

Systemhandling

PM Hydrogeologi

Slussar i Trollhätte kanal

Anläggande av sluss i Trollhättans kommun,
Västra Götalands län

2025-10-31

Förfrågningsunderlag E21 2026-05-07



Trafikverket

Postadress: Vikingsgatan 4, 41101 Göteborg

E-post: trafikverket@trafikverket.se

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

Konfidentialitetsnivå: 2 Intern

Dokumenttitel: PM Hydrogeologi

Filnamn: S.14+TK.N.A00-UHA.T.104

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

Dokumentdatum: 2025-10-31

Ärendenummer: TRV2021/84231

Kontaktperson: Mikael Rintala

Rev.	Ändringen avser	Godkänd av	Ändringsdatum
A			
B			
C			

Innehåll

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	10
2.2.1 Delområde 1	10
2.2.2 Delområde 2	11
2.2.3 Delområde 3	11
2.2.4 Lextorp	11
2.3 Hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden	12
2.3.1 Ytvatten	12
2.3.2 Grundvatten.....	12
2.3.3 Delområde 1	15
2.3.4 Delområde 2	15
2.3.5 Delområde 3	15
2.3.6 Lextorp	16
3 Planerade anläggningar.....	18
3.1 Anläggande av ny slussled	18
3.2 Bro över Slusskanalen.....	21
3.3 Betongdamm	21
3.4 Breddning av Bergkanalen	22
3.5 Sänkning av Höljan.....	24
4 Hydrogeologiska undersökningar.....	25
4.1 Slugteter i jordlager.....	25
4.2 Vattenförlustmätning i kärnborrhål	26
4.3 Stegprovpumpning i kärnborrhål	26
4.4 Provpumpning i hammarborrhål.....	26
5 Beräkningar	28
5.1 Hydraulisk konduktivitet i berg	28

5.2 Grundvattenmodell	32
5.2.1 Mjukvara	32
5.2.2 Simuleringsmetod	32
5.2.3 Konceptualisering	33
5.2.4 Modelluppbyggnad	35
5.2.5 Randvillkor	37
5.2.6 Hydrauliska parametrar	41
5.2.7 Beräkningsfall	43
5.2.8 Kalibrering	44
5.2.9 Osäkerheter	50
6 Resultat	52
6.1 Modellresultat	53
6.2 Grundvattennivåförändringar	56
6.2.1 Anläggningsskede	56
6.2.2 Driftskede	58
6.3 Påverkansområde	62
6.4 Grundvattenbortledning	66
6.4.1 Anläggningsskede	67
6.4.2 Driftskede	68
6.5 Vattenutläckage	69
7 Motstående intressen	70
7.1 Enskilda brunnar	70
7.2 Sättningskänsliga objekt	70
7.3 Naturvärden	71
8 Bedömda konsekvenser	73
8.1 Enskilda brunnar	73
8.1.1 Anläggningsskede	75
8.1.2 Driftskede	76
8.2 Sättningskänsliga objekt	76
8.3 Naturvärden	76
9 Klimatanpassning	77
10 Referenser	79

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. Naturreservaten 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 förutsättningarna för den planerade nya slussleden i Trollhättan, samt att beskriva beräkningar för grundvattenpåverkan som anläggandet och driften av den nya slussleden bedöms medföra.

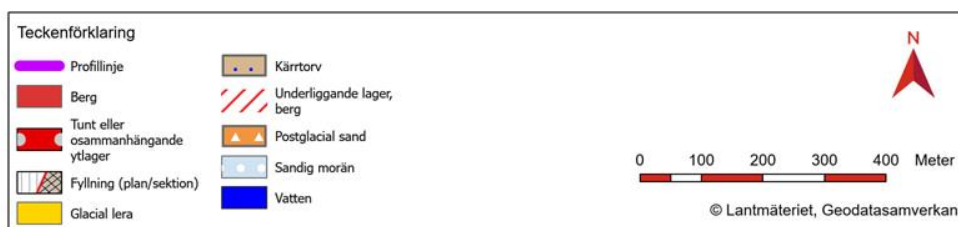
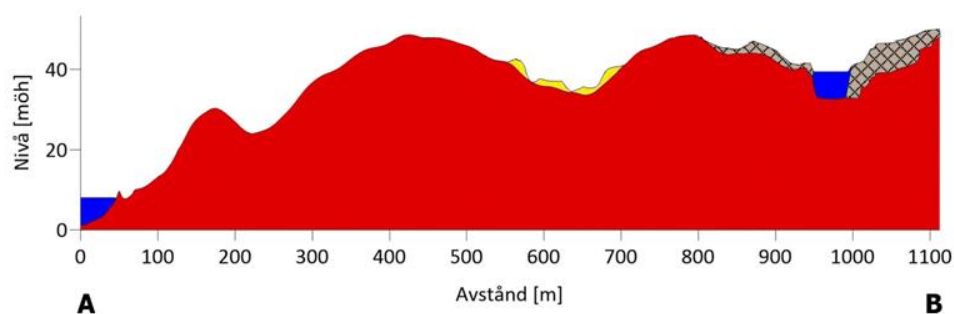
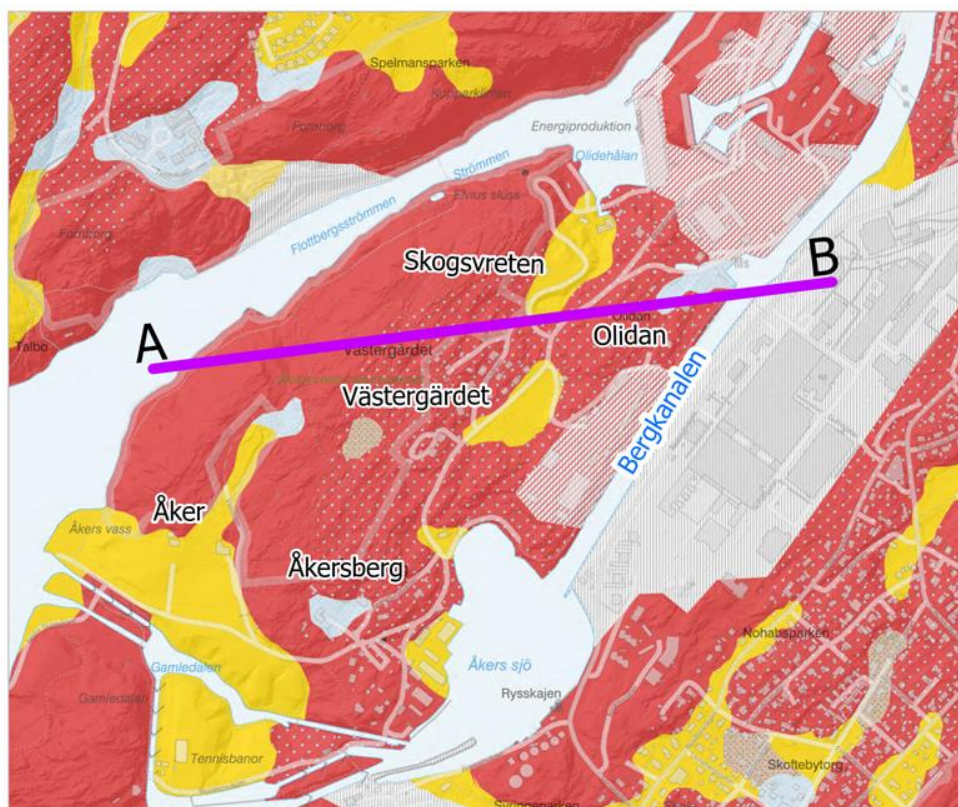
2 Platsspecifika förhållanden

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 norrut från 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.



