minut*	13:42
KBH503	0,6liter/minut*	14:33
KBH509	5,22	09:59
KBH509	5,23	10:47
KBH509	5,25	11:14
KBH509	5,26	11:48
KBH509	5,26	12:29
KBH509	5,33	13:13
KBH509	5,37	13:39
KBH509	5,55	14:45

* Grundvattnet strömmade ut ur röret, vilket innebar att flödesförändringar fick användas för att mäta påverkan.

4.3.2.2 Resultat

Utförd stegprovpumpning visar på att borrhålet bör kunna medge ett uttag på minst cirka 30 liter/minut.

Utvärdering har utförts på avsänkingsdata från pumpsteget vid 30 liter/minut samt för återhämtningsdata efter att pumpen stängts av.

Dekadavsänkningen är cirka 2,7 meter för avsänkingskurvan och cirka 2,2 meter för återhämtningskurvan. Magasinsmäktigheten har ansatts till 42 meter. Beräknade värden för transmissivitet och konduktivitet framgår av Tabell 8.

Tabell 8. Utvärderad transmissivitet och konduktivitet för kärnborrhål KBH504

	Transmissivitet, T [kvadratmeter/sekund]	Hydraulisk konduktivitet, K [meter/sekund]
Avsänkning	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$
Återhämtning	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$

4.3.3 KBH509

4.3.3.1 Utförande

Den 13 december utfördes stegprovpumpning i KBH509. Stegprovpumpningen startades klockan 12:24 och avslutades klockan 15:16.

Pumpen installerades på cirka 20 meter och tryckgivare på cirka 22 meter under röröverkant.

Under stegprovpumpning för KBH503 planerades följande flöden att uppnås:

- 5 liter/minut
- 10 liter/minut
- 20 liter/minut

Första steget inleddes med ett flöde på cirka 5 liter/minut. Efter en timme höjdes flödet till cirka 10,5 liter/minut. Grundvattennivån närmade sig då pumpintaget och en avsänkning noterades i rören runt omkring. Därmed beslutades att det andra steget skulle bli det sista, vilket pågick i två timmar.

Följande fyra observationspunkter mättes kontinuerligt under stegprovpumpningen för KBH509:

- KBH504
- KBH505
- KBH510
- KBH511

Avsänkning noterades i tre av borrhålen, se Tabell 9.

Tabell 9. Uppmätta avsänkningar i KBH505, KBH10 och KBH511

Observationspunkt [kärnborrhål]	Nedmätning [meter under röröverkant]	Tid
KBH505	1,04	12:38
KBH505	0,88	13:15
KBH505	0,88	13:36
KBH505	0,95	14:24
KBH505	1,02	14:53
KBH505	1,1	15:30
KBH505	1,11	16:29
KBH510	3,1	12:53
KBH510	3,13	13:24
KBH510	3,13	13:44
KBH510	3,29	14:30
KBH510	3,36	15:00
KBH510	3,47	15:58
KBH510	3,47	16:25
KBH511	0,5liter/minut*	12:55
KBH511	0,5liter/minut*	13:22
KBH511	0,4liter/minut*	13:46
KBH511	0,4liter/minut*	14:29
KBH511	0,6liter/minut*	15:00

*Grundvattnet strömmade ut ur röret, vilket innebar att flödesförändringar fick användas för att mäta påverkan.

4.3.3.2 Resultat

Utförd stegprovpumpning visar på att borrhålet bör kunna medge ett uttag på cirka 10,5 liter/minut.

Utvärdering har utförts på avsänkingsdata från pumpsteget vid 10,5 l/min samt för återhämtningsdata efter att pumpen stängts av.

Dekadavsänkningen är cirka 2,6 meter för avsänkingskurvan och cirka 1,7 meter för återhämtningskurvan. Magasinsmängdigheten har ansatts till cirka 37 meter. Beräknade värden för transmissivitet framgår av Tabell 10.

Tabell 10. Utvärderad transmissivitet och konduktivitet för kärnborrhål KBH509

	Tranmissivitet, T [kvadratmeter/sekund]	Hydraulisk konduktivitet, K [meter/sekund]
Avsänkning	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Återhämtning	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$

4.3.4 KBH510

4.3.4.1 Genomförande

Den 12 december utfördes stegprovpumpning i KBH510. Stegprovpumpningen startades klockan 10:12 och avslutades klockan 10:52 efter att grundvattennivån nått pumpintaget.

Pumpen installerades på cirka 15 meter och tryckgivare på cirka 16 meter under röröverkant.

Under stegprovpumpning för KBH510 planerades följande flöden att uppnås:

- 10 liter/minut
- 20 liter/minut
- 30 liter/minut

Vid den första justeringen uppnåddes ett flöde på cirka 5 liter/minut, vilket var lägre än det planerade värdet. Flödet justerades därför upp till cirka 11 liter/minut. Till följd av justeringen inträffade en kraftig avsänkning, varpå grundvattennivån sjönk ned till pumpintaget, varvid pumpen stängdes av.

Följande fyra observationspunkter mättes kontinuerligt under stegprovpumpningen för KBH510:

- KBH505
- KBH506
- KBH509
- KBH511

Avsänkning noterades endast i KBH509, se Tabell 11.

Tabell 11. Uppmätt avsänkning i KBH509

Observationspunkt [kärnborrhål]	Nedmätning [meter under röröverkant]	Tid
KBH509	5,23	10:46
KBH509	5,09	10:57
KBH509	5,25	13:50

4.3.4.2 Resultat

Utförd stegprovpumpning visar på att borrhålet bör kunna medge ett uttag på cirka 5 l/min.

Utvärdering har utförts på avsänkingsdata från pumpsteget vid 5 l/min.

Återhämtningsdata efter att pumpen stängts av passar ungefärligen till samma trendlinje.

Dekadavsänkningen för både avsänkingskurvan och återhämtningskurvan är densamma, cirka 3,7 meter. Det har därmed enbart utförts en beräkning av värde för transmissivitet. Magasinsmaktigheten har antagits till cirka 33 meter. Beräknat värde för transmissivitet och konduktivitet framgår av Tabell 12.

Tabell 12. Utvärderad transmissivitet och konduktivitet för kärnborrhål KBH510

	Transmissivitet, T [kvadratmeter/sekund]	Hydraulisk konduktivitet, K [meter/sekund]
Avsänkning	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$

4.4 Provpumpning i hammarborrhål

Vid planerat slussläge i Trollhättan på fastigheterna Trollhättan Olidan 5:29 och 5:17 har två hammarborrhållade bergbrunnar, HBH506 respektive HBH502, installerats för att fungera som pumpbrunnar. Utöver dessa har fem andra hammarborrhål installerats som har fungerat som observationsbrunnar. Egenskaper för samtliga hammarborrhål redovisas i Tabell 13.

Under januari-februari 2025 genomfördes provpumpningar i HBH506 och HBH502. Inför provpumpningarna utfördes stegprovpumpningar i respektive pumpbrunn i syfte att samla information om brunnens funktion samt få en uppfattning om hur stor avsänkning olika pumpflöden medförde. Baserat på utvärdering och resultat från stegprovpumpningen fastställdes ett startflöde för den längre provpumpningen.

Tabell 13. Information angående hammarborrhål

Hammarborrhål	Diameter	Totalt djup från rök [meter]
HBH502	5"	35
HBH503	4"	35
HBH504	5"	30
HBH505	4"	30
HBH506	5"	45
HBH507	4"	45

Stegprovpumpningarna avsågs utföras i fyra steg, där varje steg skulle pumpas under en timme. Följande flöden planerades att uppnås:

- 5 liter/minut
- 10 liter/minut
- 15 liter/minut
- 20 liter/minut

För övervakning av grundvattennivå i pumpbrunnarna installerades en automatisk tryckgivare under pumpen. Tryckgivarna installerades med marginal under befintlig grundvattenyta i kärnborrhål och grundvattenrör. Uppmätt tryck inkluderar både lufttryck och vattentryck från vattenpelare ovan tryckmätare enligt programmerat tidsintervall. Tryckgivaren var kopplad till ett modem som sände in data till en webblösning, vilket medförde att vattennivån i respektive pumpbrunn kunde övervakas på distans. Syftet med detta var huvudsakligen att övervaka så att vattennivån inte sjönk under pumpen vid pågående test. I de valda observationspunkterna installerades och programmerades tryckgivare med ett mätintervall på var 15:e minut.

Vid testning av pumputrustningen konstaterades att pumpens kapacitet var mycket större än vattentillförseln i brunnarna, vilket innebar att det var svårt att ställa in ett flöde som inte gav en för stor avsänkning.

För utvärdering av transmissivitet i det pumpade grundvattenmagasinet, det vill säga berget, har Jacobs metod använts. Därefter har konduktiviteten beräknats. För utförligare beskrivning av utvärderingsmetodik, se kapitel 4.3.

4.4.1 Provpumpning HBH506

Inför start av provpumpning installerades en pump i HBH506 på 43 meters djup i brunnen och en tryckgivare på 46 meter djup.

Som förberedelse till uppstart av en längre provpumpning genomfördes den 22 januari 2025 en stegprovpumpning i totalt fyra steg. Pumpning pågick cirka en timme för varje steg och avsänkning i pumpbrunnen registrerades med tryckgivare.

Första steget nådde ett flöde på cirka 2 liter/minut, andra steget på cirka 5 liter/minut och det tredje steget på cirka 9 liter/minut. I det fjärde steget ökades flödet till cirka 20 liter/minut. Det ledde till att nivån i brunnen snabbt sjönk ner till pumpintag och då avslutades testet och nivån i brunnen fick återhämta sig. Baserat på stegprovpumpningen bedömdes ett flöde på cirka 6,5 liter/minut vara lämpligt för en längre provpumpning.

Den 24 januari 2025 klockan 13:35 gjordes ett första försök att starta en längre provpumpning. Dock ökade det initiala flödet på cirka 6,5 liter/minut snabbt till cirka 12 liter/minut och avsänkningen blev större och skedde snabbare än planerat. Till en början gjordes ett försök att sänka flödet men avsänkningen blev för stor och provpumpningen avbröts.

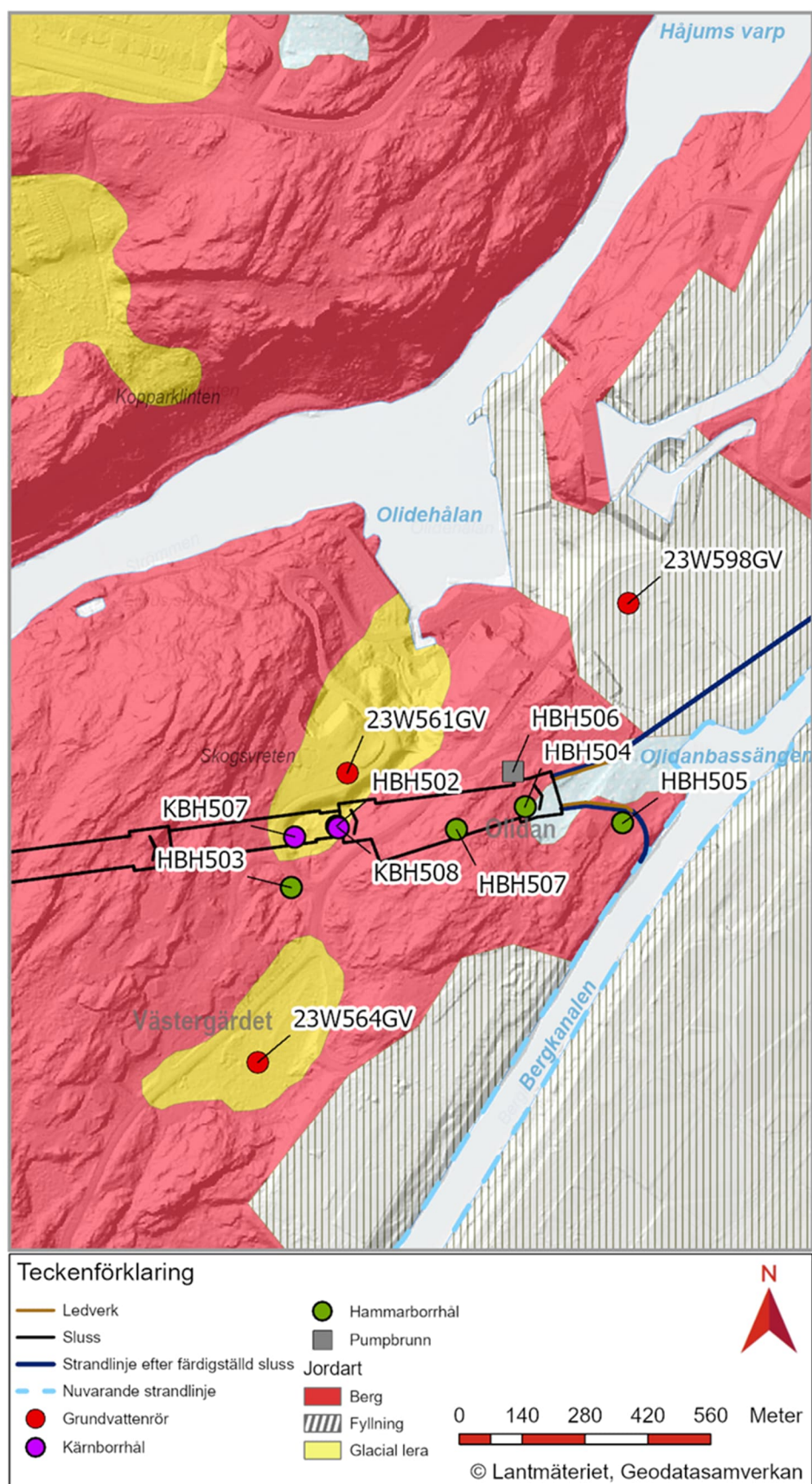
Efter att vattennivån i pumpbrunnen återhämtats gjordes ett andra försök att starta en längre provpumpning den 29 januari 2025 klockan 09:56. Det förinställda flödet på cirka 6,5 liter/minut nåddes inte, flödet justerades därför successivt upp till cirka 4,5 liter/minut vid klockan 10:38.

Den 30 januari 2025 klockan 02:00 hade vattennivån i pumpbrunnen sjunkit till pumpens intagsnivå, trots att ingen justering på ventil hade gjorts. Vid kontroll av avsänkningskurvan noterades att avsänkningen plötsligt accelererades, vilket kan bero på att ventilen rört sig eller att ytliga spricksystem med begränsad utbredning tömts, varvid den övriga bergmassan inte kunnat avge tillräckligt med grundvatten för det inställda flödet. Pumpen var dock fortsatt i gång och vattennivån låg kvar vid pumpens intagsnivå under resterande del av provpumpningen.

Den 31 januari 2025 gjordes ett fältbesök där det konstaterades att flödet låg på cirka 2,3 liter/minut. Inga justeringar utfördes. Den 5 februari gjordes ett till fältbesök varav flödet hade sjunkit till cirka 2 liter/minut. Den 7:e februari låg flödet fortsatt på 2 liter/minut och provpumpningen avslutades därefter samma dag.

4.4.1.1 Observationspunkter

Under provpumpningen följdes påverkan på grundvattennivåerna upp i totalt 10 observationspunkter. Observationspunkterna utgjordes av: HBH502, HBH503, HBH504, HBH505, HBH507, KBH507, KBH508, 23W561GV, 23W564GV och 23W598GV. Bergsborrhålen finns inom eller i precis anslutning till planerat läge för ny sluss, på som mest på cirka 100 meters avstånd sydost om pumpbrunnen och cirka 200 meters sydväst om pumpbrunnen. Grundvattenrören som användes för observation är utspridda över ett något större område, för placering av observationspunkter se Figur 12.



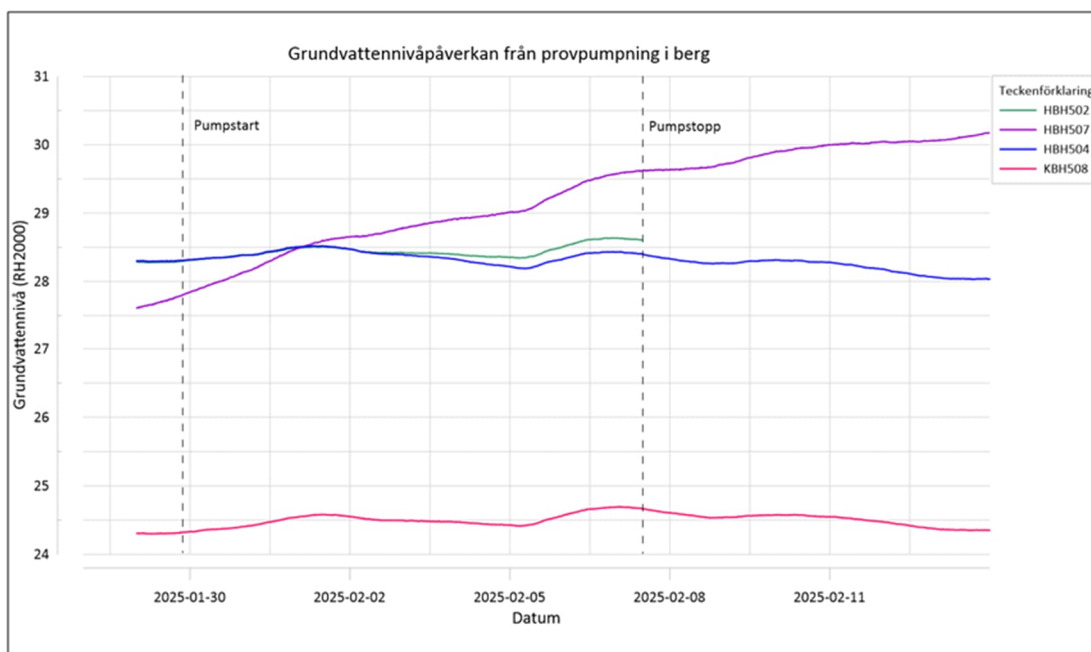
Figur 12. Observationspunkter i berg (KBH, HBH) och undre magasin i jordlager (grundvattenrör) vid provpumpning av HBH506.

4.4.1.2 Observerad grundvattenpåverkan

Vid provpumpningen har registrerats en möjlig påverkan i form av en avsänkt grundvattennivå i kärnborrhålet KBH508 samt hammarborrhålen HBH502 och HBH504, se Figur 13 samt Tabell 14. Den maximala avsänkningen som anges i Tabell 14 är baserad enbart på manuella mätningar.

Hammarborrhål HBH 507 uppvisar en stigande trend sedan borrhålet utfördes och visar troligen ingen påverkan från utförd provpumpning. I resterande mätpunkter kunde ingen påverkan på grundvattennivån noteras som tydligt kopplar till utförd provpumpning

Grundvattennivåerna i borrhålen KBH508, HBH502 och HBH504 avsänks inte direkt när avsänkningen påbörjas i HBH506, utan sker möjligen efter cirka två dagars pumpning. Av Figur 13 framgår att grundvattennivåerna i borrhålen reagerar på andra saker än enbart provpumpningen, samma mönster av stigande och sjunkande nivåer är synliga i alla kurvor, även HBH507. Den sjunkande trenden i HBH504 och KBH508 fortsätter även efter att provpumpningen avslutats, vilket kan bero på antingen en fördröjd respons på provpumpningen eller på en längre trend med avsänkning av grundvattennivåerna i berget, möjligen beroende på lägre infiltration.



Figur 13. Uppmätta grundvattennivåer i borrhål vid provpumpning av HBH506.

Tabell 14. Maximal uppmätt grundvattenavsänkning i observationspunkter vid provpumpning. Den maximala avsänkningen baseras på diverdata.

Observationspunkt [KBH]	Maximal avsänkning [meter]
HBH504	0,31
HBH502	0,22
KBH508	0,13

Ingen grundvattenpåverkan har observerat i grundvattenrör som sitter i jordlagren. Avsänkningen som skapade i berget sträcker sig inte tillräckligt långt ut för att nå de båda grundvattenrören som är belägna på längre avstånd. För det närmst belägna grundvattenröret, 23W561GV, kan en anledning till att ingen reaktion syns vara att trycksänkningen som skapades i berget inte medförde en tillräckligt stor nedåtriktad gradient för att för att avsänka ovanliggande jordlager.

4.4.1.3 Utvärderade hydrauliska parametrar

Utvärdering av hydrauliska parametrar har inte utförts för borrhålen HBH504, HBH502 och KBH508, då uppmätt avsänkning i borrhålen dels är relativt liten, dels kan bero på andra faktorer än själva provpumpningen i HBH506.

Utvärdering av hydrauliska parametrar för avsänkningsskurvan är vanskelig, då det finns en större felmarginal till följd av att pumpflödet successivt justerades under provpumpningens inledande skede. Det har därför enbart utförts utvärdering av återhämtningskurvan, med ett medelflöde för hela provpumpningen på cirka 2,6 liter/minut.

Dekadavsänkningen är cirka 62 meter för återhämtningskurvan. Magasinsmaktigheten har ansatts till cirka 35 meter. Utvärderade värden för transmissivitet, T, och konduktivitet, K, framgår av Tabell 15.

Tabell 15. Utvärderad transmissivitet och hydraulisk konduktivitet för HBH506

	Transmissivitet, T [m ² /s]	Hydraulisk konduktivitet, K [m/s]
Återhämtning	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$

4.4.2 Provpumpning HBH502

Inför start av provpumpning installerades en pump i HBH502 på 31 meters djup i brunnen och en tryckgivare på 33 meter djup.