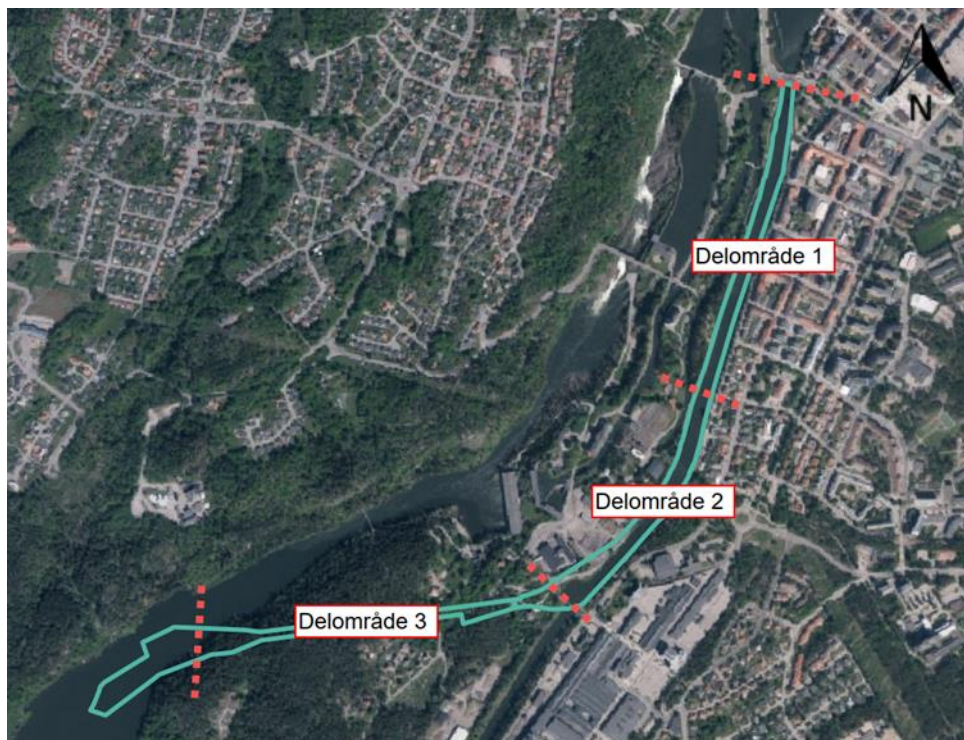
Figur 1. Jordartskarta över det berörda området i Trollhättan. Profillinje A-B illustrerar sträckning för ett tvärsnitt av den konceptuella geologiska uppbyggnaden från Göta älv och till strax öster om Bergkanalen i läge för planerad ny slussled.

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 sydvästkandinaviska 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 beskrivs dels för slussleden och Bergkanalen, dels för det tillfälliga lagringsområdet vid Lextorp. Området längs Bergkanalen och den nya slussleden har delats upp i tre delområden, se Figur 2.



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 m. 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.

2.2.4 Lextorp

Jordlagerföljden från markytan består av torrskorpelera och lera som vilar på berg. Ställvis underlagras leran av friktionsjord och i några punkter har tunna lager av sand eller silt påträffats i markytan. Jorddjupet varierar över området och ligger generellt mellan 5-20 m med ett djupare område upp till 24 m.

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 Vänern vid Vänersborg genom Trollhättan, Lilla Edet, Kungälv och Göteborg för att så småningom mynna ut i Kattegatt. Nivån i Vänern 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 (P_n)	382	366

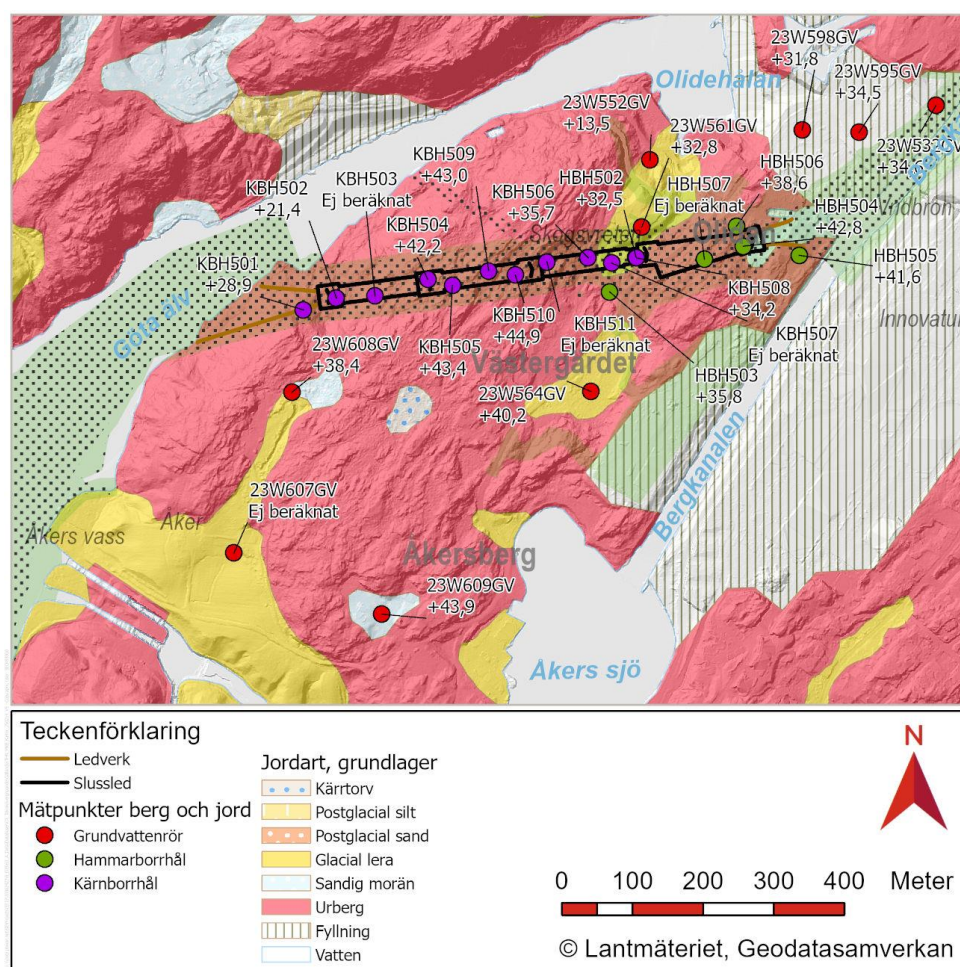
Utifrån ovanstående data erhålls en generell nettonederbörd (P_n) om cirka 374 millimeter/år för det aktuella området, vald som medelvärdet mellan delavrinningsområdena.

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

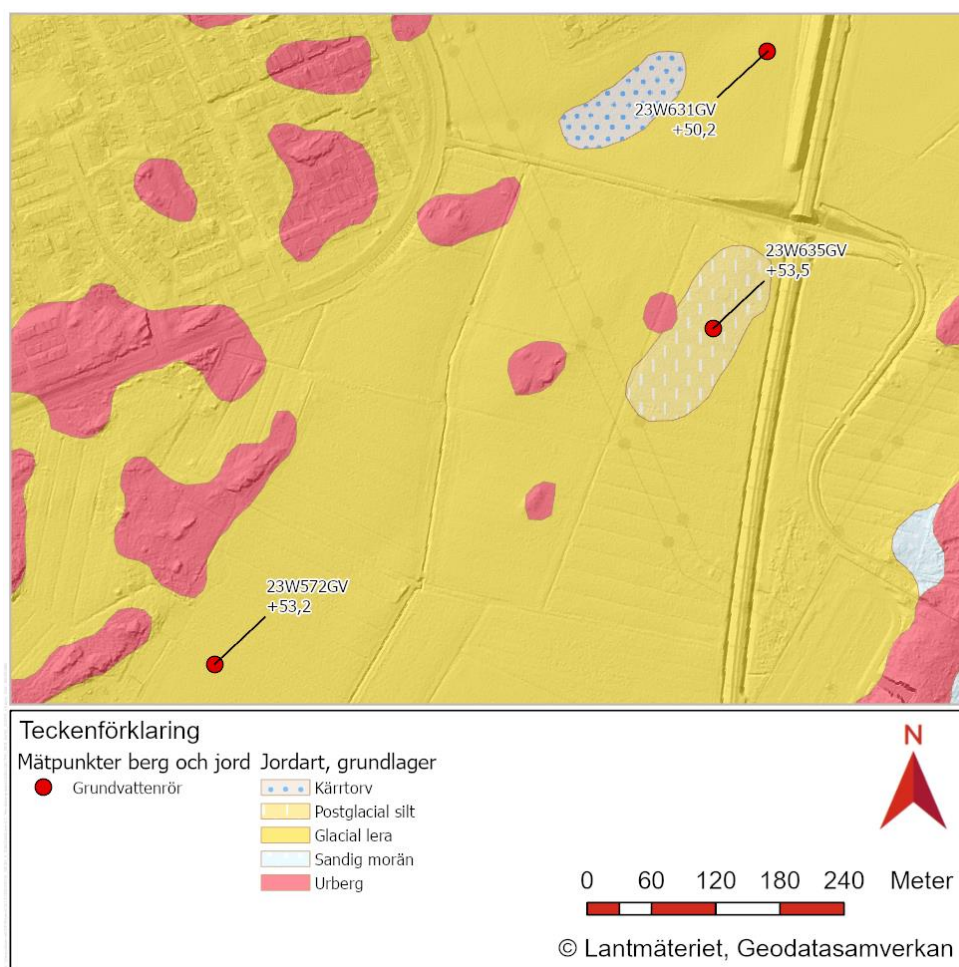
inom korridoren för den nya slussleden. Mätning av grundvattennivåer i jordlager och berg påbörjades i april 2024 och är fortsatt pågående. Uppmätta grundvattennivåer från starten av mätningarna fram till juli 2025 presenteras i Bilaga 1 i MUR Hydrogeologi, S.14+TK.N.A00-UHA.T.105.

Lägen för mätpunkter för grundvattennivåer i jord och berg inom och i närheten av planerad slussled samt vid Lextorps ängar och uppmätta medelnivåer av hittills utförda mätningar redovisas i Figur 3 och Figur 4.



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.

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.



Figur 4: Lägen för grundvattenrör i jord vid Lextorps ängar. Medelnivåer redovisas vid varje observationspunkt för grundvatten som nivåer i RH2000.

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.

I nedanstående kapitel ges en beskrivning av de hydrogeologiska förutsättningarna för de delområden som beskrivs under kapitel 2.2 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.

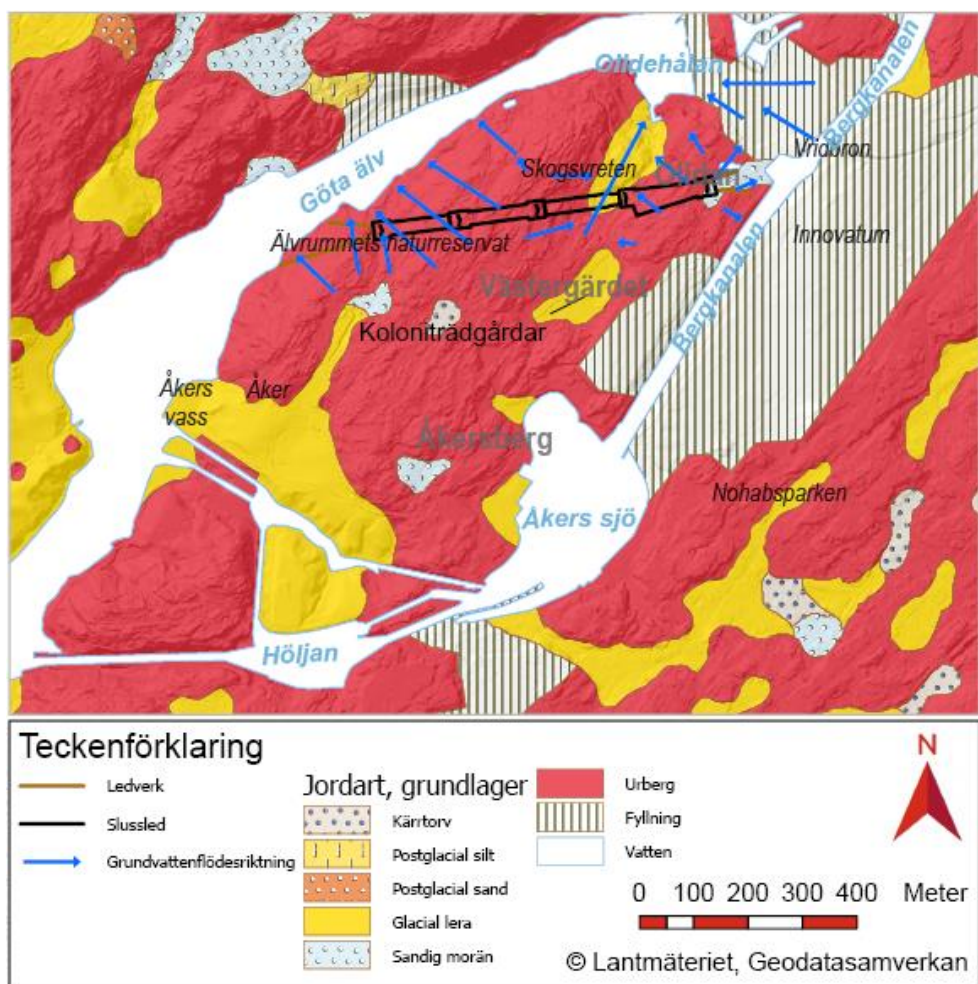
I höjdområdet vid Olidan är uppmätta medelgrundvattennivåer i berg på mellan cirka +41,4 till +42,5. Här bedöms flödesriktningen var riktad huvudsakligen västerut mot dalgången mellan Västergärdet och Olidehålan, men kan även röra sig mot Bergkanalen i den nordöstra delen av delområde 3. I ett mindre 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 Västergärdet och Skogsvreten har medelgrundvattennivåer i berg på cirka +44,2 till +44,9 uppmätts. Medelgrundvattennivåerna faller därefter av 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 Västergärdet 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 5.