Som förberedelse till uppstart av en längre provpumpning genomfördes den 20 februari 2025 en stegprov-pumpning. Avsänkning i pumpbrunnen registrerades med tryckgivare.

Första steget nådde ett flöde på cirka 4 liter/minut och under det andra steget nåddes ett flöde på cirka 15 liter/minut. Nivån i brunnen sjönk då snabbt ner till pumpintaget varvid testet avslutades och nivån i brunnen fick återhämtas. Baserat på stegprov-pumpningen bedömdes ett flöde på cirka 3,5 liter/minut vara lämpligt för en längre provpumpning.

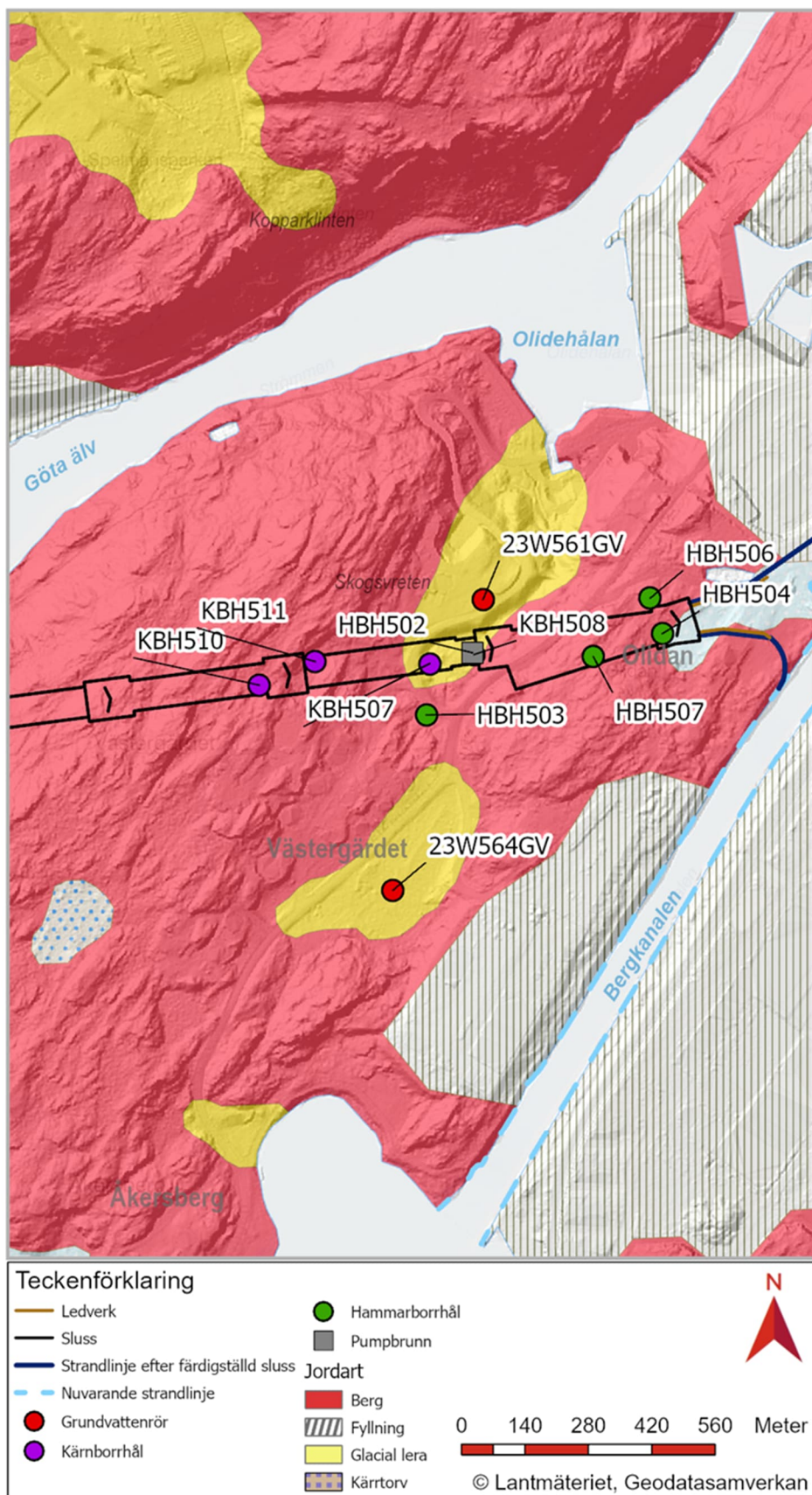
Den 24 februari 2025 klockan 10:06 startades provpumpningen. Det förinställda flödet på cirka 3,5 liter/minut nåddes inte utan provpumpningen startades på ett lägre flöde. Flödet justerades därför successivt upp till cirka 3 liter/minut, vilket nåddes vid klockan 10:32. Vid kl 13:23 hade grundvattennivån i pumpbrunnen sjunkit till strax ovan pumpens intagsnivå, flödet justerades ner och hamnade slutligen på cirka 0,25 liter/minut.

Den 26 februari 2025 gjordes ett fältbesök där det konstaterades att flödet sjunkit till att vara omätbart och att grundvattennivån hade börjat återhämta sig. Flödet ökades därmed marginellt till 0,2 liter/minut för att inte sjunka direkt ner till pumpens intagsnivå igen. Mätning bekräftade att grundvattennivån i brunnen började avsänkas igen. Efter några timmar avstannade avsänkningen och grundvattennivån i brunnen började återhämtas igen.

Den 27 februari 2025 ökades flödet till cirka 1 liter/minut, vilket ledde till att grundvattennivån i brunnen började avsänkas igen. Grundvattennivån sjönk dock till pumpens intagsnivå och pumpen slog av sig själv den 28:e februari 2025 cirka klockan 04:30, varvid återhämtningen av grundvattennivån i brunnen påbörjades.

4.4.2.1 Observationspunkter

Under provpumpningen följdes påverkan på grundvattennivåerna upp i totalt 10 observationspunkter. Observationspunkterna utgjordes av HBH502, HBH503, HBH504, HBH506, HBH507, KBH507, KBH508, KBH510, KBH511, 23W561GV och 23W564GV. Bergsborrhålen finns inom eller i precis anslutning till planerat läge för ny sluss, på som mest cirka 150 meters avstånd öster om pumpbrunnen och cirka 170 meters avstånd väster om pumpbrunnen. Grundvattenrören som användes för observation är utspridda över ett något större område, för placering av observationspunkter, se Figur 14.

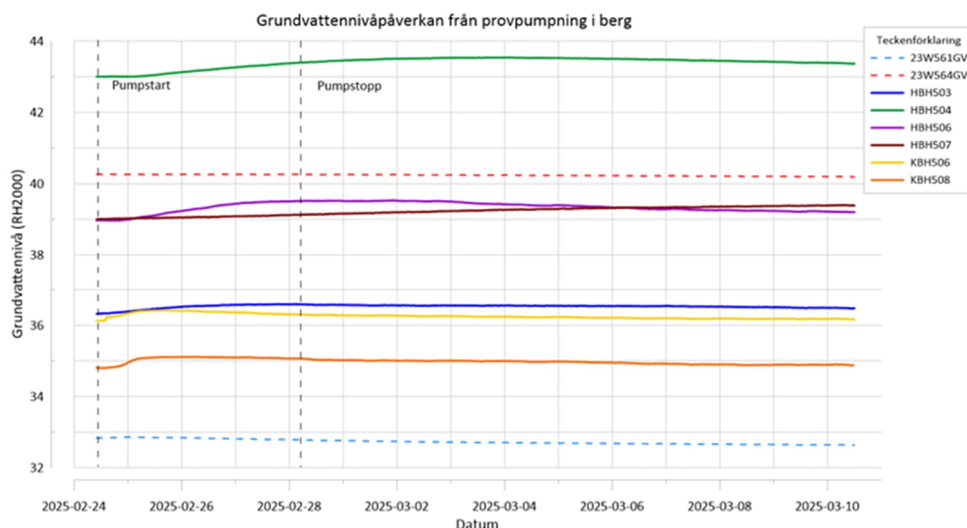


Figur 14. Observationspunkter i berg (HBH, KBH) och undre magasin i jordlager (grundvattenrör) vid provpumpning av HBH502.

4.4.2.2 Observerad grundvattenpåverkan

Ingen av observationspunkterna uppvisar någon påverkan på grundvattennivån som tydligt kopplar till utförd provpumpning. En viss avsänkning syns i observationspunkten 23W561GV under provpumpningen. Denna avsänkning bedöms dock inte bero på provpumpningen, då vattennivån fortsätter att sjunka även efter att provpumpningen avslutats.

Se Figur 15 för en översikt för grundvattennivåer i observationspunkterna.



Figur 15. Uppmätta grundvattennivåer i observationspunkter vid provpumpning.

Ingen grundvattenpåverkan har observerats i grundvattenrör som sitter i jordlagren. Avsänkningen som skapades i berget sträcker sig inte tillräckligt långt ut för att nå de båda grundvattenrören som är belägna på längre avstånd. För det närmast belägna grundvattenröret, 23W561GV, kan en anledning till att ingen reaktion syns vara att trycksänkningen som skapades i berget inte medförde en tillräckligt stor nedåtriktad gradient för att för att avsänka ovanliggande jordlager.

4.4.2.3 Utvärderade hydrauliska parametrar

Utvärdering av hydrauliska parametrar har enbart utförts för pumpbrunnen HBH502, då ingen påverkan konstaterats i någon av de övriga observationspunkterna.

Utvärdering av hydrauliska parametrar för avsänkingskurvan är vanskelig, då det finns en större felmarginal till följd av att pumpflödet successivt justerades under provpumpningen. Det har därför enbart utförts utvärdering av återhämtningskurvan. Försöken att ställa in ett flöde som innebar en lagom stor avsänkning i pumpbrunnen under provpumpningen visar att ett flöde på cirka 0,25 liter/minut är ett för litet flöde och att cirka 1 liter/minut är för högt. För utvärderingen har ett flöde på cirka 0,5 liter/minut använts som ett rimligt värde.

Dekadavsänkningen är cirka 49 meter för återhämtningskurvan.

Magasinsmäktigheten har ansatts till cirka 31,5 meter. Utvärderade värden för transmissivitet, T, och konduktivitet, K, framgår av Tabell 16.

Tabell 16. Utvärderad transmissivitet och hydraulisk konduktivitet för HBH502

	Transmissivitet, T [m²/s]	Hydraulisk konduktivitet, K [m/s]
Återhämtning	3,1 · 10 ⁻⁸	9,9 · 10 ⁻¹⁰

5 Beräkningar

5.1 Hydraulisk konduktivitet i berg

En översiktlig analys av bergets storskaliga vattenförande egenskaper genomfördes för att använda som underlagsdata till den tredimensionella grundvattenmodellen som beskrivs senare i denna handling. Analysen gjordes genom studie av data ur SGU:s brunnarkiv. Beräkning av brunnstransmissivitet gjordes med metod efter Ryd (2017). Inom valt sökområde identifierades totalt 1 186 bergborrade brunnar med beräkningsbara data.

Medelkonduktivitet (K) för respektive brunn beräknades som brunnstransmissivitet (T) för den borrade längden (L) som brunnen penetrerar i berget.

För att undersöka eventuella mönster som skulle kunna ge stöd för indelning i olika hydrogeologiska domäner studerades brunnarnas läge jämte dess respektive medelkonduktivitet. SGU:s kartläggning av bergets hydrauliska konduktivitet (K-värde) i detta område tyder på en stor variation mellan olika brunnar (SGU, 2021).

Utifrån tillgängliga data kan det inte med säkerhet fastställas att det aktuella området tillhör en viss domän med tätare, alternativt mer genomsläppligt berg än omgivningen. Således har ingen vidare klassificering gjorts med avseende på bergets vattenförande förmåga.

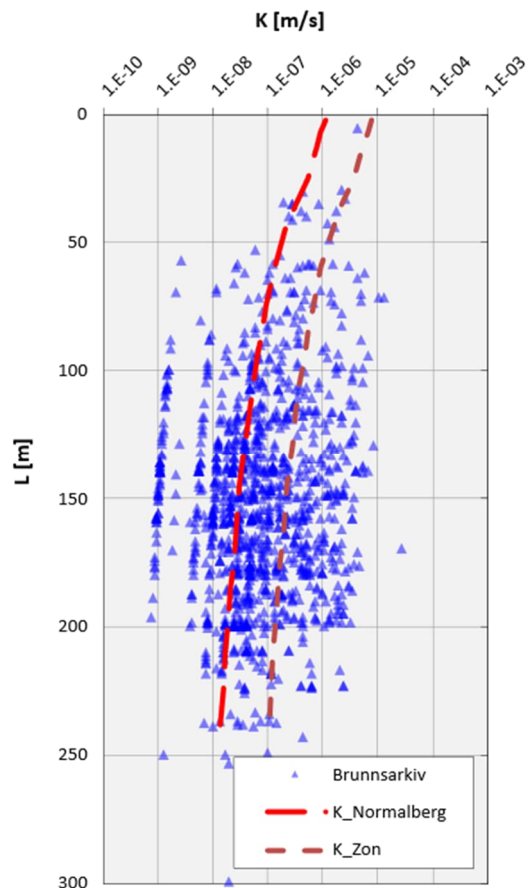
K-värde beräknades för brunnar indelade efter djup i berg (populationer). Skäl för indelning i olika populationer är att de vattenförande egenskaperna för det kristallina berget generellt uppvisar ett tätare berg mot djupet och att detta djupavtagande av K-värde är ofta lognormalfördelad (Gustafson, 2009).

Spridningsmönstret i Figur 16 representerar ett medel K-värde för brunnsdjupet för respektive bergborrade brunn.

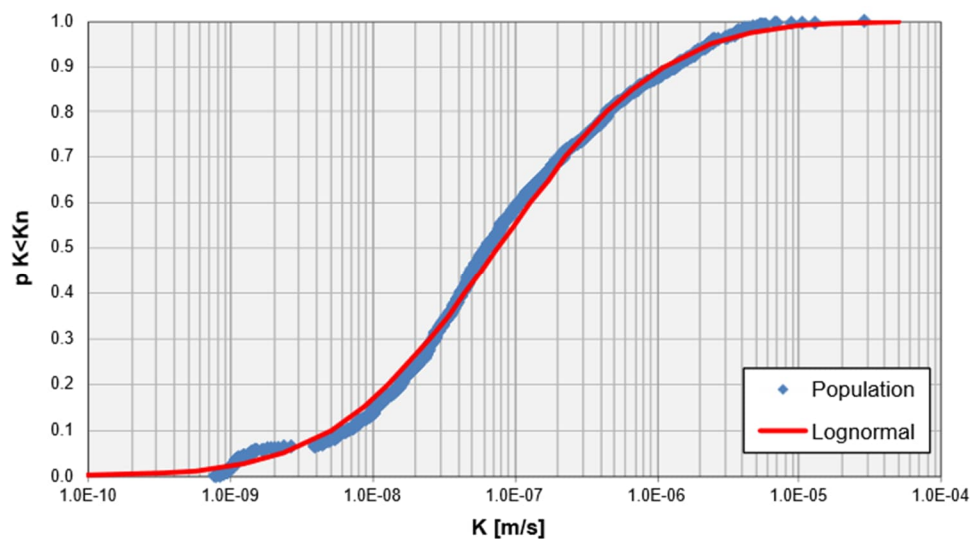
Den hydrauliska konduktiviteten i berget inom aktuellt område beräknades enligt ekvation 1 för samtliga 1 186 bergborrade brunnar.

$$K = 0,076 * \text{Flöde}^{\frac{1,026}{\text{borrdjup i berg}}} \quad (\text{ekv 1}) \text{ (Ryd, 2017)}$$

Med antagandet att samtliga brunnar tillhör samma domän gjordes en analys som visar att populationen är lognormalfördelad, se Figur 17, vilket möjliggör vidare utvärdering av statistiska parametrar för populationen.



Figur 16. Utvärderade K -värden plottade mot brunnnsdjupet, och utvärderad djupavtagande för hydraulisk konduktivitet ($K_{Normalberg}$) och svaghetszoner (K_{Zon}).



Figur 17. Lognormalfördelning av utvärderad hydraulisk konduktivitet för aktuell brunnspopulation (1 186 st.). Den storskaliga hydrauliska konduktiviteten (K_{3D}) utvärderades till $1,6 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Till populationen anpassades en lognormalfördelning med standardavvikelse och medelvärde. Utifrån detta erhålls ett geometriskt medelvärde på $K_g = 7,5 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Från denna borrhålsskala kan en storskalig effektiv hydraulisk konduktivitet (K_{3D}) utvärderas enligt Matherons förmodan (ekvation 2) till $K_{3D} = 1,6 \cdot 10^{-7}$ m/s.

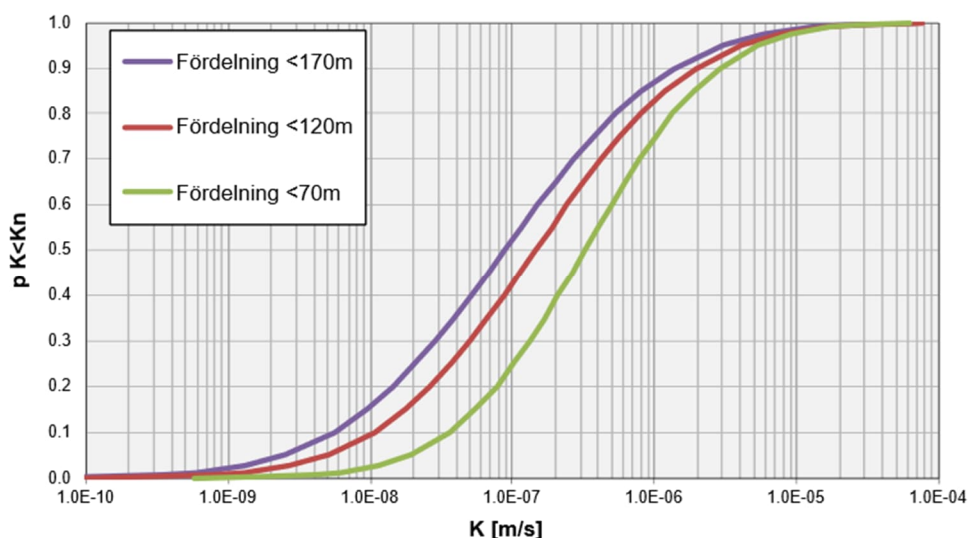
$$K_{3D} = K_g * e^{\sigma^2 \frac{2}{6}} \quad (\text{ekv 2}) \quad (\text{Gustafson, 2009})$$

För att utvärdera djupavtagandet för den hydrauliska konduktiviteten användes en metod där den sammantagna populationen indelades i olika delpopulationer efter brunnnsdjup. Varje delpopulation analyseras för att beräkna en storskalig hydraulisk konduktivitet (K_{3D}) per indelning.

De studerade delpopulationerna valdes till:

- brunnar djup i berg (L) <170 m
- brunnar djup i berg (L) <120 m
- brunnar djup i berg (L) <70 m

En sammanställning av fördelningarna för de olika delpopulationerna visar att det finns ett statistiskt säkerställt djupavtagande för K, se Figur 18.



Figur 18. Lognormalfördelade populationer indelade efter djup i berg.

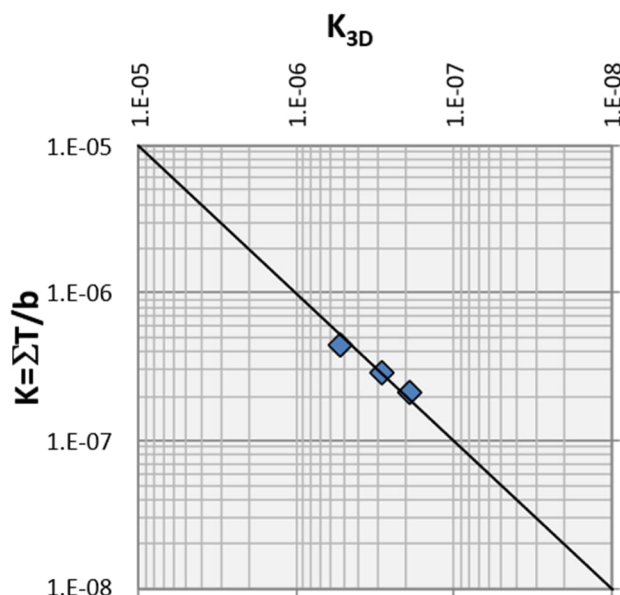
K_{3D} -värden beräknades för de tre fördelningarna, vilka sedan används för att utvärdera K-värdets djupavtagande i berg. Djupavtagandet antas följa ett samband enligt ekvation 3.

$$K = C * (\text{djup i berg})^L \quad (\text{ekv 3}) \quad (\text{Naturvårdsverket, 1997})$$

För att bestämma konstanterna (C och L) som ger ett djupavtagande som stämmer med utvärderad population användes K_{3D} -värdena för de olika delpopulationerna som passningsparametrar till det beräknade K-värdet med potensfunktionen $K_{\text{Normalberg}}$. Passningen gjordes manuellt genom en summering av transmissivitet för

respektive studerad bergmäktighet, där medelvärdet för konduktiviteten för studerad mäktighet antogs till $K=\Sigma T/b$, se Figur 19.

Konstanterna C och L blir då $9.3E^{-05}$ respektive -1.60.



Figur 19. Passningen mellan utvärderade K_{3D} och beräknad $K=\Sigma T/b$ för respektive population.

5.2 Grundvattenmodell

5.2.1 Mjukvara

En tredimensionell numerisk grundvattenmodell har upprättats. Grundvattenmodellen har byggts upp i programmet Visual MODFLOW (VMF). VMF är en pre- och postprocessor för den finita differenskoden MODFLOW (Harbaug & McDonald 1988), vilken beräknar grundvattenflöde i tre dimensioner. MODFLOW är en av de mest spridda och allmänt accepterade koderna för numerisk modellering av grundvattenflöden. Samtliga simuleringar har utförts med lösaren (solver) MODFLOW-NWT (Niswonger 2011). En lösare i MODFLOW är ett beräkningsverktyg som används för att hitta lösningar på grundvattenflödesekvationerna.

5.2.2 Simuleringsmetod

Utförda modellsimuleringar har körts med stationära förhållanden.

Stationära förhållanden innebär att grundvattennivåförändringar till följd av grundvattenbortledningen är fullt utvecklade till det avstånd där det hydrogeologiska systemet står i jämvikt med nybildningen av grundvatten till grundvattenmagasinet. Avståndet till jämviktsläget kommer att vara störst i

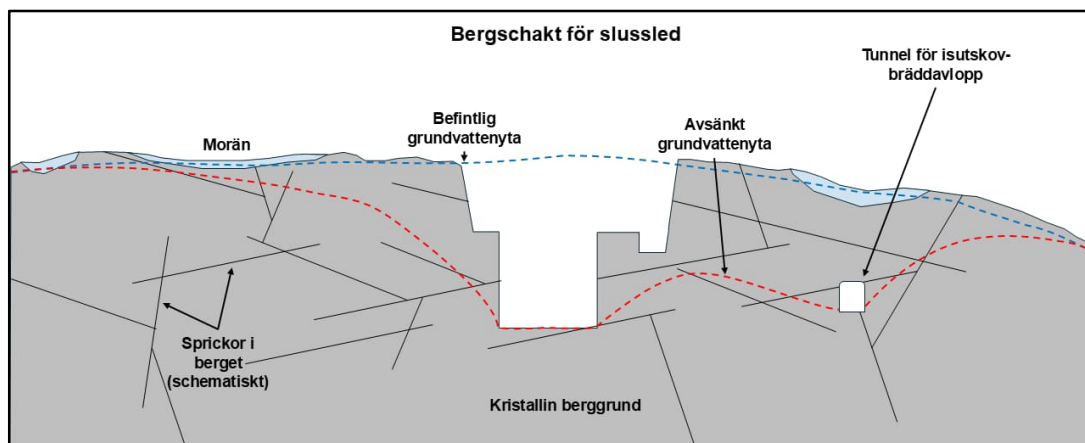
anläggningsskedet, då grundvattenbortledningen sker till de djupare nivåer som schaktbottnarna utgör. I driftskedet blir avståndet mindre, då grundvattenbortledningen sker till vattenytan i respektive slusssteg och Slusskanalen när dessa är fyllda till sitt övre läge.

Den tid som vattenytan i en sluss är sänkt till sitt nedre läge vid slussning är väldigt kort och kommer inte medföra att ytterligare grundvattennivåförändring hinner utbildas. Vid underhållsarbeten i slussarna är vattenytan sänkt till botten av respektive slusskammare och Slusskanalen, vanligen under en tidsperiod av cirka tre veckor. Även om grundvattenytan i berget vid sidan av respektive slusskammare kommer att börja sänkas av något mer jämfört med när vattenytan är i sitt övre läge kommer det att gå långsamt då berget är relativt tätt. Den extra avsänkningen som kan ske vid underhållsarbeten bedöms därför inte nå ut så pass långt att det hinner göra någon ytterligare påverkan på allmänna eller enskilda intressen.

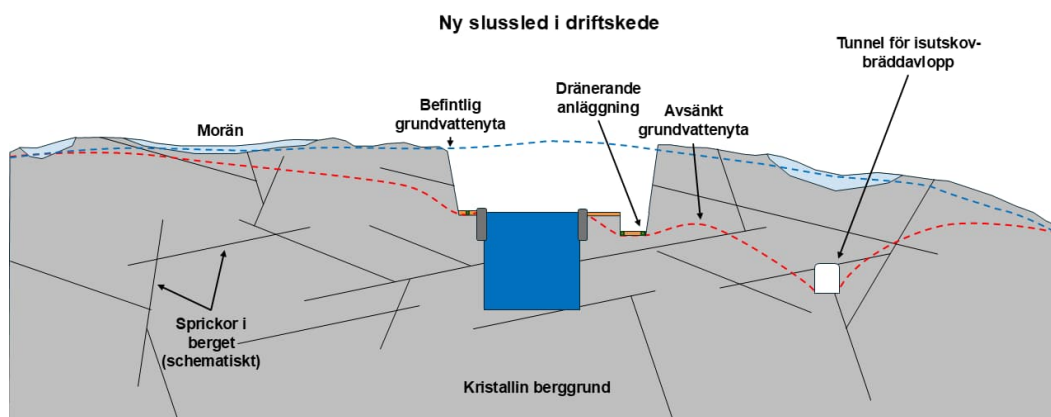
Eftersom modelleringen utförts vid stationära förhållanden är det inte möjligt att undersöka tiden det tar för en grundvattensänkning att fullt utvecklas i grundvattenmagasinet. Stationära förhållanden bedöms dock uppnås under anläggningsskedet.

5.2.3 Konceptualisering

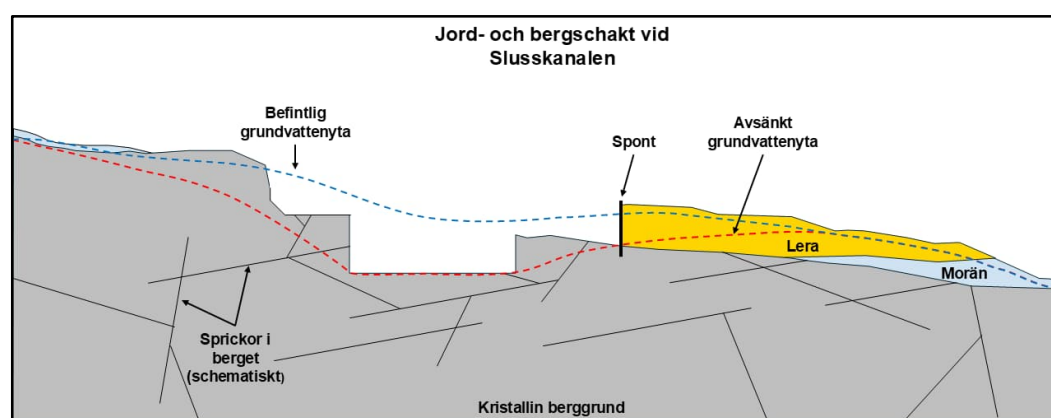
Grundvattenmodellen bygger på en konceptuell modell upprättad inom ett hydrauliskt avgränsat område. Modellutformningen grundas på de hydrogeologiska och geologiska förutsättningarna som beskrivs i kapitel 2 Platsspecifika förhållanden samt projekterade anläggningar enligt projekteringsunderlag redovisade i kapitel 3 Planerade anläggningar. Se Figur 20 och Figur 21 för konceptuell hydrogeologisk modell för Sluss 3 och 4 samt Figur 22 och Figur 23 för Slusskanalen.



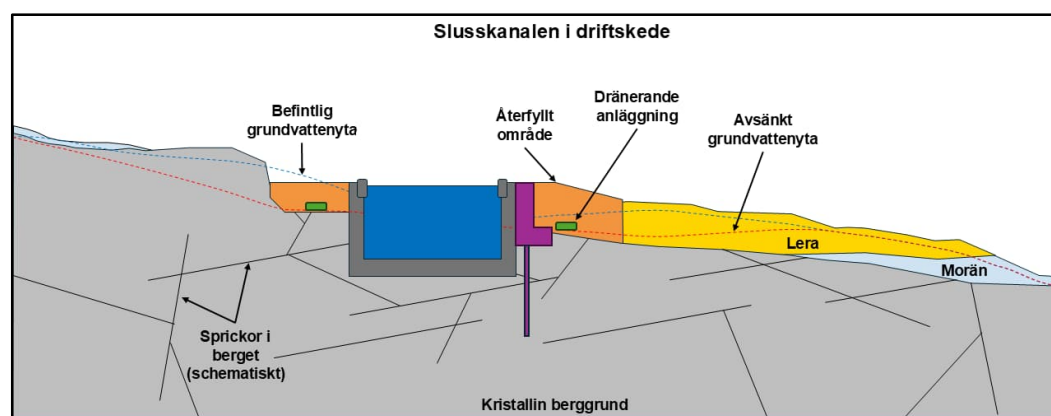
Figur 20. Konceptuell hydrogeologisk modell för området runt den nya slussleden med bergschakt för ny slussled och tunnel för isutskov-bräddavlopp (anläggningsskede).



Figur 21. Konceptuell hydrogeologisk modell för området runt den nya slussleden med bergschakt för ny slussled och tunnel för isutskov-bräddavlopp (driftskede med fyllda slussar).



Figur 22. Konceptuell hydrogeologisk modell för anläggningsskede med jord- och bergschakt med spont vid Slusskanalen.



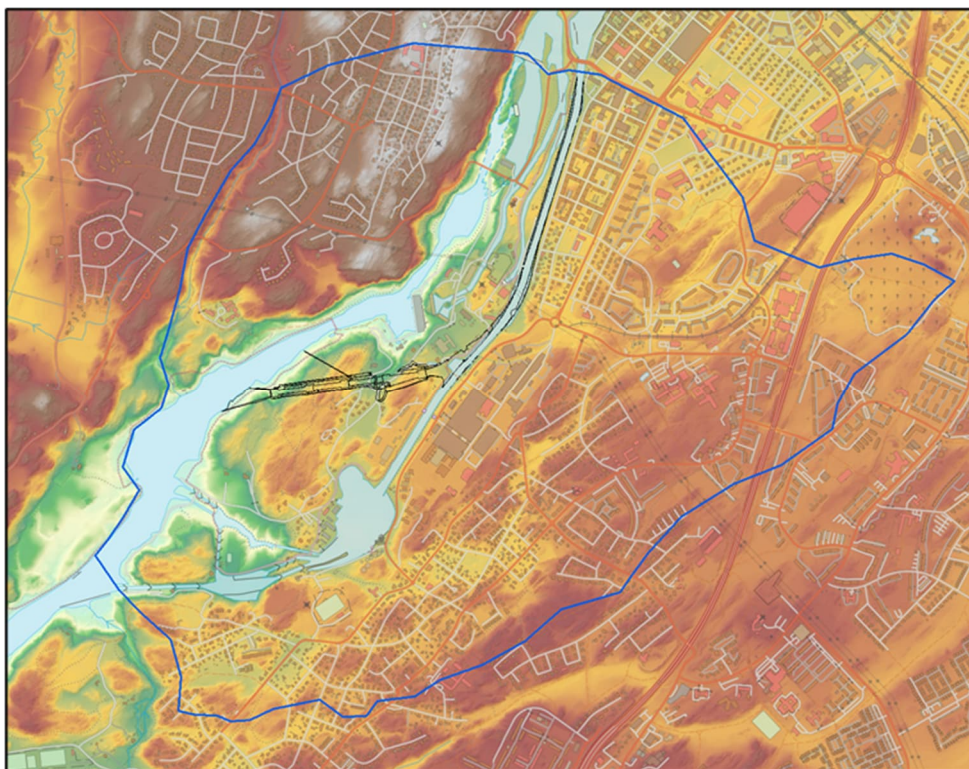
Figur 23. Konceptuell hydrogeologisk modell för driftskede vid Slusskanalen med tät betongkonstruktion (grå) alternativt betongdamm med tätningsåtgärd i form av injektering under (lila).

Den konceptuella modellen, det vill säga en tolkning och bedömning av områdets geologiska och hydrogeologiska förutsättningar, dess geometri och hydrauliska egenskaper, har översatts till en tredimensionell numerisk modell för att möjliggöra prediktiv simulering av olika scenarier. Detta möjliggör simulering av den

grundvattenpåverkan som kan förväntas till följd av både tillfällig och permanent grundvattenbortledning under anläggningskede respektive driftskede, samt beräkning av grundvattenbortledningens storlek.

Grundvattenmodellen är uppbyggd som en platsspecifik modell, det vill säga att modellen är upprättad inom ett hydrauliskt avgränsat område med hänsyn till de lokala förutsättningar som gäller runt intresseobjektets närområde.

Modelldomänen, det vill säga modellens avgränsade område redovisas i Figur 24.



Figur 24. Modelldomän i förhållande till planerade anläggningar.

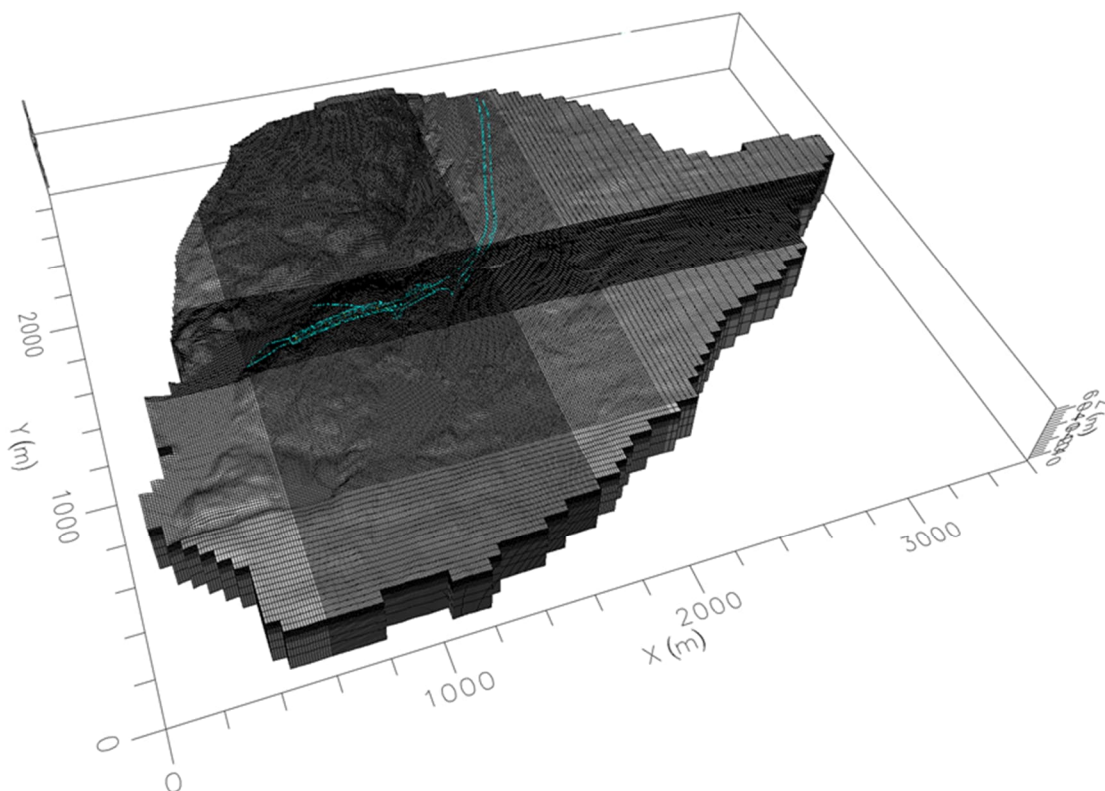
5.2.4 Modelluppbyggnad

Modelldomän och diskretisering

Modelldomänens avgränsning valdes så att den är väl tilltagen i förhållande till planerade anläggningar och områdets geologiska och hydrogeologiska förutsättningar.

Diskretisering i plan varierar från en cellstorlek om 5 x 5 meter runt planerad sluss till 10 x 50 meter vid modellens gränser.

I vertikalled är modellen uppbyggd av 16 beräkningslager för representation av jord och berg, uppdelat på 2 lager för jord och 14 för berg. Lagermäktigheten för jordlagren varierar mellan cirka 0,5 meter och upp till cirka 5 meter. Berget har lagts in som 14 beräkningslager med total mäktighet på 250 meter från bergets överyta. Lagermäktigheten för berg varierar mellan 5 meter och upp till 80 meter.



Figur 25. Modellens tredimensionella utformning. Områden för ny slussled och justeringar i bergkanalen anges med turkosa linjer.

Modellens tredimensionella utformning framgår av Figur 25.

Marktopografi

Inom projektet har en markmodell tagits fram. För detaljerad beskrivning av markmodellen hänvisas till *PM Markmodell* (WSP 2025a). Markmodellen är dock begränsad till närområdet för nytt slussläge och övriga planerade anläggningar. Därav har en utökad markmodell tagits fram för att användas i grundvattenmodellens domänområde. Den utökade markmodellen baseras på LiDAR data över aktuellt område, erhållen från Lantmäteriet©.

Jordmodell

Inom projektet har en jordmodell framtagits. För detaljerad beskrivning av jordmodellen hänvisas till *Beräknings-PM Släntstabilitet, Ny sluss och farled* (WSP 2025b). Jordmodellen har använts som underlag för indelning av beräkningslager i grundvattenmodellen. Jordlagerföljden och dess mäktighet baseras i första hand på jordmodellen. Jordmodellen är dock begränsad till närområdet för nytt slussläge och övriga planerade anläggningar. Därav har jordlagerföljden, dess utbredning samt mäktighet i övriga delar av modellen ansatts efter geologisk tolkning med stöd av SGU:s jordartskarta och jorddjupskarta.

Batymetri

Bottengeometrier för Göta älv, Bergkanalen och Åkers sjö, har undersökts genom batymetriska mätningar och har varit tillgängliga i projektet. För mer detaljerad beskrivning av batymetrin hänvisas till *PM Markmodell* (WSP 2025a).

Tillgängliga data för bottengeometrier saknades för Gamledalen, Höljan, Olidehålan, Håjums varp, Flottbergströmmen uppströms från och inklusive Elvius sluss, gamla Bergkanalen samt inloppet till vattenkraftverket. För områden där batymetriska data saknades har markmodellen fyllts ut med en tolkad bottennivå som baseras på områden med tillgängliga data samt genom tolkning av rimligt djup och utformning.

Bottengeometrierna har integrerats i ett beräkningslager i grundvattenmodellen.

Bergmodell

Bergöverytan utgår ifrån projektets upprättade bergmodell, som baseras på utförda JB-sonderingar, kärnbörningar och antaget berg i dagen från markmodell. För detaljerad beskrivning av bergmodellen hänvisas till *PM Bergteknik* (WSP 2025c). Den ursprungliga bergmodellen är dock koncentrerad i närområdet till nytt slussläge och täcker således inte avgränsad modelldomän. Därav har en utökad bergmodell tagits fram för att användas i grundvattenmodellen.

Den utökade bergmodellen baseras, utöver befintlig bergmodell och tillgängliga historiska sonderingar utanför denna, på observerade bergstopp hämtade från SGU:s jorddjupsmodell samt intolkade punkter från markmodellen där berg går i dagen.

5.2.5 Randvillkor

Modellgränser

Modellavgränsningen utgörs av bedömda vattendelare. För dessa gäller "No Flow Boundary", vilket innebär att inget vatten kan strömma förbi avgränsningen.