Figur 5: Flödesriktningar för grundvatten i berg.

2.3.6 Lextorp

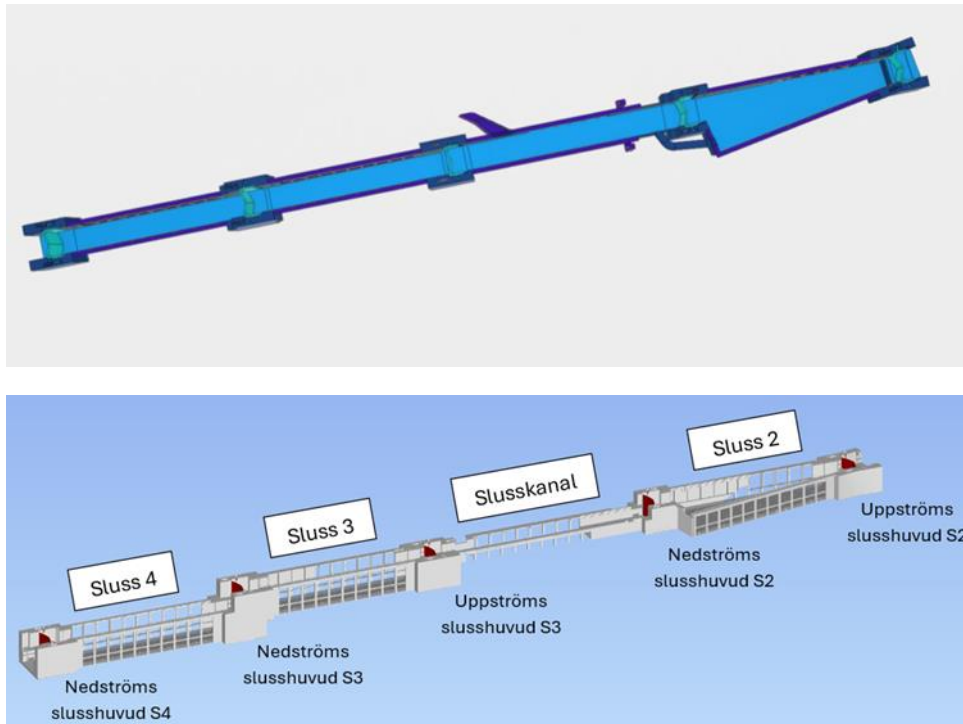
Lextorp är ett flackt område och grundvattennivån förväntas därför inte luta mycket. Uppmätta medelgrundvattennivåer ligger kring +53,2 i södra delen och

kring +53,5 i östra delen av området, Figur 4. I den norra delen är den uppmätta medelgrundvattennivån cirka +50,2. Den lägre grundvattennivån beror dels på att markytan är något lägre här, dels på att det finns ett täckdike relativt nära grundvattenröret. Baserat på topografin och de uppmätta grundvattennivåerna bedöms grundvattenflödet vara riktat mot nordost.

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 6.



Figur 6: Schematisk skiss av slusstrappan uppifrån och från sidan.

Slussleden kommer att utgöras av en slusstrappa bestående av en triangelsluss (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 slushhuvud av betong med portar för att stänga ute vatten, slusskammare och ett nedre slushhuvud 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.

Slushhuvudena 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 närmast sluss 2, som går fram mot sluss 3 tills där bergets överyta åter når över vattennivån i slussleden. Den dämmande konstruktionen kan antingen utföras som ett tätt betongtråg, eller som en betongdamm längs kanalens norra vägg med injektering 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. Injektering 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	Befintlig grundvattennivå	Schaktbottennivå
Sluss 2 inlopp från bergkanalen	+39,4 - +42,8	+32,8
Sluss 2	+31,2 - +42,9	+22
Sluss 2 kaj höger sida	+38,3 - +42,2	+39,6
Sluss 2 kaj vänster sida	+38,8 - +43,1	+39,1
Sluss 2 isutskov	+35,8 - +41,2	+31,3 - +33,8
Vägar och landskapsanpassningar på höger sida om sluss 2	+35,8 - +41,6	+32,2 - +35,7
Klaffbro	+34,3 - +35,4	+23,2
Vägar och landskapsanpassningar på vänster sida Slusskanalen, vid bro över Slusskanalen	+35,4 - +41,6	+33,8 - +38
Slusskanalen, tätt betongtråg/betongdamm	+32,7 - +35,2	+23,3
Slusskanalen, nedströms tätt betongtråg/ betongdamm	+35,4 - +42,4	+24,2
Slusskanalen kaj höger sida	+34,5 - +43,4	+31,6
Slusskanalen kaj vänster sida	+35,1 - +43,4	+31,2 - +31,6
Serviceväg höger sida längs med Slusskanalen, Sluss 3 och Sluss 4	+20,7 - +45,6	+19,2 - +33,6
Sluss 3	+41,5 - +46,6	+9,8
Sluss 3 kaj höger sida	+40,5 - +46,1	+31,2
Sluss 3 kaj vänster sida	+45,2 - +47,3	+30,6 - +31,1
Sluss 4	+17,9 - +45,0	-2,4
Sluss 4 kaj höger sida	+16,4 - +40,5	+19,2
Sluss 4 kaj vänster sida	+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 Bro över Slusskanalen

Vid Slusskanalen mellan sluss 2 och sluss 3 planeras en bro som ska gå tvärs kanalen, se Figur 7. Grundläggning av bron medför detaljschakt i berg som är djupare än planerad botten på Slusskanalen.