Ytvatten

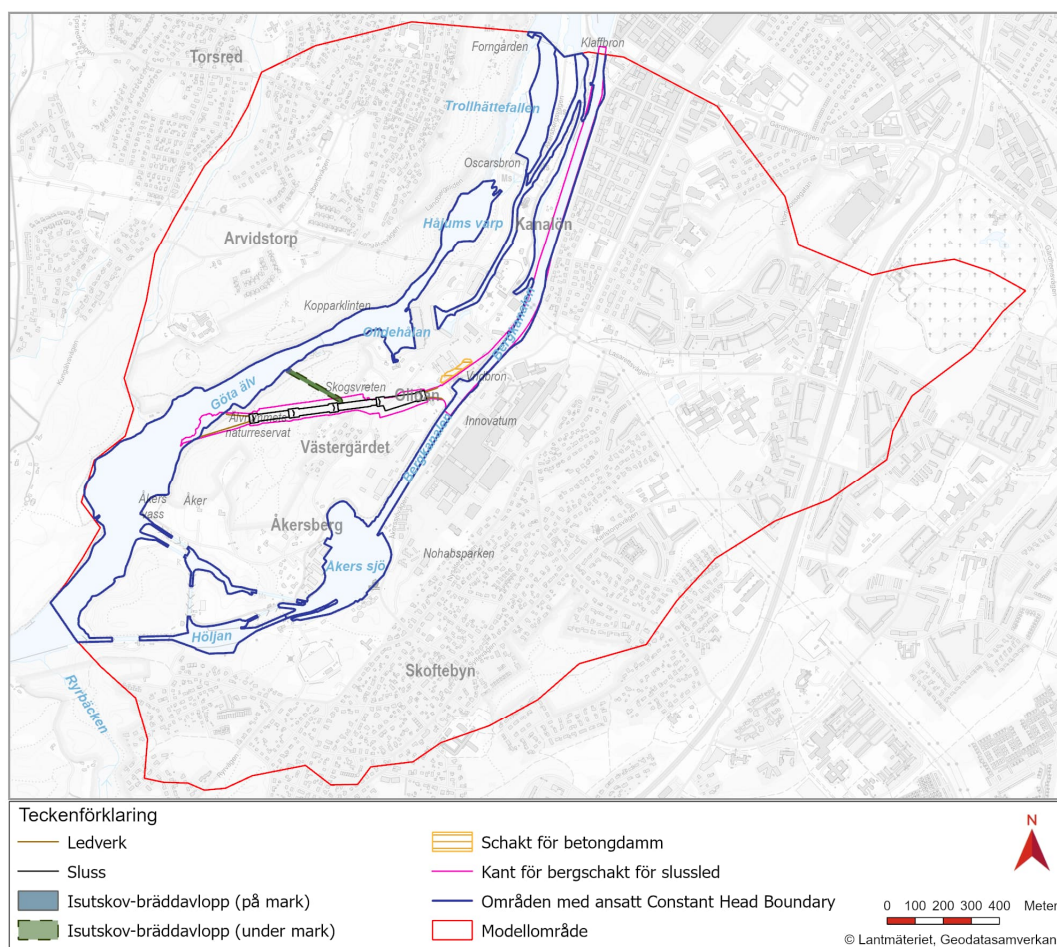
Inom avgränsat område utgör i första hand vattennivån i Göta älv, Olidehålan, Bergkanalen, Gamledalen, Åkers sjö och Höljan styrande randvillkor för grundvattenströmningen. Även nya och befintliga slussar som generellt hålls vattenfyllda, eller slussar som har samma vattennivå som angränsande ytvatten har betydande inverkan på tryckgradienter och strömningsmönster för grundvatten i berg.

För att simulera dessa randvillkor har en "Constant Head Boundary" (CHB) ansatts, vilket innebär att en konstant trycknivå hålls. Ansatta CHB nivåer framgår av Tabell 17 och Figur 26.

Tabell 17. Ansatta nivåer för områden med "Constant-Head Boundary" (CHB)

Område/objekt	Nivå nuläge	Nivå driftskede
Göta älv inkl. Flottbergsströmmen och Håjums varp	+8,0	+8,0
Gamledalen	+17,0	+17,0
Höljan	+31,3	+30,3
Åkers sjö	+39,4	+39,4
Bergkanalen	+39,4	+39,4
Inloppskanal till vattenkraftverk	+39,4	+39,4
Sluss 2 (1916)	+39,4	+30,3
Sluss 3 (1916)	+31,3	+30,3
Sluss 5 (1916)	+8,0	+8,0
Sluss 4 (1844)	+31,3	+30,3
Sluss 8 (1844)	+17,0	+17,0
Sluss 11 (1844)	+8,0	+8,0
Sluss 12 (1844)	+8,0	+8,0
Sluss 5 (1800)	+17,0	+17,0
Sluss 7 (1800)	+8,0	+8,0
Sluss 8 (1800)	+8,0	+8,0
Sluss 2	-	+39,4
Slusskanal	-	+31,8
Sluss 3	-	+31,8
Sluss 4	-	+19,8
Utlöpp Sluss 4	-	+8,0

I nordväst, norr om Göta älv, rinner vattendraget Strömlundsbäcken längs med modelldomänens avgränsning. För att simulera vattendraget har en "River Boundary" (RIV) ansatts. Vattennivån i bäcken har ansatts till 0,1 meter under markytan.



Figur 26. Modellområde, avgränsat med en "no flow boundary", och områden med ansatt Constant-Head Boundary (CHB) inom modellområdet.

De äldre slusslederna från år 1800 och 1844 samt den befintliga slussleden från 1916 har betydande inverkan på tryckgradients och strömningsmönster för grundvatten i berg då dessa har en dränerande effekt. Vattennivån i respektive slusskammare antas dräneras till slussbottennivå, vilken har utvärderats med hjälp av tillgängliga höjddata.

Slussledens inverkan har simulerats med hjälp av en Drain Boundary (DRN), vilket innebär en övre gräns för vattennivån. Ansatta nivåer för DRN framgår av Tabell 18.

Grundvattenbildning

Grundvattenbildning i ett område skiljer sig beroende på vad som finns i ytan inom området, där jordlager generellt är genomsläppligare än till exempel asfalt. För en grundvattenmodell sätts därför olika värden på den potentiella grundvattenbildningen i ett område utifrån bedömningar baserat på publicerade uppgifter och erfarenhetsbaserade värden. Den potentiella grundvattenbildningen benämnt "Recharge" över modellområdet har delats upp i två delar, där Recharge för områden med morän, lera, berg i dagen och vid randzonen mellan jord och berg ansatts till 420 millimeter/år och för hårdgjorda ytor med bedömd lägre

infiltrationskapacitet till 100 millimeter/år. Den potentiella grundvattenbildningen kan därmed vara både större och mindre än nettonederbörden för ett område.

Tabell 18. Ansatta nivåer för gamla slussled "Drain Boundary" (DRN) i den befintliga och de äldre slusslederna

Område/Objekt	Nivå nuläge	Nivå driftskede
Sluss 4 (1916)	+9,0	+9,0
Sluss 2 (1844)	+36,0	+36,0
Sluss 3 (1844)	+32,0	+32,0
Sluss 5 (1844)	+24,0	+24,0
Sluss 6 (1844)	+21,0	+21,0
Sluss 7 (1844)	+18,0	+18,0
Sluss 9 (1844)	+11,0	+11,0
Sluss 10 (1844)	+11,0	+11,0
Sluss 2 (1800)	+32,0	+32,0
Sluss 3 (1800)	+26,0	+26,0
Sluss 4 (1800)	+20,0	+20,0
Sluss 6 (1800)	+11,0	+14,0

Hur stor del av grundvattenbildningen som kan tillföras grundvattenmagasin i berg samt eventuella undre grundvattenmagasin under lera är en styrande parameter för vattentillgången i dessa magasin. Nybildning av grundvatten till undre grundvattenmagasin under lera sker primärt vid grundvattenmagasinens randzoner (övergång mellan jord och berg).

Grundvattenströmning till berg sker primärt från ovanliggande magasin i jord och sekundärt som direkt perkolation från omättad zon till mättad zon i berg. Nybildning av grundvatten till berg sker framför allt inom inströmningsområden för grundvatten (nedåtriktad gradient). Grundvattenbildning till berg är alltså särskilt kopplat till huruvida det finns ett ovanförliggande jordtäckte eller inte samt lokala terrängförhållanden (in- respektive utströmningsområden).

Faktisk tillförsel av vatten till magasin i berg i områden med berg i dagen kan således vara betydligt mindre än den potentiella grundvattenbildningen som gäller för området.

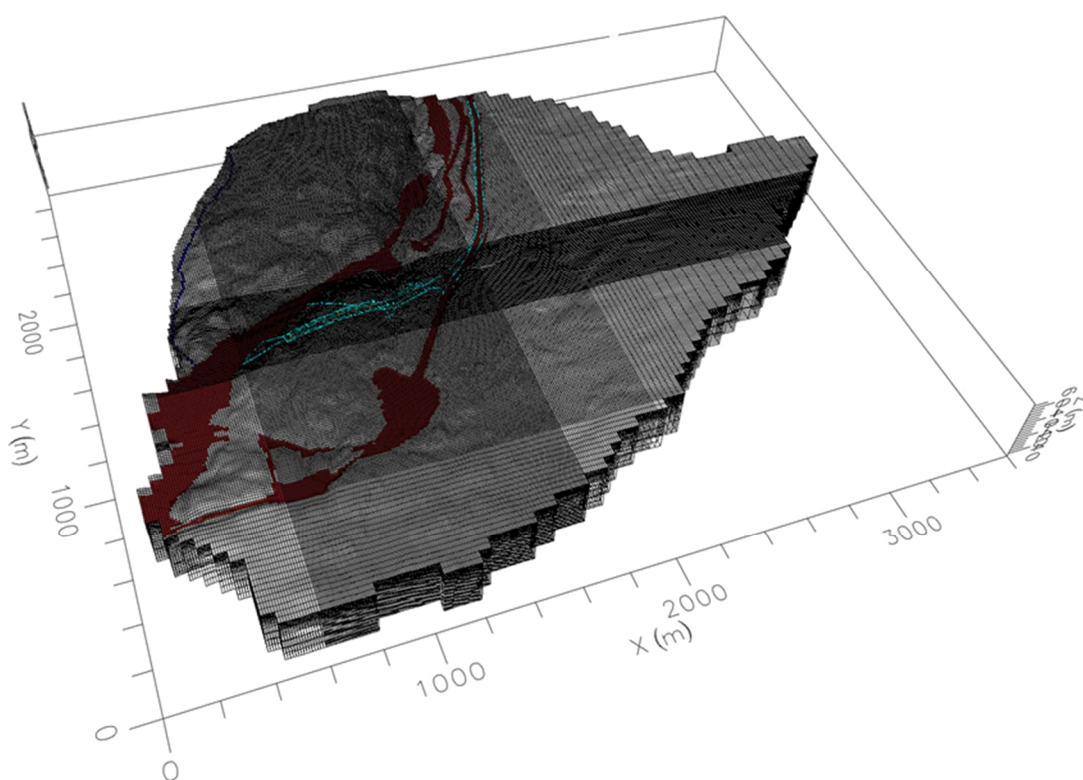
För utströmningsområden sker det principiellt inte någon grundvattenbildning till berg där det förekommer ett ovanförliggande jordtäckte. Däremot kan det förekomma viss grundvattenbildning till berg om det saknas jordtäckte i områden med omättad zon i berg.

Inom aktuellt område för den nya slussleden sker även ett tillskott av vatten från Bergkanalen till grundvattenmagasinet. Vilken av dessa flödesvägar som är huvudsakligt styrande för vattentillgången i det undre grundvattenmagasinet vid den nya slussen är en viktig komponent som ska betraktas under modellkalibreringen. Tillskott via grundvattenströmning genom ovanliggande lerlager kan förutsättas vara litet, men simuleras även i modellen.

Ytlig avrinning och omättad zon

En "Drain Boundary" har ansatts till 0,5 meter under markytan för att simulera den omättade zonen i jordlagren samt avrinning av ytligt grundvatten till bäckar och vattendrag.

En översiktlig visualisering av modellens ansatta randvillkor framgår av Figur 27.



Figur 27. Visualisering av modellens ansatta randvillkor. Röda områden avser "Constant Head Boundary" (CHB), mörkblåa områden avser "River Boundary". Gråa områden avser områden med ytlig avrinning/omättad zon ("Drain Boundary") samt grundvattenbildning ("Recharge"). Områden för ny slussled och justeringar i bergkanalen anges med turkosa linjer.

5.2.6 Hydrauliska parametrar

Hydraulisk konduktivitet

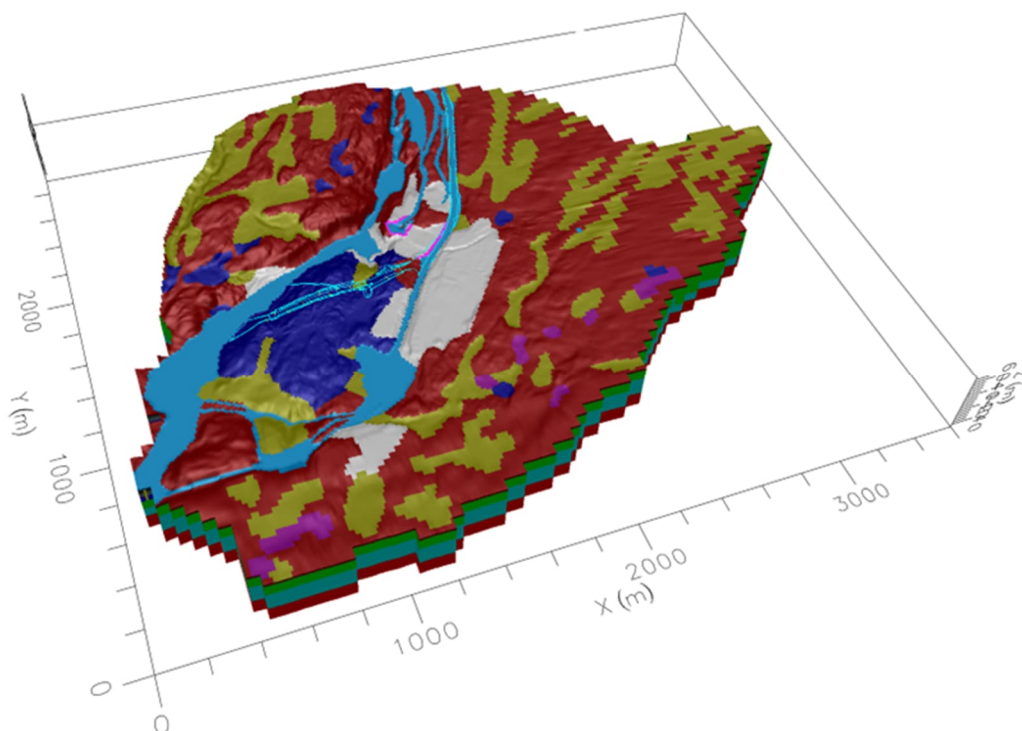
För stationära simuleringar används endast hydraulisk konduktivitet. För transienta simuleringar är även magasinskoefficient (S_s) och vattenavgivningstal (S_y) av betydelse.

Värden för hydraulisk konduktivitet i olika jordarter har initialt ansatts efter litteraturvärden och utförda slugtester, och sedan kalibrerats mot uppmätta nivåer. Avseende berg har hydraulisk konduktivitet initialt ansatts utifrån värden som beräknats enligt metoden beskriven i kapitel 5.1, varefter värdena modifierats efter tolkningar av områdets geologi samt resultat från utförda vattenförlustmätningar och provpumpningar.

I modellen använda hydrauliska parametrar framgår av Tabell 19. Översiktlig indelning av modellens ansatta hydrauliska parametrar för beräkningslager 1 framgår av Figur 28.

Tabell 19. Kalibrerade hydrauliska parametrar. K_h avser hydraulisk konduktivitet i horisontalled, K_v avser hydraulisk konduktivitet i vertikalled.

Geologisk enhet	K_h (m/s)	K_v (m/s)
Morän	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Sand	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Torv	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Lera	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$
Fyll	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Fyll, grov	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Kajkonstruktion	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$
Betongkonstruktion	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$
Berg i dagen (0 - 10 m)	$9,3 \cdot 10^{-7}$	$9,3 \cdot 10^{-7}$
Kristallint berg I (10 - 20 m)	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$
Kristallint berg II (20 - 40 m)	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$
Kristallint berg III (50 - 70 m)	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
Kristallint berg IV (0 - 120 m)	$6,4 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-8}$
Kristallint berg V (120 - 150 m)	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$
Kristallint berg VI (0 - 80 m)	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$
Sprickzon Göta älv	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$



Figur 28. Översiktlig indelning av modellens ansatta hydrauliska parametrar för beräkningslager 1. Rött = berg i dagen, mörkblå = morän, gul = lera, lila = torv, ljusgrå = fyll, ljusblå = vattenyta, rosa = täta kajkonstruktioner.

5.2.7 Beräkningsfall

Vid uppbyggnaden av grundvattenmodellen utförs modellkörning för att kalibrera den mot medelvärden av hittills uppmätta grundvattentrycknivåer. Simulering av den aktuella situationen visar på hur bra uppbyggnaden av grundvattenmodellen har blivit.

Grundvattenmodellen har därefter använts för att simulera två beräkningsfall: anläggningsskede och driftskede, se Tabell 20. Anläggningsskede avser simuleringen av grundvattennivåförändringar vid anläggande av planerad slussled, tunnel för isutskov-bräddavlopp, betongdammen och justerad farledssträckning i anläggningsskede. I simuleringen förutsätts att samtliga schakter är fullständigt urgrävda och att länshållning sker till schaktbotten av respektive schakt.

Driftskede innebär simulering av grundvattennivåförändringar som kan förväntas uppstå vid drift av den nya slussleden, tunnel för isutskov-bräddavlopp, justerad farledssträckning i bergkanalen samt sänkt vattennivå vid sjön Höljan.

Vid simulering av driftskede förutsätts att samtliga slusskammare är fyllda till en nivå som motsvarar högsta vattenytan.

Tabell 20. Beräkningsfall och tillämpad simuleringsmetod

Beräkningsfall	Simuleringsmetod
Simulering av nuvarande situation utan planerade anläggningar	Stationärt
Simulering av anläggningsskede med schakt för anläggande av ny slussled, justerad sträckning av farled och tillhörande landskapsanpassningar samt ny tunnel för isutskov-bräddavlopp.	Stationärt
Simulering av driftskede för studie av effekterna av: • Ny slussled med fyllda slussar • Justerad sträckning av farled • Diverse landskapsanpassningar • Ny tunnel för isutskov-bräddavlopp • Nya dammkonstruktioner vid slussledens inlopp • Vattennivån i Höljan sänkt med 1 meter • Vattennivån i Sluss 2 (1916) sänkt till samma nivå som Höljan Betongkonstruktioner såsom delar av slusskonstruktionen och dammkonstruktioner ansatta med täthet motsvarande $1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s. Spont som utgör ny damm längs Bergkanalen ansatt med täthet motsvarande $5,0 \cdot 10^{-8}$ m/s.	Stationärt

5.2.8 Kalibrering

Grundvattenmodellen har kalibrerats för befintliga förhållanden (nuvarande situation utan planerade anläggningar) mot uppmätta grundvattennivåer i 9 grundvattenrör, 11 kärnborrhål och 6 hammarborrhål.

Då utförda provpumpningar inte har visat någon tydlig respons i närliggande observationspunkter har modellen inte kunnat kalibreras mot dessa. Utvärderade värden för hydraulisk konduktivitet från respektive provpumpning har dock använts som utgångsvärden i kalibreringsprocessen samt konceptuell förståelse av grundvattensystemet.

Stationär kalibrering mot utvärderade grundvattennivåer

Mätning av grundvattennivå genomfördes i 26 mätobjekt, varav 9 i jord (grundvattenrör) och 17 i berg (kärnborrhål och hammarborrhål). Totalt genomfördes cirka 32 manuella nivåmätningar i grundvattenrör mellan april 2024 och april 2025 och cirka 9 mätningar i respektive borrhål mellan november 2024 och april 2025. Där tillgängligt har även mer högupplöst diverdata studerats. Utifrån mätdata beräknades en lägsta, högsta samt medelgrundvattennivå som användes som kalibreringsvärden i modellen.

Skillnaden mellan beräknade grundvattennivåer från modellen och de utvärderade medelgrundvattennivåerna för respektive grundvattenrör eller kärnborrhål uttrycks som *residual* (R_i), avvikelse, vilken beräknas enligt:

$$R_i = X_{calc} - X_{obs}$$

där:

X_{calc} = Den beräknade grundvattennivån i modellen

X_{obs} = Den utvärderade medelgrundvattennivån i respektive mätpunkt

Utvärderade nivåer och beräknade grundvattennivåer samt avvikelsen mellan dem framgår av Tabell 21.

En plottning av de utvärderade nivåer (Observed Head) och beräknade grundvattennivåer (Calculated Head) redovisas även i Figur 29.

Kalibreringsresultatet i Figur 29 visar på att en god överensstämmelse uppnåtts, med en normaliserad kvadratrots medelavvikelse (Normalized Root Mean Squared Error, NRMSE) på cirka 4,4%. NRMSE är ett mått på spridningen av avvikelserna mellan de simulerade och beräknade medelgrundvattennivåerna. För en modell där de simulerade medelgrundvattennivåerna sammanfaller helt med de beräknade medelgrundvattennivåerna är NRMSE = 0%. Viktigt att notera är att det inte är realistiskt att eftersträva en perfekt passning då detta kan leda till så kallad överkalibrering av hydrauliska parametrar och randvillkor. Hydrauliska parametrar och randvillkor ska i första hand anpassas för att företräda en realistisk representation av områdets geologiska och hydrogeologiska förhållanden, inte för att uppnå en perfekt statistisk passning mot utvärderade data i ett relativt fåtal kalibreringspunkter. Ett NRMSE på $\pm 4\%$ kan generellt anses som bra.

De största avvikelserna ses i kärnborrhålen samt ett av hammarborrhålen där den simulerade medelgrundvattennivån är cirka 1 – 3 meter högre eller lägre än den utvärderade medelgrundvattennivån. Avvikelse mellan simulerade och uppmätta medelgrundvattennivåer kan bero på ett antal faktorer.

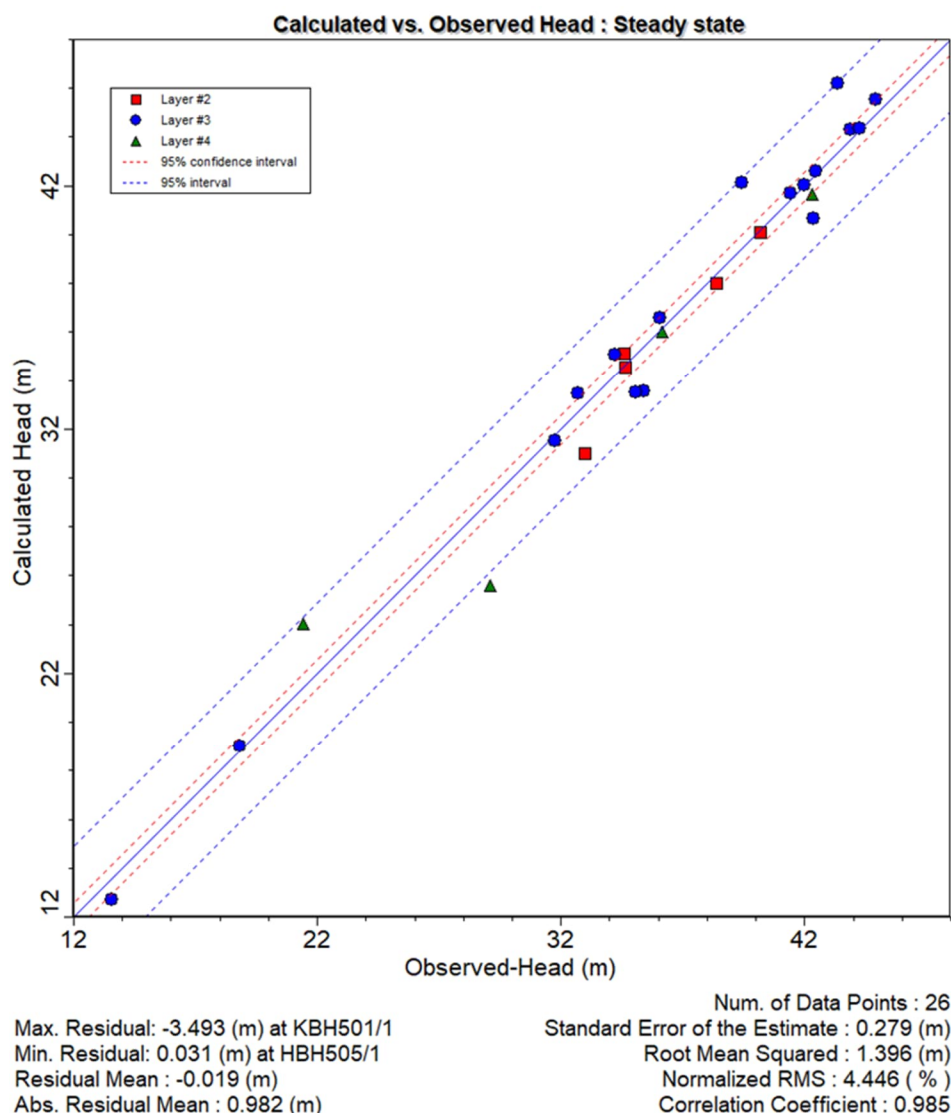
Områdets branta terrängförhållanden och stora skillnader i randvillkor i form av ytvattennivåer i Göta älv (+8), Olidehålan (+8), Gamledalen (+17), Åkers sjö (+39,4) och Bergkanalen (+39,4) leder till lokalt kraftigt lutande grundvattenyta. Detta medför att det kan finnas en stor variation i grundvattentrycknivåer vid endast små förflyttningar i plan.

Uppmätta grundvattentrycknivåer kan därmed representera ett mot spricktransmissiviteten viktat medelvärde av olika grundvattentryck i de sprickor som har kontakt med borrhålet och att det inte har varit möjligt att utvärdera vilken trycknivå för kalibrering som ska ansättas vid respektive mätpunkt.

Tabell 21. Kalibreringspunkter (grundvattenrör och kärnborrhål) använda för kalibrering av grundvattenmodellen vid stationära förhållanden.

Kalibreringspunkt	Utvärderade nivåer [RH2000]			Beräknad nivå [RH2000]	Avvikelse (R _i) beräknad/medel
	Medel	Min	Max		
23W532	34.6	34.7	34.6	35.1	+0.5
23W552	12.9	14.2	13.6	13.0	-0.5
23W561	32.5	34.0	33.0	31.1	-1.9
23W564	39.8	40.4	40.2	40.1	-0.1
23W595	33.8	36.4	34.7	34.5	-0.1
23W598	31.7	31.8	31.7	31.3	-0.4
23W607	18.2	19.8	18.8	19.1	+0.3
23W608	38.2	38.8	38.4	38.1	-0.3
23W609	43.5	44.1	43.9	44.2	+0.3
HBH502	32.6	32.9	32.7	33.5	+0.8
HBH503	35.8	36.3	36.0	36.6	+0.6
HBH504	40.1	43.4	42.5	42.6	+0.1
HBH505	41.9	42.0	42.0	42.0	+0.0
HBH506*	39.6	43.3	41.4	41.7	+0.3
HBH507*	39.4	39.4	39.4	42.2	+2.8
KBH501*	29.0	29.2	29.1	26.0	-3.1
KBH502*	21.4	21.5	21.5	24.1	+2.6
KBH503*	35.4	35.5	35.4	33.2	-2.2
KBH504*	42.4	42.4	42.4	40.4	-1.9
KBH505*	44.1	44.4	44.3	44.2	+0.0
KBH506*	36.1	36.2	36.2	36.1	-0.1
KBH507*	34.2	34.2	34.2	35.1	+0.9
KBH508*	35.0	35.2	35.1	33.6	-1.5
KBH509*	43.3	43.4	43.4	45.8	+2.5
KBH510*	44.4	45.2	44.9	45.4	+0.4
KBH511*	42.3	42.3	42.3	41.8	-0.5

* bakom namnet innebär att kalibreringspunkten har en gradning/lutning, vilket har en viss inverkan på avvikelsen (R_i).

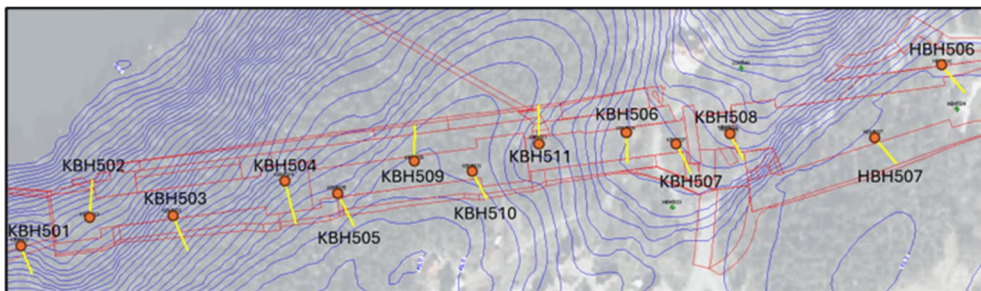


Figur 29. Kalibreringsresultat för grundvattenmodellen vid stationära förhållanden. Grafen visar en plottning av de utvärderade nivåer (Observed Head) mot beräknade grundvattennivåer (Calculated Head).

Vidare utgör grundvattenmodellens beräknade grundvattentrycknivå i vertikalled en centrumpunkt i en beräkningscell och en ansatt plankoordinat i horisontalled. Det beräknade grundvattentrycket vid dessa koordinater och centrumpunkten i beräkningscellen behöver inte med nödvändighet representera det viktade medelvärde för grundvattentrycknivån i mätpunkten i fråga.

Skillnaderna kan även bero på att kärnborrhålen och två av hammarborrhålen är utförda som gradade borrhål, vilket innebär att de inte borrar rakt ner. Dessa borrhål har en lutning som varierar mellan 50 – 60 grader från horisontalläge och har varierande riktning i plan, på 0° eller 140° - 155° (där 0° motsvarar rakt norrut). Den uppmätta grundvattentrycknivån i respektive gradade borrhål och utvärderad medelnivå för borrhålet gäller därmed inte på ett visst djup vid plankoordinaterna (x,y) för borrhålets överkant (från där manuella mätningar utförs), utan vid en

plankoordinat längs borrhålets riktning i plan, se Figur 30. Utvärderad medelgrundvattennivå kan alltså förutsättas vara gällande någonstans mellan borrhålens överkant och längs linjen som representerar borrhålet i plan.



Figur 30. Visualisering av lutande borrhål i förhållande till beräknade grundvattentrycknivåer i berg. Orangea cirklar anger lägen för borrhålens överkant och gula streck visar borrhålens riktning samt totallängd sett ovanifrån.

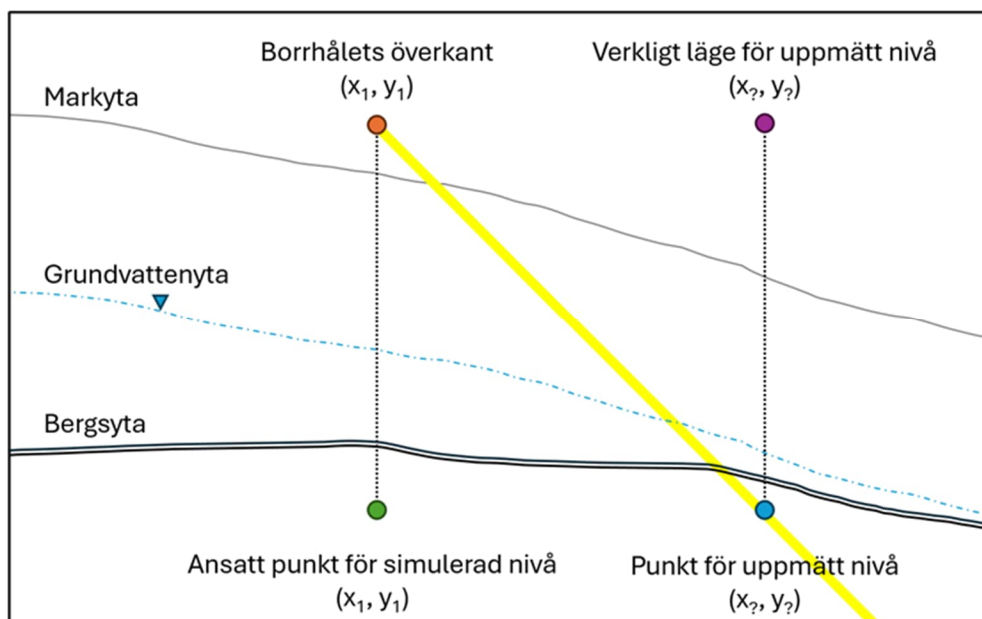
I grundvattenmodellen har respektive kalibreringspunkt för simulerad nivå ansatts utifrån plankoordinater som motsvarar de inmätta borrhålens överkant samt ett djup som motsvarar nivån strax under bergsytan vid plankoordinaterna, se Figur 31.

Borrhålens orientering avseende både lutning och riktning i plan gör att den simulerade nivån i ansatt kalibreringspunkt kan ligga högre eller lägre än det verkliga läget som gäller för den uppmätta nivån i respektive borrhål, framför allt i områden med kraftigt lutande grundvattenyta, och där borrhålens orientering är parallellt med grundvattnets strömningsriktning, se Figur 30 och Figur 31.

Ovanstående resonemang gör att det under kalibreringsprocessen har tagits hänsyn till ifall avvikelserna mellan simulerade och uppmätta nivåer i gradade borrhål är rimliga utifrån både geografisk och hydrogeologisk tolkning av området. Med andra ord, ifall simulerade nivåer bör ligga högre, lägre eller bör vara lik uppmätta nivåer i respektive borrhål med hänsyn till dess borrhålets riktning och djup.

I Figur 29 innebär Residual Mean, det residuala medelvärdet, (-0,019 m) det medelvärde som är mellan datapunkterna och de värden som gäller för regressionslinjen som bäst approximerar dessa. Abs. Residual Mean, det absoluta residuala medelvärdet (0,982 m) anger däremot den genomsnittliga storleken på avvikelsen för datapunkterna. Ju närmare noll dessa är desto bättre är passningen.

Korrelationskoefficienten (r) är 0,985. Ju närmare koefficienten $r = 1$, desto starkare är korrelationen. En stark korrelation tyder på en bra generell passning mellan uppmätta och beräknade grundvattenmedelnivåer i modellen.



Figur 31. Schematisk skiss som visar problematiken vid kalibrering av grundvattenmodellen mot uppmätta nivåer i gradade borrhål. I exemplet ovan framgår att simulerad nivå bör vara högre än uppmätt nivå i borrhålet. Detta på grund av en lutande grundvattenyta i kraftigt lutande terrängförhållanden. Punkten för uppmätt nivå ligger alltså nedströms från den simulerade punkten. Notera att det verkliga läget för uppmätt nivå är okänt då det inte har varit möjligt att utvärdera vilket djup som är styrande för respektive mätpunkt, och därmed var i plan längs borrhålet denna punkt ligger.

Baserat på kalibreringsresultaten bedöms beräknade nivåer och flödesmönster i den numeriska grundvattenmodellen vara rimliga och korrelera väl med bedömda flödesmönster utifrån uppmätta grundvattennivåer och upprättad konceptuell modell. Således bedöms att grundvattenmodellen predikterar grundvattensystemet i sin helhet med avseende på trycknivåer för grundvatten i både jord och berg på ett tillfredsställande sätt.

5.2.9 Osäkerheter

Osäkerheter i utförda modellberäkningar kan hänföras dels till beräkningsmetodiken, numerisk modellering, dels till osäkerhet i de indata som använts.

Hydrauliska parametrar

Avseende hydrauliska parametrar för olika geologiska enheter har merparten av dessa ansatts efter litteraturvärden och erfarenhetsmässig bedömning.

Värdena för konduktivitet är endast undersökta med hjälp av ett fåtal hydrauliska fältundersökningar utfört inom ett relativt begränsat område fokuserat kring läge för ny sluss. Antagna värden utanför de undersökta områdena kan därför avvika från verkligheten.

Under modelleringsprocessen utförs dock kontinuerliga känslighetsanalyser för att studera hur olika parametrar inverkar på simuleringsresultatet. Då grundvattenmodellen visats beräkna grundvattennivåer med tillfredställande passning visas att transmissiviteten i modellen är rimlig. Fördelningen i transmissivitet i vertikalled, det vill säga variation i hydraulisk konduktivitet i vertikalled, kan dock avvika mellan modell och verklighet.

Geometrier

Det förekommer osäkerheter i den utökade bergmodellens, främst inom områden där ingen eller begränsade borrhälsdata förekommer. Antagna bergnivåer i dessa områden kan därför avvika väsentligt från verkligheten.

Osäkerheter är även förknippade med de områden där bottengeometrier saknades. De nivåer som ansatts genom interpolering kan därför avvika från verkligheten.

Vattenspegeln i ytvatten representeras i grundvattenmodellen av en "Constant-Head" Boundary (CHB) som utgör centrala randvillkor inom modellens gränser. Viktigt är här att det säkerställs att den hydrauliska kontakten mellan dessa randvillkor och kringliggande grundvattenmagasin är både representativ för lokala förhållanden och rimlig i ett större perspektiv. Det är alltså inte detaljgraden i bottengeometrier som är av främst vikt utan snarare hur det ansatta randvillkoret förhåller sig till den tolkade hydrologin samt geologin aktuellt för området.

Grundvattenmodellen bedöms simulera rimliga strömningsmönster för både grundvatten i jord och berg i komplexa och kraftigt mänskligt påverkade geologiska förhållanden. Den simulerade grundvattenströmningen styrs därmed i trolig grad av de ansatta randvillkor vilket innebär att modellen simulerar inverkan av dessa ytvatten på grundvattenförhållanden på ett godtagbart sätt. Avsaknad av inskannade bottengeometrier för dessa ytvatten bedöms därför ha en försumbar inverkan på beräkningsresultaten.

6 Resultat

Arbeten med anläggande av planerad slussled kommer att utföras under nuvarande grundvattennivå och ska kunna utföras i relativ torrhet, vilket medför att grundvatten behöver ledas bort. För att minska inläckaget av grundvatten till schakt i anläggningsskedet kan tätningsarbeten i form av injektering behöva utföras. Injektering kommer huvudsakligen att utföras i berglager för att försöka tät sprickor i berget. Tätning kan vid behov även utföras i jordlager för att tät glipor i spont eller mellan spont och berg. Trots dessa åtgärder är det inte tekniskt möjligt att tät så att inget grundvatten rinner in till schakterna.

Utförd grundvattenmodellering visar att planerade schakt för ny slussled, omfattande slusskammare, tunnel för isutskov-bräddavlopp, ytor för kajer, serviceväg och andra detaljschakt, medför grundvattenbortledning både i anläggningsskede och driftskede. För den betongdamm som planeras att byggas uppströms planerad ny sluss 2 kommer grundvattenbortledning att utföras i anläggningsskedet. Grundvattenbortledningen medför en påverkan på omgivande grundvattennivåer, huvudsakligen genom att de avsänks runt planerade schakter.

För den befintliga slussleden kommer planerad sänkning av vattennivån i Höljan och befintlig sluss 2 också medföra grundvattenbortledning, då grundvattennivåerna runt anläggningsdelarna avsänks jämfört med de nuvarande.

I driftskedet kan det uppstå en höjning av grundvattennivåer inom ett område nedströms från betongdammen och spontdammen som anläggs i samband med breddning av Bergkanalen uppströms ny sluss 2. Tryckskillnaden mellan ytvattennivån i Bergkanalen och den lägre liggande grundvattennivån i berget nedströms dammen gör att vatten från Bergkanalen transporteras till berget väster om dammen. Breddningen av Bergkanalen medför att vattenytan i kanalen flyttas västerut, vilket gör att grundvattenflödet från Bergkanalens botten även sker längre västerut än i nuläget, vilket ger en höjning av grundvattennivåerna i ett område väster om dammen.

Grundvattensänkning och grundvattenhöjning sträcker sig ut under eller förbi ytvattendrag i Göta älv, Bergkanalen och intagskanalen till Olidans kraftverk. Vanligen avstannar sänkning eller höjning av grundvattennivån vid ett ytvattendrag, eftersom ytvattendrag generellt kan infiltrera tillräckligt med vatten för att motverka en grundvattensänkning eller utgör ett område där vatten från en grundvattenhöjning kan läcka ut. Eftersom berget i området konstaterats vara relativt tätt kan grundvattensänkningen inte kompenseras av infiltration vid ytvattendragen, vilket leder till att grundvattensänkningen kan utbildas i berget under ytvattendragen. Detta innebär också att nivåerna i ytvattendragen inte påverkas av grundvattensänkningen. För grundvattenhöjningen kan en höjning av grundvattennivån i berget inte påverka ovanför botten på ett ytvattendrag och

grundläggningsnivån eller dräneringsnivån för en byggnad, eftersom utläckande vatten förs bort snabbare i ytvattendraget, dräneringsledningen eller grundläggningsmaterialet än vad det hinner läcka ut från det tätare berget.

6.1 Grundvattennivåförändringar

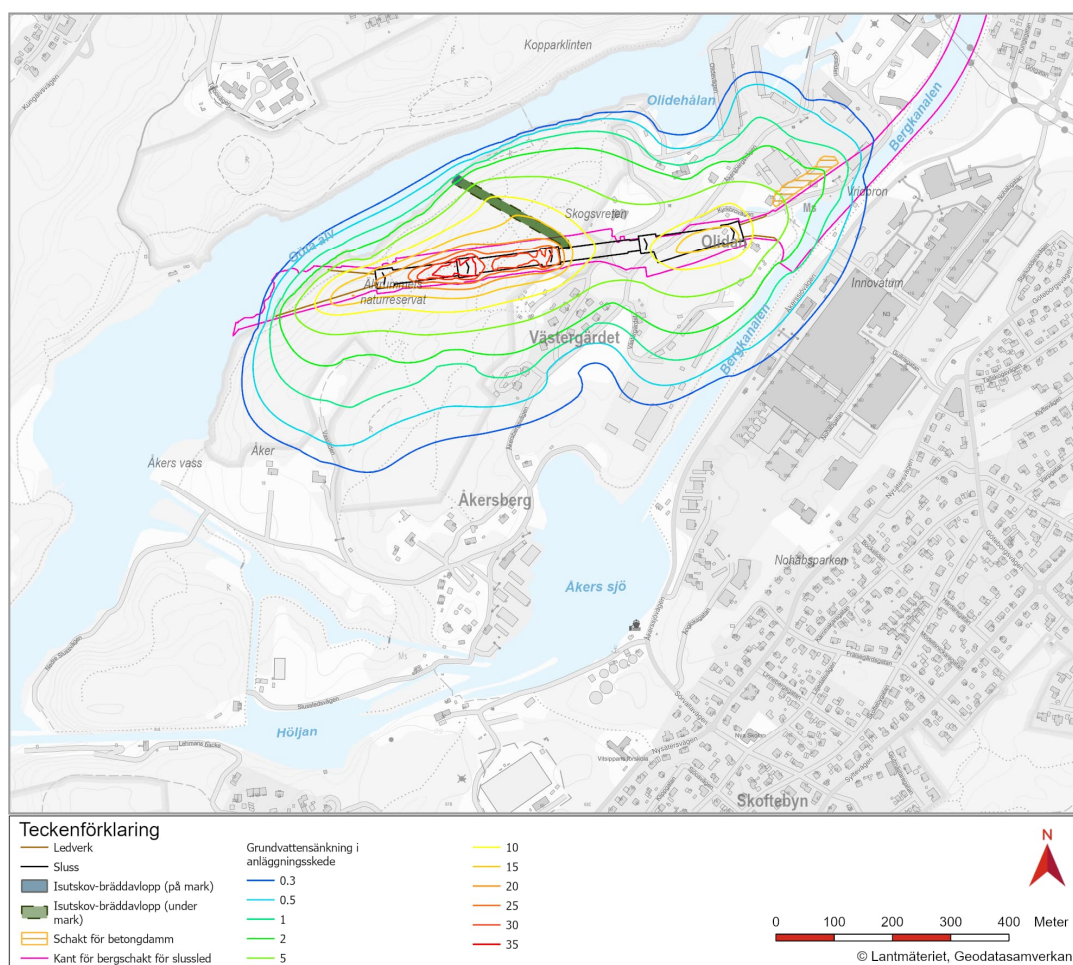
6.1.1 Anläggningsskede

Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen vid anläggande av ny slussled och övriga planerade anläggningar i anläggningsskedet framgår av Tabell 22 och Figur 32. Störst avsänkning uppstår i direkt anslutning till den nya slussleden och tunnel för isutskov-bräddavlopp varefter avsänkningen snabbt avtar med ökat avstånd från områden där grundvattenbortledningen sker. Maximal avsänkning, cirka 40 meter, sker i direkt anslutning till planerat läge för sluss 3 och sluss 4. För sluss 2 uppgår maximal avsänkning till cirka 20 meter. Vid läge för Slusskanalen uppgår avsänkningen till cirka 12 meter.