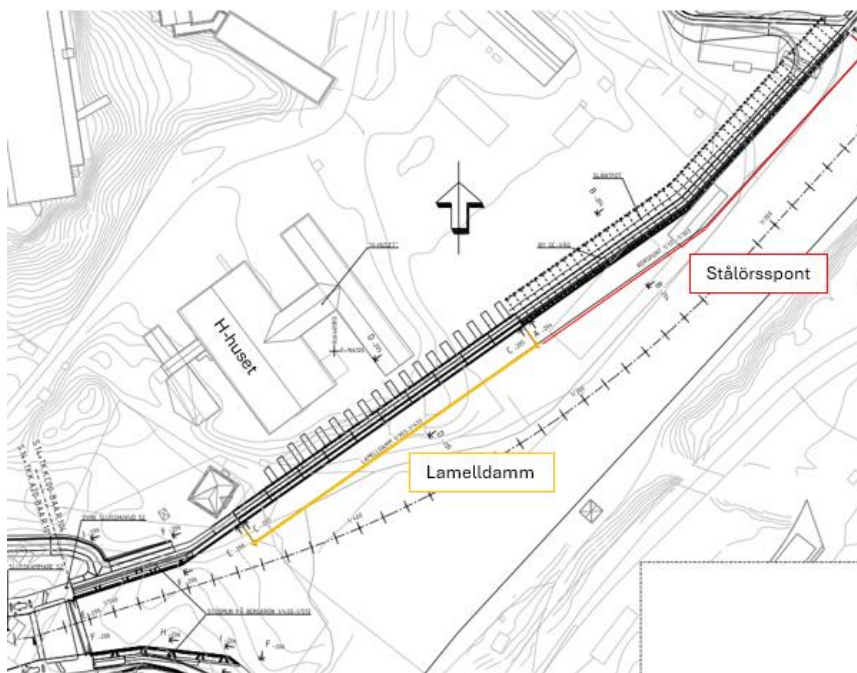
Figur 7. Läge för bro (mörkblå färg) som ska gå tvärs Slusskanalen.

3.3 Betongdamm

I samband med breddningen av Bergkanalen planeras nya dammar anläggas uppström ny sluss 2, se Figur 8.

Dammen föreslås byggas av två olika konstruktioner, en gravitationsdamm närmast 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.

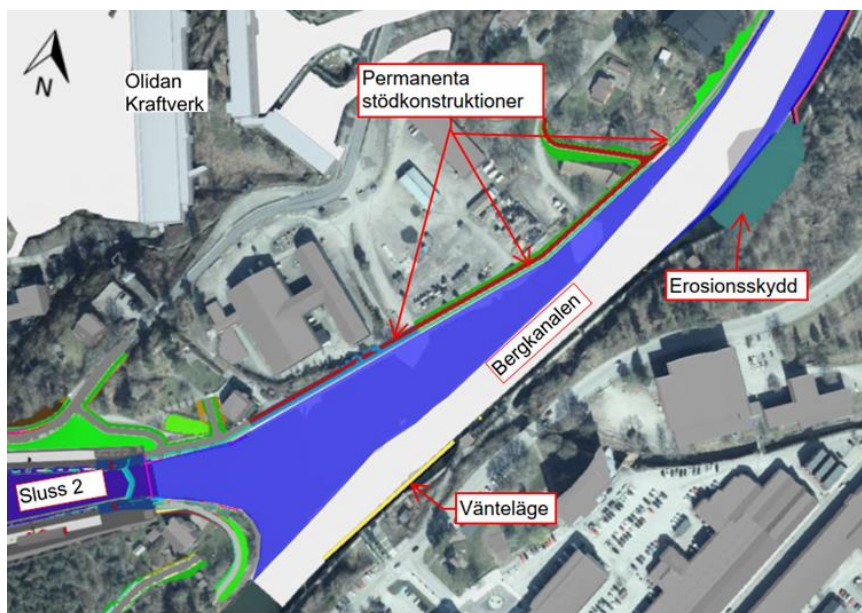
Grundläggningen utförs mot frilagd bergyta och plansprängd bergyta på olika djup längs med den naturliga bergkonturen. Berget under dammen injekteras för att minska risken för läckage under den.



Figur 8. Läge för betongdamm och spontdamm uppströms sluss 2.

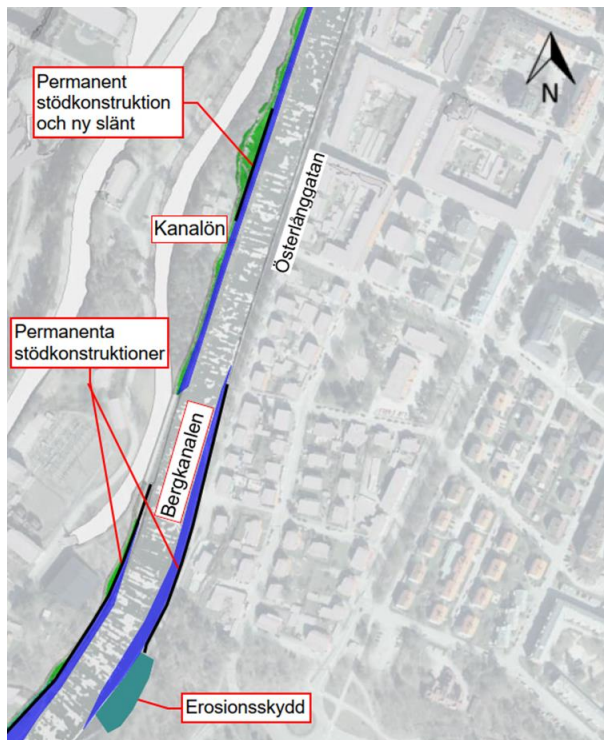
3.4 Breddning av Bergkanalen

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 9.

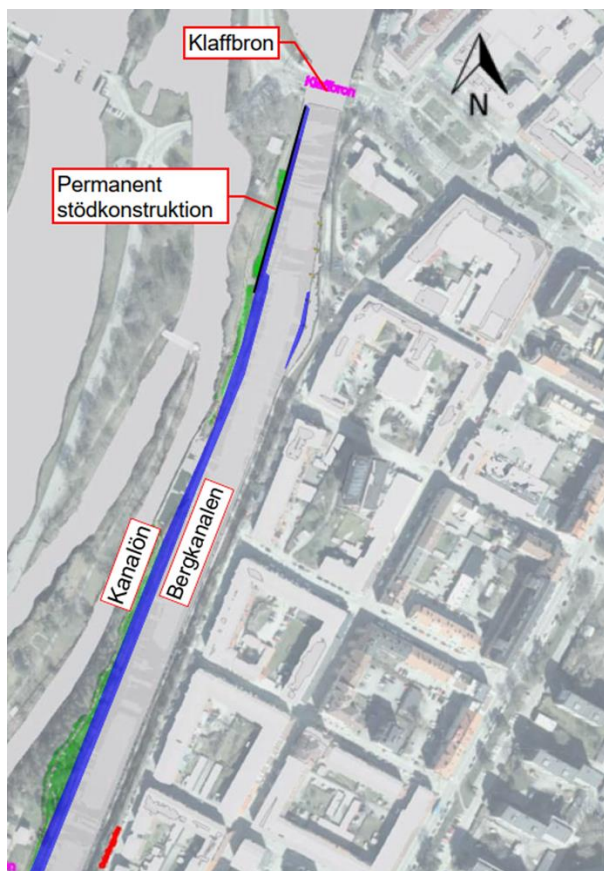


Figur 9. Planerade anläggningar norr om nya slussar. Ungefärligt område för breddning av Bergkanalen illustreras med blå markering.