Tunnel för isutskov-bräddavlopp medför en lokal grundvattensänkning på som mest cirka 18 meter. Avsänkningen vid läge för schakt för betongdammen uppgår till cirka 6 meter. Bergskärningen för utloppet av sluss 4 medför en grundvattensänkning upp till cirka 25 meter. Grundvattensänkningen vid bergskärningen för inloppet till sluss 2 uppgår till cirka 12 meter.

Tabell 22. Ungefärlig omfattning och utbredning på grundvattensänkningen i anläggningsskedet

Ungefärligt maximalt avstånd från schakt för ny slussled [meter]	Grundvattensänkning i anläggningsskede [meter]
0 – 15	20 – 40
15	20
80	10
100	5
120	2
200	1
280	0,5
310	0,3



Figur 32. Utbredning och storlek av grundvattennivåsenkning i anläggningsskedet.

6.1.2 Driftskede

Grundvattennivåförändringar för ny slussled har i driftskedet beräknats för normal drift, där slussarna är fyllda till högsta vattennivån.

För driftskede har även den påverkan på grundvattenförhållanden som en sänkt vattennivå i Höljan i befintlig slussled medför studerats. Påverkan är oberoende av grundvattennivåförändringar i den nya slussleden.

6.1.2.1 Grundvattensänkning

Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen för ny slussled och övriga planerade anläggningar i driftskedet framgår av Tabell 23 och Figur 33. Störst avsänkning uppstår i direkt anslutning till den nya slussleden och tunnel för isutskov-bräddavlopp varefter avsänkningen snabbt avtar med ökat avstånd från områden där grundvattenbortledningen sker. Maximal avsänkning, cirka 23 meter, sker i direkt anslutning till planerat läge för slusshuvudet mellan sluss 3 och sluss 4. För sluss 3 och 2 uppgår maximal avsänkning till cirka 15 respektive 2 meter. Vid läge för Slusskanalen uppgår avsänkningen till cirka 2 – 10 meter. Tunneln för

isutskov-bräddavlopp medför en lokal avsänkning av grundvattensänkning på som mest cirka 18 meter.

Bergskärningen för utloppet av sluss 4 medför en grundvattensänkning med upp till cirka 20 meter. Grundvattensänkning vid bergskärningen för inloppet till sluss 2 uppgår till cirka 2 meter.

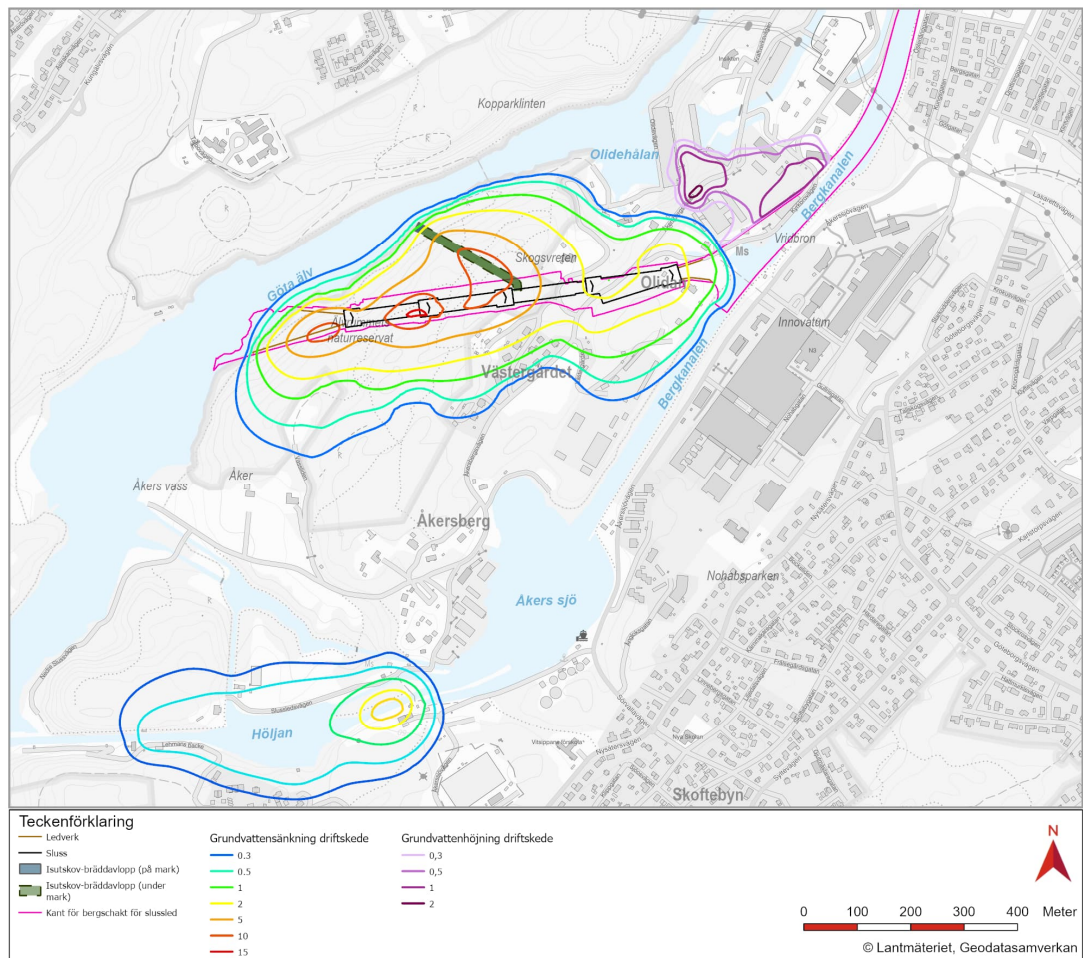
Tabell 23. Ungefärlig omfattning och utbredning på grundvattensänkning vid fyllda slussar i driftskedet

Ungefärligt maximalt avstånd från schakt för ny slussled [meter]	Grundvattensänkning i driftskede med fyllda slussar [meter]
0 – 5	20
5 - 15	10
70	5
90	2
140	1
160	0,5
230	0,3

För Höljan sker störst avsänkning, ca 9 meter, vid läge för befintlig sluss 2, som i dagsläget vanligen är fylld (+39,4) och i framtiden bedöms sänkas till samma vattennivå som Höljan (+30,3). Påverkansområdet sträcker sig maximalt cirka 120 meter från strandlinjen och slussen. Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkning framgår av Figur 33.

6.1.2.2 Grundvattenhöjning

Beräknad omfattning på grundvattenhöjning i driftskede med fyllda slussar framgår av Figur 33. Maximal höjning, cirka 2 meter, sker i slänten ner mot Olidehålan. Direkt nedströms spontdammen uppgår höjningen av grundvattenytan till ca 1,5 meter.



Figur 33. Utbredning och storlek av grundvattennivåsänkning och grundvattennivåhöjning i driftskedet.

6.2 Påverkansområde

Förutsebar påverkan på grundvattenförhållandena, i form av avsänkta eller höjda grundvattentrycknivåer, har beräknats med hjälp av upprättad grundvattenmodell.

Storleken på en grundvattennivåförändring styrs av ett flertal olika faktorer, bland annat grundvattennivån, nybildning av grundvatten, förekommande jordlager och deras mäktighet, sammansättning och täthet, jorddjup, topografi samt grundvattenbortledningens storlek. Utbredning av grundvattensänkning i plan varierar beroende på exempelvis schaktdjup, schaktstorlek, årstid, grundvattenbildning och rådande geologi samt utformning och uppnådd täthet på spontkonstruktion och tättningsåtgärd. För grundvattenbildning används årsmedelvärde för beräkning av storleken på grundvattensänkningen. Det förutsätts även att schakten är fullständigt urgrävda och att maximal grundvattensänkning sker.

Grundvattennivåförändringens storlek illustreras som avsänkning eller höjning gentemot befintliga grundvattenförhållanden. Grundvattenförhållandena i upprättad grundvattenmodell utgör en beräknad medelgrundvattenyta som är

kalibrerad mot hittills uppmätta grundvattennivåer eller grundvattentrycknivåer i installerade mätpunkter.

Den grundvattensänkning som uppstår till följd av grundvattenbortledning medför att grundvattennivån eller grundvattentrycknivån sjunker i området där grundvattenbortledningen utförs. För en grundvattenhöjning som uppstår till följd av exempelvis en uppdämning vid en damm- eller spontkonstruktion höjs i stället grundvattennivån eller grundvattentrycknivån. Det område där grundvattennivån eller grundvattentrycknivån förändras mer än 0,0 meter jämfört med befintliga grundvattenförhållanden benämns influensområde.

Att använda influensområdet ut till 0,0 meter nivåförändring för att konstatera att en avsänkning sker till följd av grundvattenbortledning, eller att en höjning sker till följd av dämmande konstruktioner är förknippat med en del osäkerhet. Vanligen omfattar tillgängliga grundvattendata som används för att ta fram influensområdet något eller några år, därmed är det sannolikt att hela den naturliga variationen hos grundvattennivån inte fångats. Detta gör att det blir svårt att med statistisk säkerhet avgöra om mindre avsänkningar vid influensområdets gräns beror på grundvattenbortledning eller dämning, eller om den beror på naturliga orsaker. Det finns dessutom en osäkerhet kopplad till hur mätning av grundvattennivå utförs, där olika mätutrustning kan ge olika mätnoggrannhet.

I tillståndsprocesser används begreppet påverkansområde i stället för influensområde. Påverkansområdets gräns läggs innanför influensområdets och väljs delvis utifrån att det ska vara möjligt att avgöra med statistisk signifikans att uppmätt förändring av grundvattennivå beror på grundvattenbortledning eller dämmande konstruktion.

Gränsen väljs också utifrån de grundvattenberoende objekt där det finns en potentiell risk att de kan påverkas negativt av en förändring av grundvattennivån, där en bedömning görs för hur stor förändringen respektive objekt kan omfattas av utan att påverkan blir negativ. Finns det objekt som kan påverkas negativt redan vid en liten förändring, sätts gränsen utifrån detta.

I det fall det saknas objekt som kan påverkas negativt, eller om de objekt som finns kan omfattas av en större grundvattensänkning eller grundvattenhöjning utan att påverkas negativt, sätts gränsen utifrån dem. Gränsen för påverkansområdet kan skilja sig åt beroende på om grundvattennivåförändringen sker i jordlagren eller i berg, då de objekt som generellt kan påverkas negativt av även mindre nivåförändringar huvudsakligen ligger ytligt i jordlagren. I berg är det huvudsakligen borrhållsbrunnar som utgör objekt som kan påverkas av en nivåförändring. Dessa kan generellt omfattas av relativt stora avsänkningar utan att påverkas negativt.

Inventering har utförts av de objekt som kan påverkas av den planerade grundvattenbortledningen förknippad med uppförande av ny sluss och justerad farled. Inga objekt har bedömts beröras av höjningen av grundvattentrycknivån förknippad med de dämmande konstruktionerna (betongdammen och sponten längs Bergkanalen).

Enligt utförd naturvärdesinventering (Naturcentrum AB, 2022) saknas det grundvattenberoende ekosystem i området. Det finns enskilda brunnar både i jord och berg, där det för respektive brunn bedömts hur mycket vattennivån i brunnen kan sänkas av utan negativ påverkan. Det finns även ledningar och hus som är grundlagda i och på sättning-skänsliga jordarter. För dessa har beräkningar utförts av sättningens storlek, där resultatet visar att sättningen blir minimal för de ledningar och hus som inte rivs (WSP, 2025d).

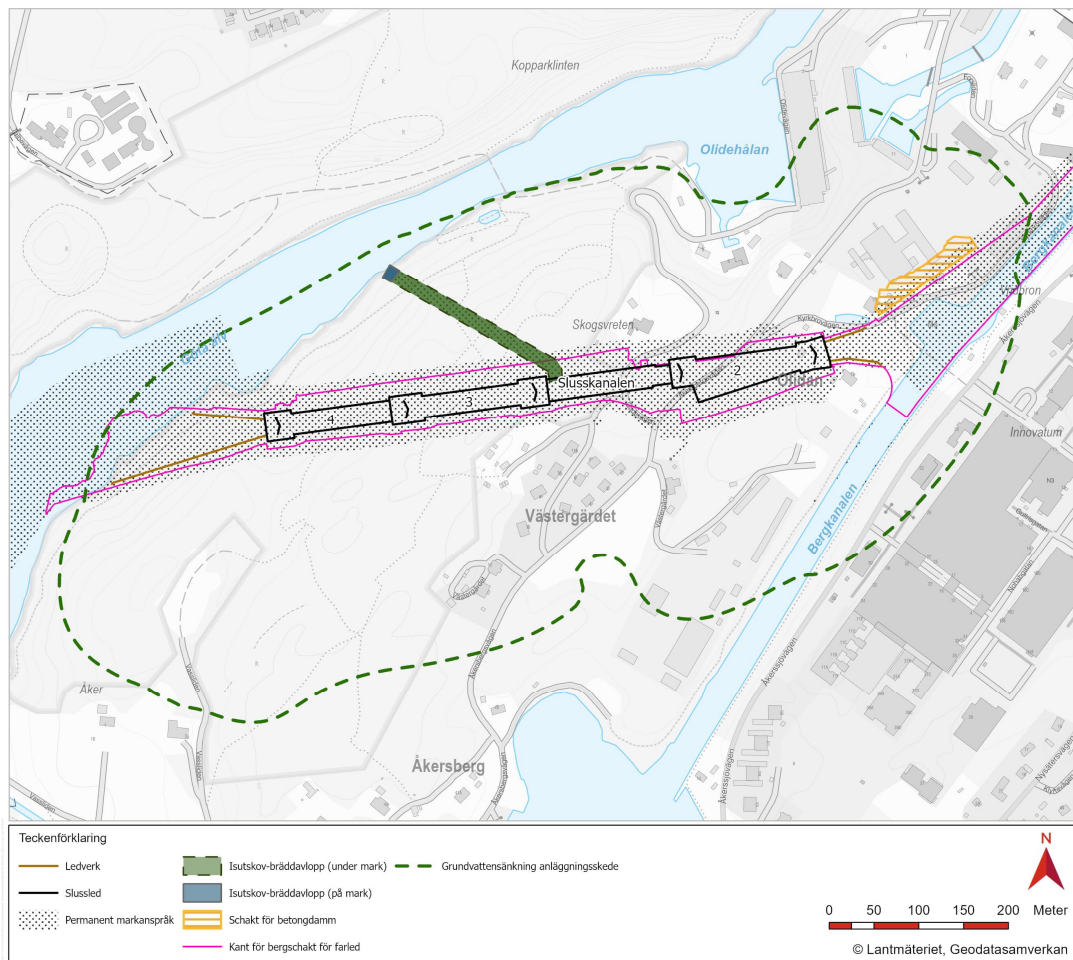
Baserat på utförda inventeringar är det enbart enskilda brunnar samt hus och ledningar på sättning-skänsliga jordarter som utgör objekt som kan påverkas av en sänkning av grundvattennivå till följd av ny sluss och justerad farled. Det kommer att göras åtgärder för att det inte ska uppstå skador på hus till följd av marksättningar, och de ledningar som ligger inom områden med sättning-skänsliga jordlager kommer att läggas om i anläggningsskedet. De objekt som kan påverkas negativt är då enbart de enskilda brunnar som finns i området.

Vanligen används en avsänkning på 0,3 – 0,5 meter från opåverkade förhållanden i jordlagren och 0,3 – 1 meter för berg som avgränsning för ett påverkansområde för sänkning av grundvattentrycknivå.

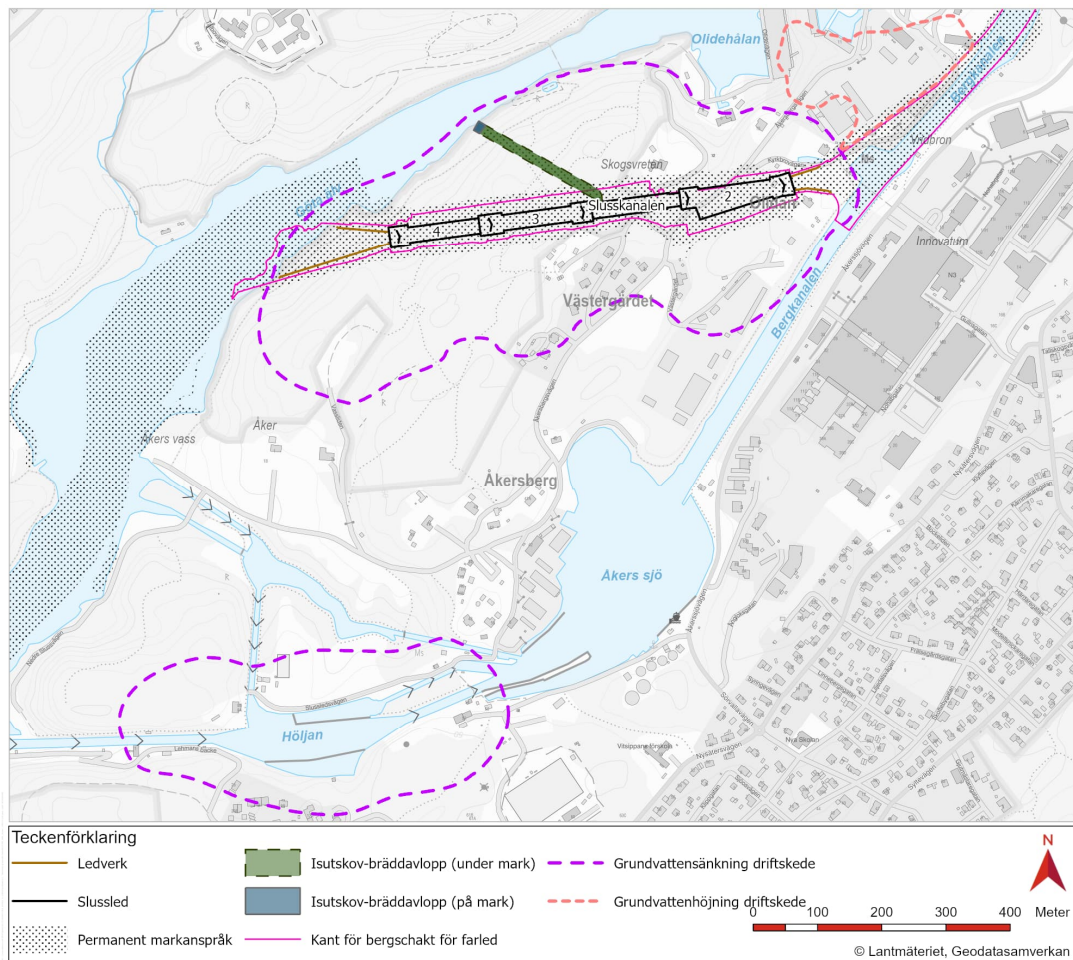
För grävda brunnar med liten tillgänglig vattenpelare kan även en relativt liten grundvattensänkning medföra en stor påverkan. Därför har det lägre värdet på 0,3 meter avsänkning valts för att avgränsa påverkansområdet i jordlagren. De borrhälsbrunnarna i berg har en stor tillgänglig vattenpelare, där en relativt stor avsänkning av vattennivån inte ger någon stor påverkan. I berg bedöms det därför vara möjligt att använda det högre värdet, 1,0 meter avsänkning.

Påverkansområde för grundvattensänkning i anläggningsskedet respektive driftskedet och för grundvattenhöjning i driftskedet har därmed avgränsats som det område där grundvatten sänks eller höjs mer än 0,3 meter i jordlagren och mer än 1,0 meter i berg. Avsänkningen i jordlager och i berg har jämförts i varje given punkt och den påverkan som når längst ut har valts för att skapa ett gemensamt påverkansområde för jordlager och berg. Motsvarande förfarande har använts för påverkansområdet för höjning av grundvattennivå.

Påverkansområde för anläggningsskede respektive driftskede, framgår av Figur 34 och Figur 35.



Figur 34. Påverkansområde för grundvattensänkning under anläggningsskede.



Figur 35: Påverkansområden för grundvattensänkning och grundvattenhöjning i driftskedet.