Planerad breddning av övriga delar av Bergkanalen visas i Figur 10 och Figur 11.



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



Figur 11. 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.

Hydrogeologiska undersökningars utförande och resultat redovisas i Markundersökningsrapport (MUR) Hydrogeologi, handling S.14+TK.N.A00-UHA.T.105.

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.

Utförande och resultat av slugteter redovisas i MUR Hydrogeologi, handling S.14+TK.N.A00-UHA.T.105.

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.

Utförande och resultat av vattenförlustmätningar redovisas i Markundersökningsrapport (MUR) Bergteknik, handling S.14+TK.M.A00-ABA.T.002.

4.3 Stegprovpumpning i kärnborrhål

Stegprovpumpning har utförts i utvalda kärnborrhål för att verifiera utförda vattenförlustmätningar, då resultaten av vattenförlustmätningarna i vissa kärnborrhål visade på att det inte förekom någon vattenförlust, vilket bedömdes som orimligt.

Stegprovpumpning har därför utförts i fyra kärnborrhål, KBH503, KBH504, KBH509 och KBH510. Kärnborrhålen har valts för att representera olika flöden utifrån vattenförlustmätningarna, från inget flöde i KBH503 till det högst uppmätta flödet i KBH510.

Utförande och resultat av stegprovpumpningarna i kärnborrhål redovisas i MUR Hydrogeologi, handling S.14+TK.N.A00-UHA.T.105.

4.4 Provpumpning i hammarborrhål

Vid planerat slussläge i Trollhättan på fastigheterna Trollhättan Olidan 5:29 och 5:17 har två hammarborrade bergbrunnar, HBH506 respektive HBH502,

installerats för att fungera som pumpbrunnar. Utöver dessa har hammarborrhål HBH 503-HBH505 samt HBH507 installerats som observationsbrunnar.

Utförande och resultat av provpumpningarna i hammarborrhålen redovisas i MUR Hydrogeologi, handling S.14+TK.N.A00-UHA.T.105.

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 brunnarsarkiv. Beräkning av brunnstransmissivitet gjordes med metod efter Ryd (2017). Inom valt sökområde identifierades totalt 1 186 bergborrade brunnar med beräkningsbara data.

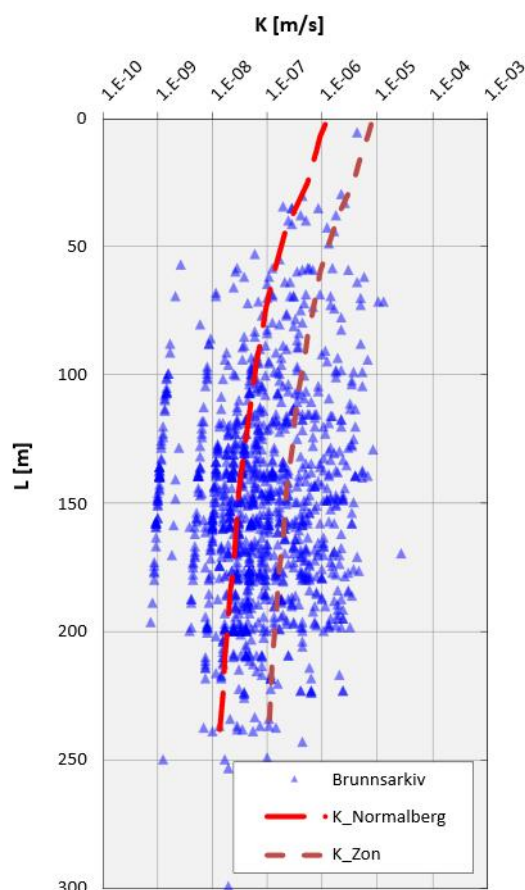
Medelkonduktivitet (K) för respektive brunn beräknades som brunnstransmissivitet (T) för den borrhade längden (L) som brunnen penetrerar i berget.

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 12 representerar ett medel K -värde för brunnsdjupet för respektive bergbördad brunn.

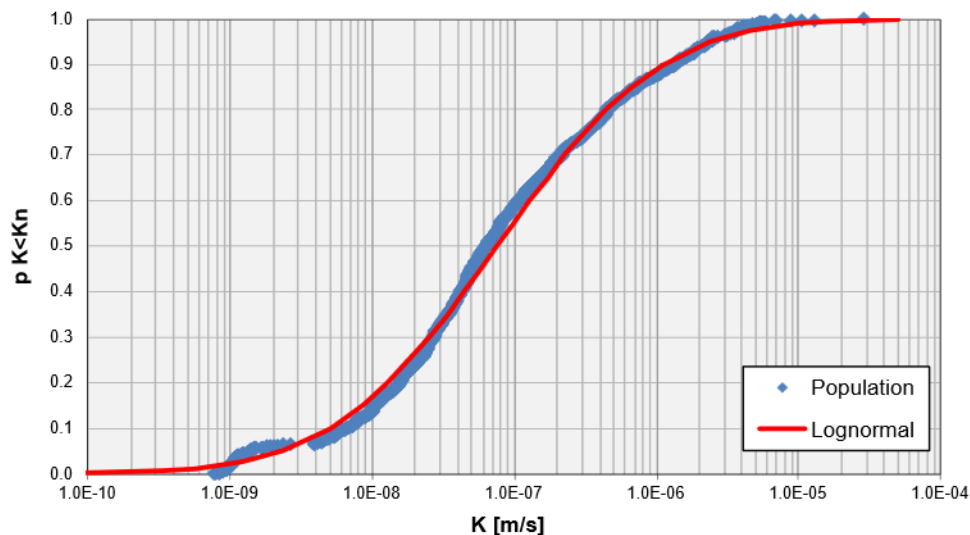


Figur 12. Utvärderade K -värden plottade mot brunnnsdjupet, och utvärderad djupavtagande för hydraulisk konduktivitet ($K_{Normalberg}$) och svaghetszoner (K_{Zon}).

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

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

Med antagandet att samtliga brunnar tillhör samma domän gjordes en analys som visar att populationen är lognormalfördelad (Figur 13), vilket möjliggör vidare utvärdering av statistiska parametrar för populationen.



Figur 13. 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.