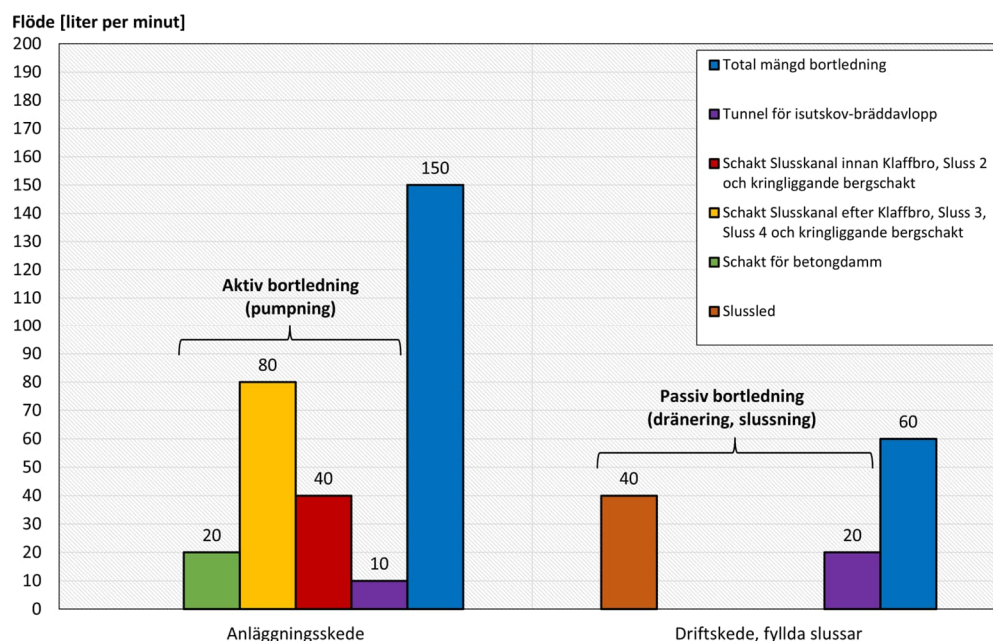
6.3 Grundvattenbortledning

Under både anläggningsskede och driftskede kommer den planerade anläggningen erfordra bortledning av grundvatten. Inläckage av grundvatten till anläggningen sker både från kringliggande jordlager och från berget under och runt anläggningen. Mängden grundvattenbortledning har beräknats för anläggningsskede och driftskede. Beräkningen av grundvattenbortledning har utförts med samma grundvattenmodell som användes för att beräkna påverkansområdet och beräkningen inkluderar inverkan av tätande konstruktioner.

Beräkning av mängder grundvattenbortledning har utförts enligt gängse metodik där beräknade flöden förutsätter stationära förhållanden. Det innebär att systemet är i jämvikt och att grundvattennivåförändringar är fullt utvecklade. Redovisade mängder ska således betraktas som långtidsmedelvärden och inte som kortvariga momentana flöden som exempelvis kan uppstå under avsänkingsfasen vid tömning av slussarna, eller efter kraftiga skyfall.

Beräknade mängder grundvattenbortledning för anläggningsskede och driftskede redovisas som i översikt i Figur 36 både som total volym och uppdelat på de olika

delflödena för respektive anläggningsdel. I volymen grundvattenbortledning ingår bara till schakterna inläckande grundvatten, inte någon volym kopplat till tillfört processvatten eller volym kopplat till nederbörd som kan falla inom schakterna.



Figur 36. Beräknade mängder erforderad grundvattenbortledning under anläggningsskede och driftskede. Anläggningsskede avser aktiv bortledning genom pumpning av inläckande vatten till schakten för ny slussled, tunnel för isutskov-bräddavlopp och schakt för betongdammen vid H-huset. I driftskede sker passiv bortledning av grundvatten som avleds genom anläggningens dräneringssystem.

6.3.1 Anläggningsskede

Mängden grundvattenbortledning under anläggningsskedet avser grundvattnet som leds bort via länshållning av inläckage till schakt för ny slussled, tunnel för isutskov-bräddavlopp samt schakt för anläggande av betongdammen vid H-huset. Inläckage till schakt har delats in i fyra komponenter baserat på vart vattnet är tänkt att avledas, se Tabell 24.

Tabell 24. Beräknade mängder grundvattenbortledning under anläggningsskede

Anläggning	Avleds till	Flöde [liter/minut]
Schakt Slusskanalen efter Klaffbro, Sluss 3, Sluss 4 och kringliggande bergschakt	Göta älv	80
Schakt Slusskanalen innan Klaffbro, Sluss 2 och kringliggande bergschakt	Bergkanalen och/eller Olidehålan	40
Tunnel för isutskov-bräddavlopp	Göta älv	20
Schakt damm H-huset	Bergkanalen	10

För anläggningsskedet beräknas mängden grundvattenbortledning uppgå till cirka 150 liter per minut (220 kubikmeter per dygn). Grundvattenbortledningen från samtliga komponenter betraktas som aktiv bortledning vilket innebär att pumpning krävs för att leda bort vattnet.

Cirka 10 liter per minut avleds från tunnel för isutskov-bräddavlopp och cirka 20 liter per minut avleds från schakten för betongdammen vid H-huset. Från schakten för Slusskanalen innan klaffbron, sluss 2 och kringliggande bergschakt avleds cirka 40 liter per minut och cirka 80 liter per minut avleds från schakten för Slusskanalen efter Klaffbron, Sluss 3, Sluss 4 och kringliggande bergschakt.

6.3.2 Driftskede

Grundvattenbortledningen sker genom att grundvatten rinner in till slussleden respektive tunnel för isutskov-bräddavlopp och avleds genom slussleden eller de dräneringsanordningar som finns i ytorna längs slussleden, respektive genom tunneln. Grundvatten som läcker in till tunneln avleds genom självfall till Göta älv.

Grundvattenbortledningen har beräknats uppgå till cirka 60 liter per minut (86 kubikmeter per dygn). Av den totala volymen avleds cirka 20 liter per minut från tunneln för isutskov-bräddavlopp.

Anledningen till att grundvattenbortledningen från tunneln är större i driftskedet än i anläggningsskedet är att grundvattennivån i berget är högre i driftskedet, eftersom grundvattensänkning sker till ytvattennivån i slusskammare och Slusskanalen i stället för till schaktbotten. Detta leder till att grundvattennivån i berget mellan slussleden och tunneln också är högre, vilket innebär att mer grundvatten finns tillgängligt för att bortledas via tunneln. I anläggningsskedet leds denna extra volym i stället bort via schakten för slussleden.

Skillnaden i avsänkning av grundvattennivån mellan slusskammaren och tunneln i anläggningsskedet respektive driftskedet illustreras principiellt i Figur 20 och Figur 21.

I Tabell 25 presenteras en sammanställning av den beräknade mängden grundvattenbortledning i driftskedet.

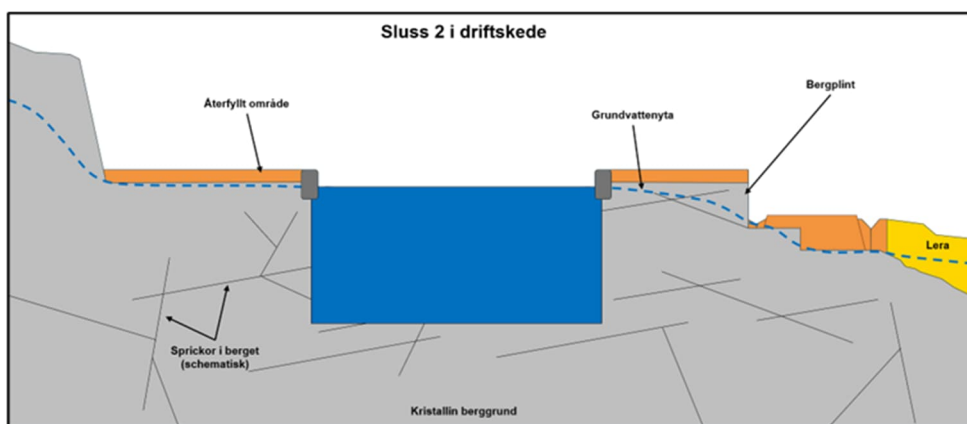
Tabell 25. Beräknade mängder grundvattenbortledning under driftskede

Anläggning	Avleds till	Flöde [liter/minut]
Slussled	Göta älv	40
Tunnel för isutskov- bräddavlopp	Göta älv	20

6.4 Vattenutläckage

I driftskede kan planerad slussanläggning medföra ett inducerat vattenutläckage från slusskammarna till omgivningen. Vattenutläckaget kan till viss del ses som en påfyllning av grundvattenmagasinet i jord och berg. Merparten av vattenutläckaget kommer dock att avledas genom dränerande lager i anslutning till anläggningen varefter det fångas upp av dagvattensystem.

När sluss 2 är fylld med vatten induceras ett läckage från slusskammaren genom den kvarstående bergplinten som utgör en del av anläggningens nordöstra bergvägg, se Figur 37. Vid en fylld sluss kan vattenläckaget från slusskammaren genom bergplinten beräknas kunna uppgå till cirka 1 kubikmeter per dygn (cirka 40 liter per timme).



Figur 37. Principskiss som visar sluss 2 i driftskede med inducerat vattenläckage från fylld slusskammare genom bergplinten mot lågområdet i dalen vid Skogsvreten.

Vid sluss 3 kan ett liknande läckage uppstå från slusskammaren till den kvarliggande bergplinten som avvattnas mot vägen i väster. För en fylld sluss kan vattenläckaget från slusskammaren genom bergplinten beräknas kunna uppgå till cirka 1 kubikmeter per dygn (cirka 40 liter per timme).

7 Motstående intressen

Allmänna och enskilda intressen som eventuellt kan riskera att påverkas negativt av en grundvattennivåförändring är allmänna eller enskilda vattentäkter (brunnar), grundvattenförekomster, grundvattenberoende ekosystem samt byggnader och anläggningar med känslig grundläggning inom områden med sättningskänslig mark.

Objekt som kan riskera att påverkas av en eventuell grundvattennivåförändring har identifierats inom påverkansområde för anläggningsskede respektive driftskede, se Figur 38 och Figur 39.

- Enskilda brunnar
- Biotoper med naturvärden
- Byggnader och anläggningar på sättningskänslig mark

7.1 Enskilda brunnar

En brunnsinventering har utförts i syfte att identifiera och kartlägga var i området det finns enskilda brunnar. Inventeringen utfördes i första steget som en desktopinventering, med utskick av digital enkät till fastighetsägare inom ett väl tilltaget undersökningsområde. De brunnar som omfattas av påverkansområdet för grundvattenbortledningen framgår av Figur 38 och Figur 39.

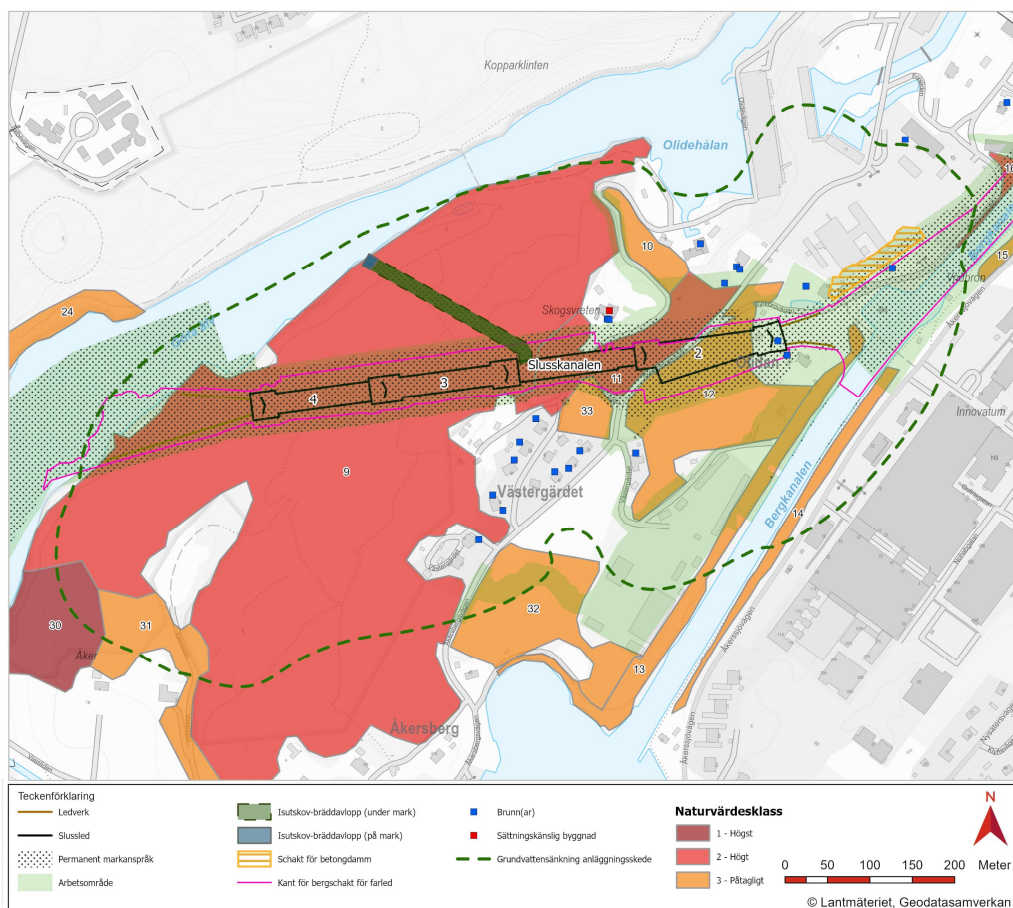
7.2 Sättningskänsliga objekt

Grundvattenbortledningen i berget medför en sänkning av portrycket i lerlager inom påverkansområdet. Sänkningen av portrycket i leran bedöms utgöra en risk för marksättningar, vilka kan påverka objekt grundlagda på lerlagret.

Inom påverkansområde för grundvattensänkning utgör Villa Skogsvreten det enda objekt som bedöms påverkas av marksättningar, se röd kvadrat i Figur 38 och Figur 39. Inga övriga byggnader inom påverkansområdet har bedömts ligga på sättningskänsliga jordlager.

De ledningar som är belägna inom lerområdet vid Skogsvreten befinner sig huvudsakligen inom arbetsområdet och kommer att läggas om. Sättningar som uppstår i lerlagret kan därmed hanteras för ledningsnät.

Vid Västergärdet finns ledningar som är förlagda längs kanten av ett lerområde. Det kan finnas ett behov av att lägga om dessa delvis, beroende på hur ledningsnätet vid Skogsvreten byggs.

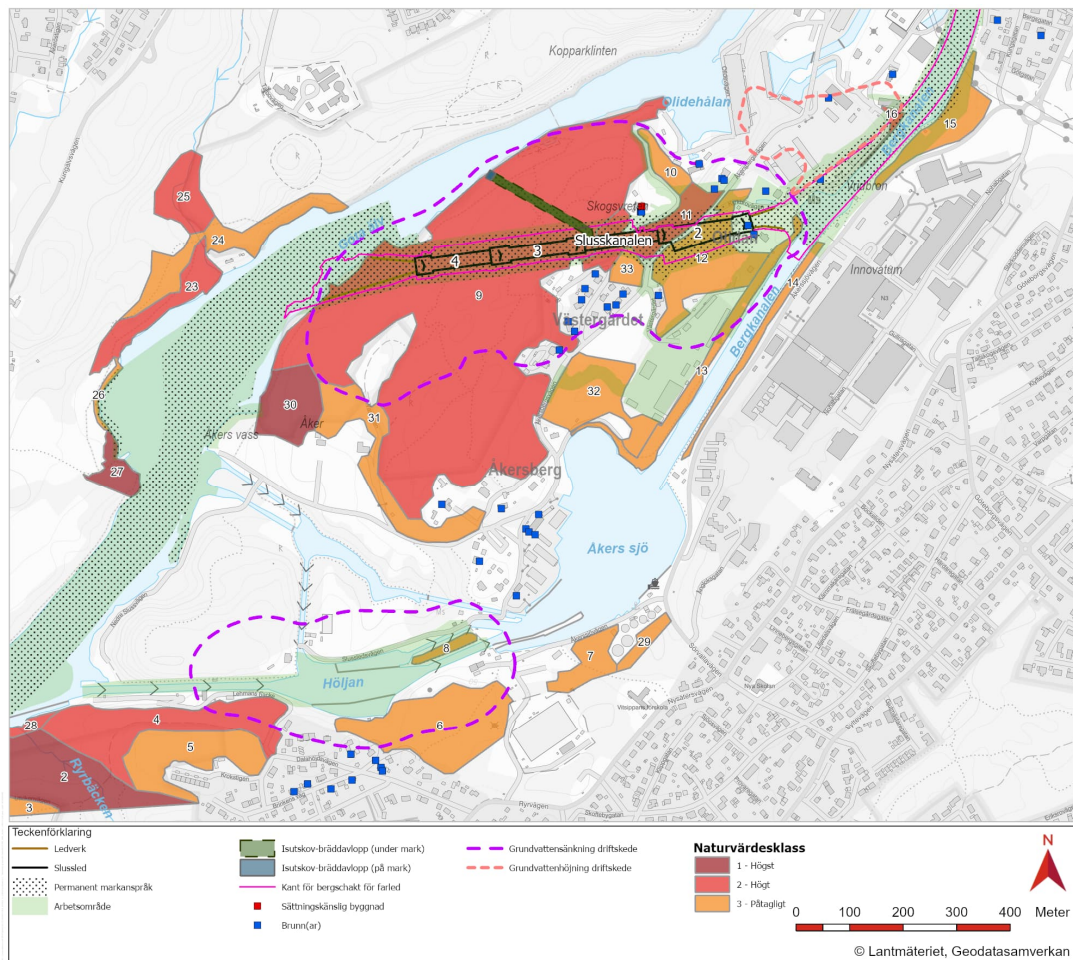


Figur 38. Identifierade motstående intressen som eventuellt riskerar att påverkas av en grundvattennivåförändring i anläggningsskedet.

7.3 Naturvärden

Naturcentrum AB har på uppdrag av WSP Sverige AB för Trafikverkets räkning genomfört en naturvärdesinventering utmed Trollhätte kanal och delar av älvstranden vid Göta älv i Trollhättans kommun. Inventeringsområdet omfattar 205 hektar, omfattande de befintliga slussarna och kanalen i Trollhättan samt marker mellan de befintliga slussarna och Göta älv. Vid inventeringen identifierades 40 naturvärdesobjekt. Totalt omfattar objekt med naturvärde knappt 63 hektar vilket är cirka 31% av ytan (Naturcentrum AB, 2024).

- Högsta naturvärde – naturvärdesklass 1. Tre naturvärdesobjekt: en bäckravin (Ryrbäcken), en ädellövsmiljö på en udde längs den västra älvstranden samt en ädellövsmiljö vid Gamle Dal.
- Hög naturvärde – naturvärdesklass 2. Åtta naturvärdesobjekt: barrskogsmiljöer med naturskogskaraktär, blandskog med inslag av ädellöv, en grupp solitära lövträd och ett par ädellövsmiljöer.



Figur 39. Identifierade motstående intressen som eventuellt riskerar att påverkas av en grundvattennivåförändring i driftskedet.

- Påtagligt naturvärde – naturvärdesklass 3. 29 naturvärdesobjekt: blandskogsmiljöer, trädridåer, alléer, ett par parkmiljöer, ett par platser med torrängsflora, en lövskogsmiljö, åkerholmar, lövbryn, ett par gamla gårdstomter i jordbrukslandskap.

Delar av inventeringsområdet är skyddat som naturreservat och större delen av inventeringsområdet i anslutning till älven omfattas av strandskydd samt riksintresse för naturvård och riksintresse för friluftsliv.

Enligt den utförda naturvärdesinventeringen har ett antal biotoper av skog och träd med naturvärden identifierats (Naturcentrum AB, 2024). En sammanställning av naturvärden som helt eller delvis omfattas av det beräknade påverkansområden för anläggningsskede och driftskede återfinns i Tabell 26. För en översikt av naturvärdenas geografiska placering och utbredning se Figur 38 och Figur 39. Identifierade naturvärden har antingen naturvärdesklass 2 eller naturvärdesklass 3.

Tabell 26. Naturvärden som helt eller delvis finns inom det beräknade påverkansområdet.

Objekt-ID	Beskrivning	Naturvärdesklass
9	Barrskog med naturskogskaraktär	2
10	Glest lövbestånd	3
11	Grova ekar och tallar	2
12	Blandskog	3
13	Lövdominerad träddridå utmed kanalen	3
14	Talldominerad träddridå utmed kanalen	3
30	Grova ädellövträd, främst ek	1
31	Brynmiljö med ädellöv och gamla tallar	3
32	Barrblandskog med inslag av gamla tallar	3
33	Gamla tallar i brynmiljö	3

8 Bedömda konsekvenser

8.1 Enskilda brunnar

I anläggningsskedet omfattas 37 enskilda brunnar av påverkansområde för grundvattensänkning. 35 av brunnarna är borrarade ner i berggrunden och används som energibrunnar, en brunn är borrarad ner i berggrunden och används som dricksvatten- och bevattningsbrunn och en brunn är grävd, det vill säga anlagd i jord, och har annan användning.

I driftskedet omfattas 18 enskilda brunnar av påverkansområde för grundvattensänkning och 20 av påverkansområde för grundvattenhöjning.