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

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

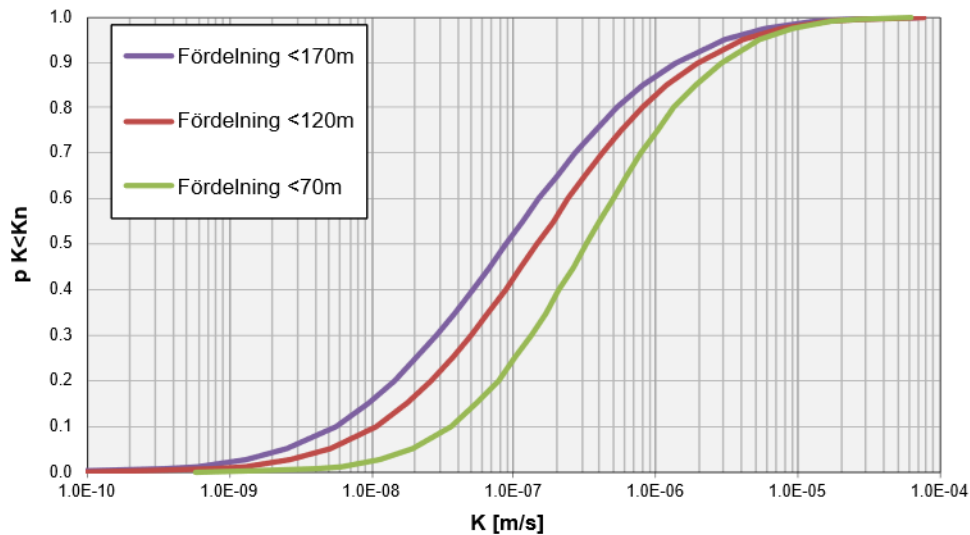
De studerade delpopulationerna valdes till:

- 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 14.

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

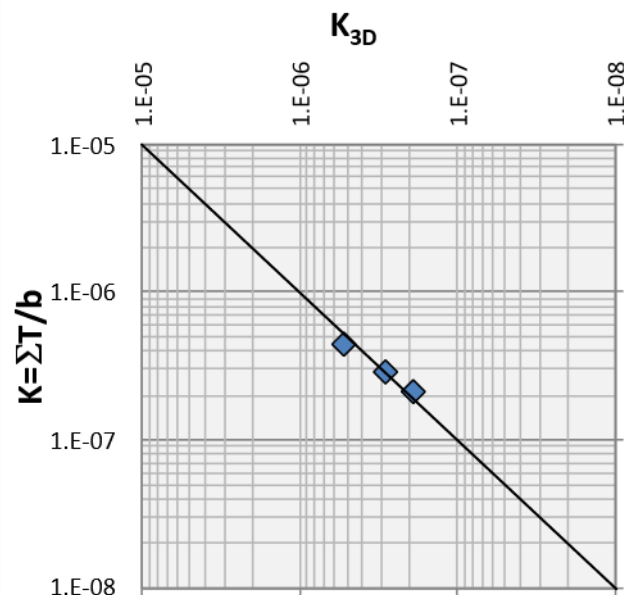
$$K = C * (\text{djup i berg})^L \quad (\text{ekv 3}) \quad (\text{Naturvårdsverket, 1997})$$



Figur 14. Lognormalfördelade populationer indelade efter djup i berg.

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 $K_{Normalberg}$. Passningen gjordes manuellt genom en summering av transmissivitet för respektive studerad bergmäktighet, där medelvärdet för konduktiviteten för studerad mäktighet antogs till $K = \sum T/b$, se Figur 15.

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



Figur 15. Passningen mellan utvärderade K_{3D} och beräknad $K = \sum T/b$ 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.

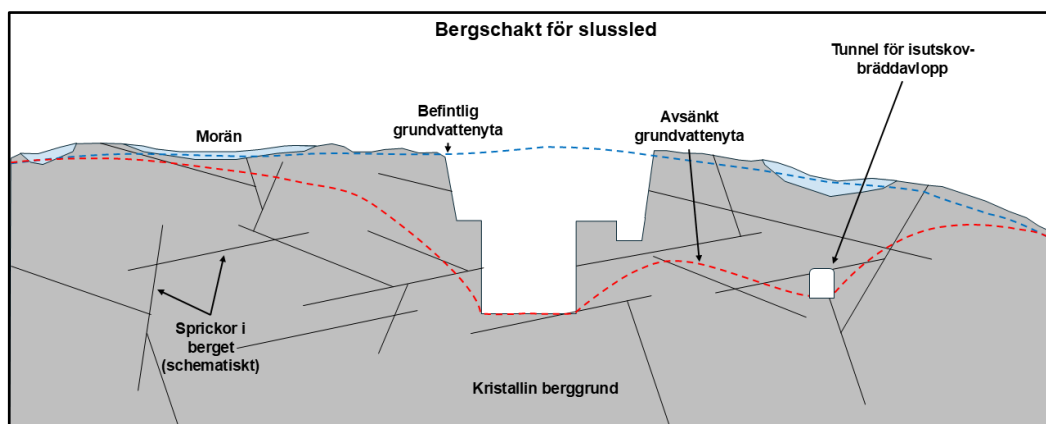
Stationära förhållanden innebär att grundvattennivåförändringar till följd av grundvattenbortledningen är fullt utvecklade till det avstånd där det hydrogeologiska systemet står i jämvikt med nybildningen av grundvatten till grundvattenmagasinet. Avståndet till jämviktsläget kommer att vara störst i anläggningsskedet, då grundvattenbortledningen sker till de djupare nivåer som schaktbottnarna utgör. I driftskedet blir avståndet mindre, då grundvattenbortledningen sker till vattenytan i respektive slussteg 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.

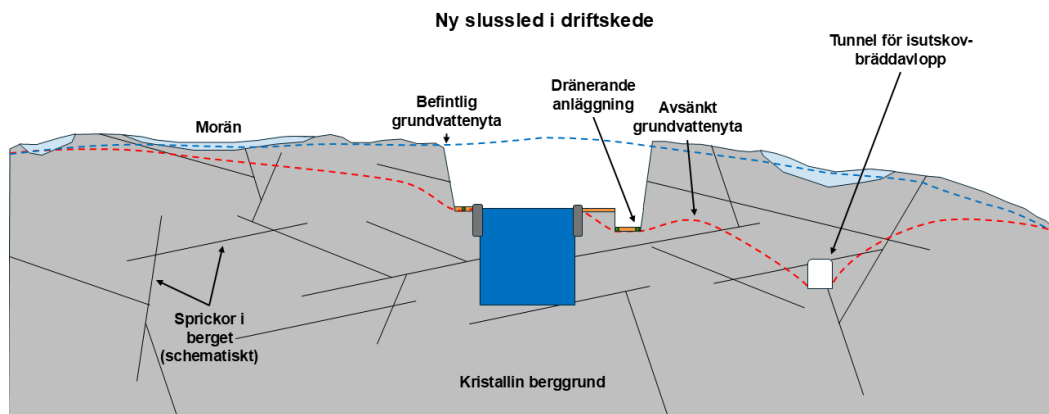
Eftersom modelleringen utförts vid stationära förhållanden är det inte möjligt att undersöka tiden det tar för en grundvattensänkning att fullt utvecklas i grundvattenmagasinet. Stationära förhållanden bedöms dock uppnås under anläggningsskedet.