Av Tabell 27 framgår respektive brunns totaldjup, tillgänglig vattenpelare vid nuvarande grundvattenförhållanden och tillgänglig vattenpelare vid anläggningsskede respektive driftskede. Tillgänglig vattenpelare baseras på modelleringsfallet "Simulering av nuvarande situation utan planerade anläggningar", se kapitel 5.2.7.

Brunnarna har generellt ett stort djup och en stor tillgänglig vattenpelare, vilket medför att de bedöms kunna fortsatt fungera för energiuttag eller dricksvattenuttag. Ingen av brunnarna bedöms ha någon risk för att sina.

Tabell 27. Sammanställning av brunnsuppgifter, tillgänglig vattenpelare vid nuvarande grundvattenförhållanden och vid grundvattenbortledning i anläggningsskede respektive driftskede.

Fastighet	Typ	Användning	Total- djup	Till- gänglig vatten- pelare	Tillgänglig vattenpelare vid grundvattensänkning /grundvattenhöjning (+)	
						Anläggnings- skede Drift
Olidan 3:14	Borrarad	Energibrunn	220	219	217 / 2	218 / 1
Olidan 3:14	Borrarad	Energibrunn	220	219	217 / 2	218.5 / 0,5
Olidan 3:14	Borrarad	Energibrunn	220	219	217 / 2	218.5 / 0,5
Olidan 3:14	Borrarad	Energibrunn	220	219	217 / 2	218.5 / 0,5
Olidan 3:17	Borrarad	Energibrunn	220	212	Ingen sänkning	212.3/ +0,3
Olidan 5:18	Borrarad	Energibrunn	Ingen uppgift	-	-	-

Fastighet	Typ	Användning	Total- djup	Till- gänglig vatten- pelare	Tillgänglig vattenpelare vid grundvattensänkning /grundvattenhöjning (+)	Anläggnings- skede	Drift
Olidan 5:18	Grävd	Annan	Ingen uppgift	-	-	-	-
Olidan 5:19	Borrad	Energibrunn	130	124	119 / 5	123 / 1	
Olidan 5:19	Borrad	Energibrunn	130	124	119 / 5	123 / 1	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5	227.5 / +0,5	

Fastighet	Typ	Användning	Total- djup	Till- gänglig vatten- pelare	Tillgänglig vattenpelare vid grundvattensänkning /grundvattenhöjning (+)	Anläggnings- skede	Drift
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5		227.5 / +0,5
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5		227.5 / +0,5
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	230	227	226.5 / 0,5		227.5 / +0,5
Olidan 5:28	Borrad	Energibrunn	130	127	126.5 / 0,5		127.5 / +0,5
Olidan 5:30	Borrad	Energibrunn	130	129	126 / 3		128 / 1
Olidan 7:1	Borrad	Energibrunn	220	218	216 / 2		217 / 1
Olidan 7:2	Borrad	Dricksvatten, bevattning, värmepump	130	129	127 / 2		128 / 1
Olidan 7:3	Borrad	Energibrunn	130	129	127 / 2		128 / 1
Olidan 8:1	Borrad	Energibrunn	170	170	162 / 8		167 / 3
Olidan 8:2	Borrad	Energibrunn	200	200	194 / 6		198 / 2
Olidan 8:3	Borrad	Energibrunn	123	123	119 / 4		121 / 2
Olidan 9:1	Borrad	Energibrunn	180	179	177 / 2		178 / 1
Olidan 9:1	Borrad	Energibrunn	180	177	176 / 1		176.5 / 0,5
Olidan 10:1	Borrad	Energibrunn	175	174	173 / 1		173,5 / 0,5
Dalahöjd 8	Borrad	Energibrunn	145	137	Ingen sänkning		135,7 / 0,3

8.1.1 Anläggningsskede

En avsänkning av grundvattennivåer i grundvattenmagasinet under anläggningsskedet kan ge effekten att enskilda brunnar får en försämrad magasinshållande förmåga eller förändrad vattenkvalitet under den tidsperiod som grundvattenbortledningen pågår.

Av Tabell 27 framgår att den största sänkningen i anläggningsskedet, cirka 8 meter, sker för fastigheterna Olidan 5: 3 och Olidan 8:1. Övriga brunnar ligger i spannet cirka 0,5 – 7 meter avsänkning.

8.1.2 Driftskede

I driftskedet kvarstår en permanent avsänkning av grundvattennivåer i grundvattenmagasinet, vilket innebär att enskilda brunnar kan få en försämrad magasinshållande förmåga eller förändrad vattenkvalitet.

Avsänkningen i driftskedet är som mest cirka 3 meter för fastigheten Olidan 8:1. Övriga brunnar ligger i spannet cirka 0,5 – 2 meter avsänkning.

I driftskedet sker en höjning av grundvattennivån i brunnar på fastigheterna Olidan 3:17 och Olidan 5:28. Höjningen är marginell i förhållande till den tillgängliga vattenpelaren och bedöms inte leda till någon mätbar förändring i energiuttag.

8.2 Sättningskänsliga objekt

Vid Skogsvreten har sättningar i lerlagret beräknats kunna uppgå till som mest cirka 6 - 7 centimeter. Eftersom Villa Skogsvreten bedömts vara grundlagd delvis på berg och delvis på lerlagret kan den förväntade sättningen i leran ge upphov till en differentialsättning. Detta innebär att sättningar under byggnaden sker ojämnt, vilket kan leda till skador på byggnaden. För att förhindra skador på byggnaden kommer förstärkningsåtgärder utföras inför byggstart. En noggrannare undersökning av husets befintliga grundläggning kommer utföras för att ge underlag vid val av förstärkningsmetod.

För ledningarna vid Västergärdet som är förlagda längs kanten av ett lerområde har sättningen till följd av grundvattenbortledning bedömts bli försumbar. Ingen skada till följd av grundvattenbortledning bedöms därmed uppstå.

8.3 Naturvärden

Skogsmiljöer i naturvärdesobjekt 9 och omgivande del av Älvrummets naturreservat bedöms bestå av en grundvattenberoende naturtyp som kan klassas som känslig-mindre känslig (Werner & Collinder, 2015). Dess känslighet beror på källförekomst. Inga tydliga grundvattensystem, såsom myrar, mossor, etcetera identifierades dock vid naturvärdesinventeringarna.

Ett fåtal ekar som blir kvar utanför arbetsområdet i närheten av NV-objekt 10 kan komma att påverkas av grundvattenbortledningen.

Naturtypen inom området bedöms generellt vara nederbördsberoende och därför inte påverkas i någon större utsträckning av grundvattenbortledningen.

9 Klimatanpassning

Grundvattenbildningen förväntas att förändras i framtiden till följd av klimatförändringar. SGU har genomfört en modellering för små grundvattenmagasin, vilka utgörs av snabbt reagerande moränmagasin eller magasin i kristallin berggrund, för att utreda hur grundvatten kan påverkas till följd av olika klimatscenarier (Hjerne et al., 2024). Modelleringen har utförts för att undersöka hur grundvattenbildningen kan ändras i ett förändrat framtida klimat, hur långa perioder det kan bli med ingen eller mycket begränsad grundvattenbildning (av SGU benämnt grundvattentorka) samt hur fyllnadsgraden i grundvattenmagasinen kan variera. Modelleringen har utförts med ett antal olika klimatmodeller för att dels jämföra resultaten, dels möjliggöra en statistisk bedömning av hur stor osäkerheten är för de olika resultaten.

Huvudfokuset i rapporten har varit klimatscenariot RCP 4,5 och modellering har utförts för perioden 2011 – 2100. I rapporten är det framför allt modelleringsresultaten för perioden 2071 – 2100 som diskuteras tillsammans med den osäkerhet som de olika modellerna uppvisar.

För den årliga potentiella grundvattenbildningen i området kring Trollhättan presenteras resultatet av modellkörningarna som ett medelvärde för grundvattenbildning från alla de använda modellerna. Medelvärdet indikerar att den årliga potentiella grundvattenbildningen kan variera mellan -5 och + 5 procentenheter fram till 2070, för att därefter minska med cirka 5 – 10 procentenheter under perioden 2071 – 2100. Osäkerhet mellan de olika modelleringsresultaten ger dock upphov till en standardavvikelse på mellan 5 – 10 procentenheter. Enligt rapporten kan detta tolkas som att den årliga potentiella grundvattenbildningen sannolikt minskar, men det är även möjligt att den kan öka något.

Perioder med grundvattentorka, definierat som perioder med låg eller ingen nederbörd, kan bli längre. För perioden 2071 – 2100 visar modellresultaten på en ökning av en sådan period med 14 – 21 dagar. Standardavvikelsen här är 7 – 14 dagar, vilket enligt rapporten kan tolkas som att torrperiodernas längd kan förväntas öka snarare än minska.

Fyllnadsgraden i ett grundvattenmagasin, betraktat som ett medelvärde för hela året, minskar något under perioden 2071 – 2100. Standardavvikelsen är dock i samma storleksordning som minskningen, vilket kan tolkas som att det inte nödvändigtvis behöver bli någon förändring. Eftersom detta är ett årsmedel kan det fortfarande innebära att fyllnadsgraden minskar under sommarhalvåret, medan den ökar under vinterhalvåret och att det därför inte blir någon skillnad i fyllnadsgrad uttryckt som ett medelvärde över hela året.

Sammantaget kan resultaten från de tre modellerade parametrarna indikera att grundvattennivån generellt kommer att vara lägre i små grundvattenmagasin i området kring Trollhättan under sommarhalvåret, huvudsakligen baserat på att perioder med grundvattentorka kan förväntas att öka. Under förutsättning att fyllnadsgraden inte minskar mycket uttryckt som ett medelvärde på årsbasis kan det också innebära att det blir en större grundvattenbildning under vinterhalvåret. Detta förutsätter att nederbörden, framför allt nederbörd i form av regn, ökar under vinterhalvåret då vegetationen inte tar upp nederbörd.

Den planerade slussanläggningen i Trollhättan kommer att grundläggas huvudsakligen på berg och är därmed inte känslig för sättningar. Vidare kommer grundvattenbortledning ske för i stort sett hela slussanläggningen, eftersom den grundläggs under nuvarande opåverkad grundvattennivå. Om grundvattennivåerna blir lägre till följd av klimatförändringar kommer de ändå inte bli så pass låga att grundvattenbortledningen upphör för någon del av slussanläggningen. Eventuell framtida minskad grundvattenbildning leder därmed inte till någon påverkan på slussanläggningens stabilitet.

Referenser

- [1] Börjesson, E., Svedholm, J. & Börjesson Sandberg, E., (2024)
Naturvärdesinventering för nya slussar i Göta älv, Trollhättan.
Naturcentrum AB, rapport i PDF-format till WSP Sverige AB och
Trafikverket. 98 sidor
- [2] Gustafson, G., (2009). Hydrogeologi för bergbyggare. Formas.
- [3] Hjerne, C., Retzner, A., Hellstrand, E. & Thunholm, B., 2024:
Klimatmodellering av grundvatten – grundläggande analys. SGU-rapport
2024:04. Sveriges geologiska undersökning.
- [4] McDonald, M. G., & Harbaugh, A. W., (1988). A modular three-dimensional
finite-difference ground-water flow model. US Geological Survey.
- [5] Naturcentrum AB, (2022), Naturvärdesinventering Trollhättan.
- [6] Naturvårdsverket, (1997). Grundvattenströmning i kristallint berg. Rapport
4818.
- [7] Niswonger, R. G., Panday, S., & Ibaraki, M., (2011). MODFLOW-NWT, a
Newton formulation for MODFLOW-2005. US Geological Survey
Techniques and Methods, 6(A37), 44.
- [8] Ryd, E., (2017). Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i
kristallint och sedimentärt berg. Examensarbete, Uppsala universitet.
- [9] SMHI, (2025). SMHI:s vattenwebb, statistiskt 1991–2020. Besöksdatum
2025-06-01. <https://www.smhi.se/data/sjoar-och-vattendrag/vattenwebb>
- [10] SGU. (2021). Hydraulisk konduktivitet i Sveriges berggrund. SGU-
rapport 2021:09
- [11] SGU. (2025). Kartvisare Jordarter 1:25000 – 1:100000. Besöksdatum 2025-
06-01. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-25-100.html>
- [12] VISS. (2025). Vattenkartan. Besöksdatum 2025-06-01. [https://ext-
webbgis.lansstyrelsen.se/e17e00dc-cfac-4314-a619-ec4533254346/](https://ext-webbgis.lansstyrelsen.se/e17e00dc-cfac-4314-a619-ec4533254346/)
- [13] Werner & Collinder, 2015. Naturvårdensinventering Trollhättan
- [14] WSP. (2025a). Beräknings-PM Släntstabilitet ny sluss och farled
Handlingnr. S.14+TK.N.A00-UGB.T.010
- [15] WSP. (2025b). PM Markmodell.

- [16] WSP. (2025c) PM Bergteknik. Handlingnr. S.14+TK.M.A00-ABA.T.001
- [17] WSP. (2025d). Beräknings-PM Sättningar inom påverkansområde grundvatten. Handlingsnr. S.14+TK.N.A00-UGB.T.020

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

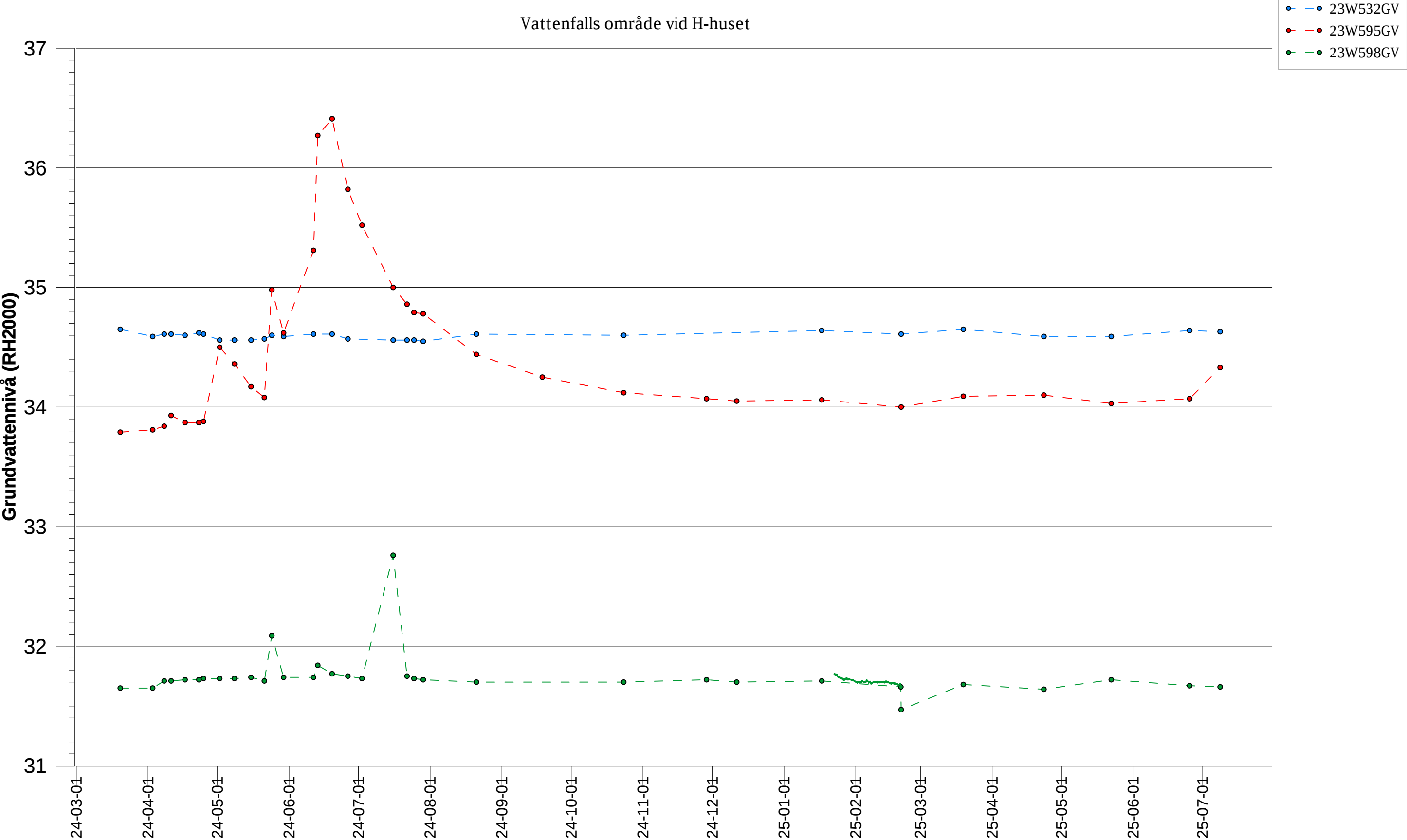
[trafikverket.se](https://www.trafikverket.se)

BILAGA 1

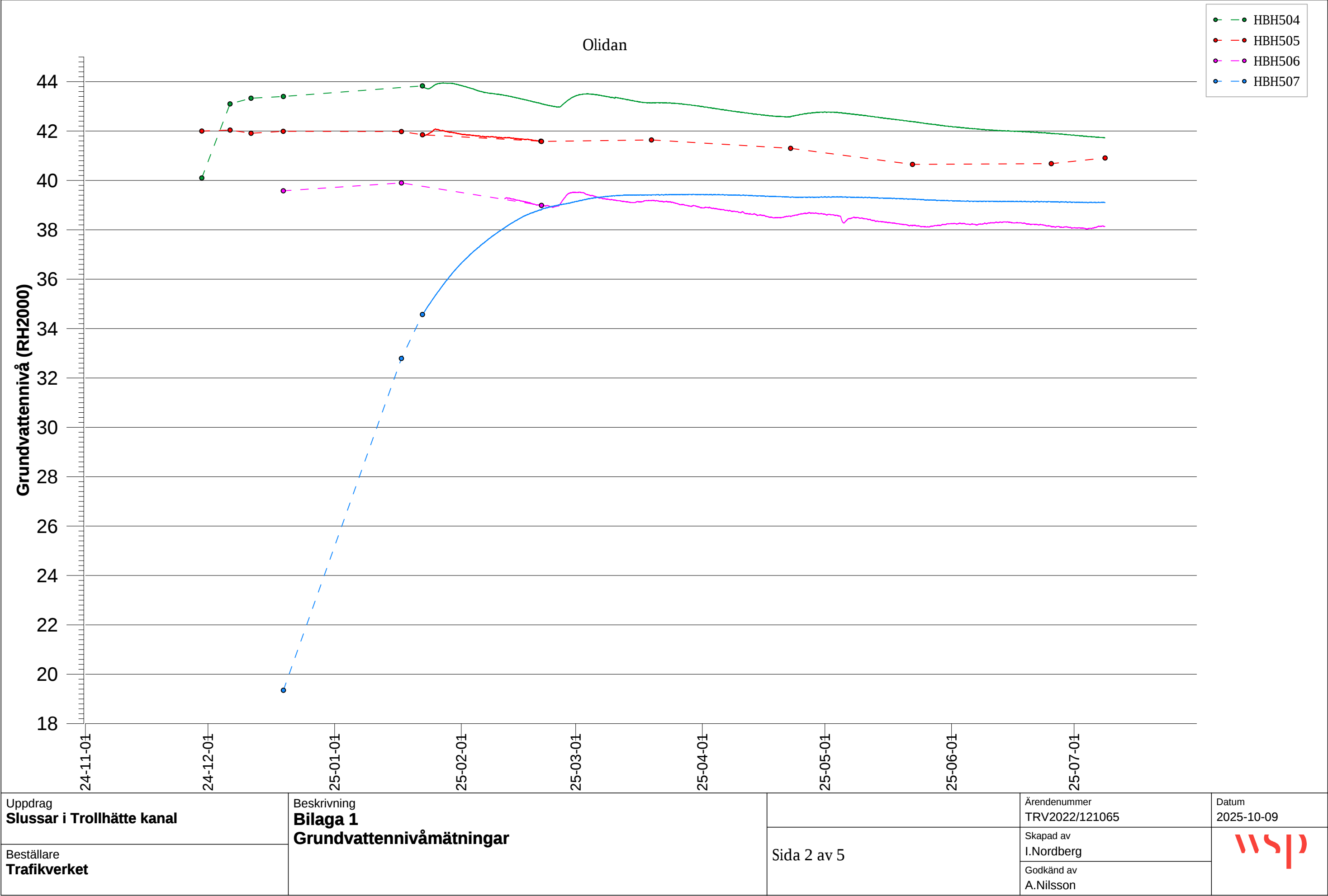
GRUNDVATTENNIVÅMÄTNIGAR



Vattenfalls område vid H-huset



Uppdrag Slussar i Trollhätte kanal	Beskrivning Bilaga 1 Grundvattennivåmätningar		Ärendenummer TRV2022/121065	Datum 2025-10-09
		Sida 1 av 5	Skapad av I.Nordberg Godkänd av A.Nilsson	





Uppdrag Slussar i Trollhätte kanal	Beskrivning Bilaga 1 Grundvattennivåmätningar		Ärendenummer TRV2022/121065	Datum 2025-10-09 
Beställare Trafikverket		Sida 3 av 5	Skapad av I.Nordberg	
			Godkänd av A.Nilsson	