5.2.3 Konceptualisering

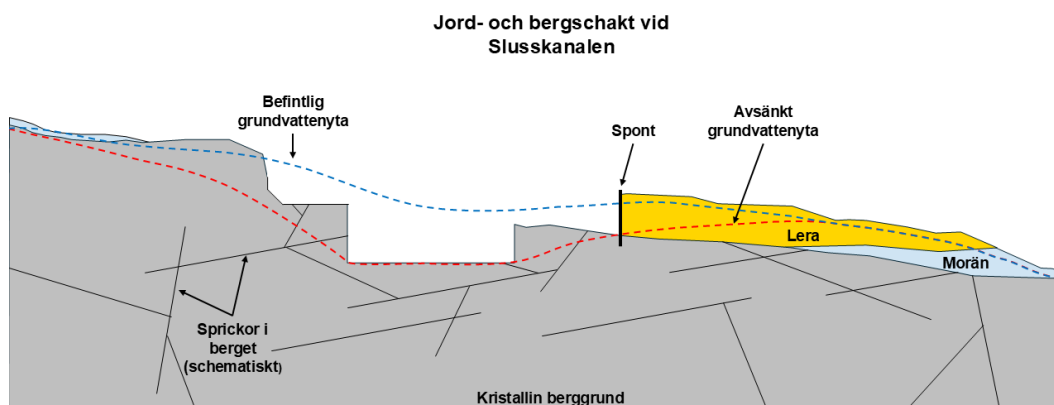
Grundvattenmodellen bygger på en konceptuell modell upprättad inom ett hydrauliskt avgränsat område. Modellutformningen grundas på de hydrogeologiska och geologiska förutsättningarna som beskrivs i kapitel 2 Platsspecifika förhållanden samt projekterade anläggningar enligt projekteringsunderlag redovisade i kapitel 3 Planerade anläggningar. Se Figur 16 och Figur 17 för konceptuell hydrogeologisk modell för Sluss 3 och 4 samt Figur 18 och Figur 19 för Slusskanalen.



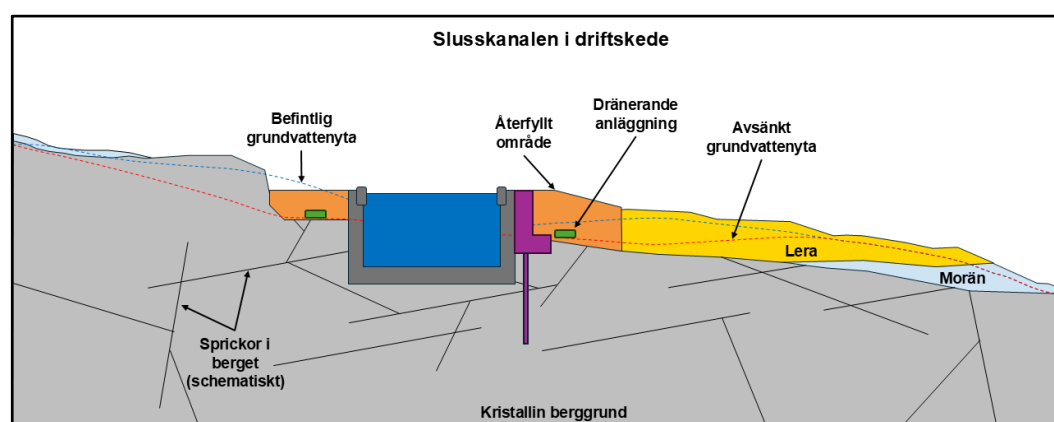
Figur 16. Konceptuell hydrogeologisk modell för området runt den nya slussleden med bergschakt för ny slussled och tunnel för isutskov-bräddavlopp (anläggningsskede).



Figur 17. Konceptuell hydrogeologisk modell för området runt den nya slussleden med bergschakt för ny slussled och tunnel för isutskov-bräddavlopp (driftskede med fyllda slussar).



Figur 18. Konceptuell hydrogeologisk modell för anläggningsskede med jord- och bergschakt med spont vid Slusskanalen.

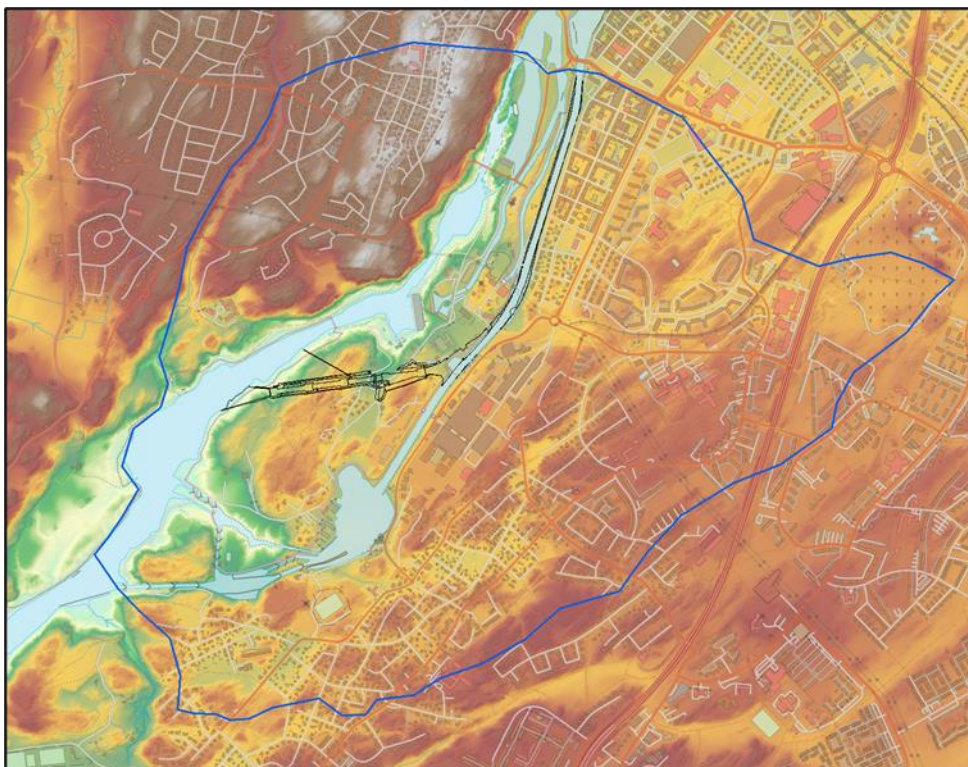


Figur 19. Konceptuell hydrogeologisk modell för driftskede vid Slusskanalen med tät betongkonstruktion (grå) alternativt betongdamm med tätningsåtgärd i form av injektering under (lila).

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 anläggningsskede 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 20.



Figur 20. Modelldomän i förhållande till planerade anläggningar.

5.2.4 Modelluppbyggnad

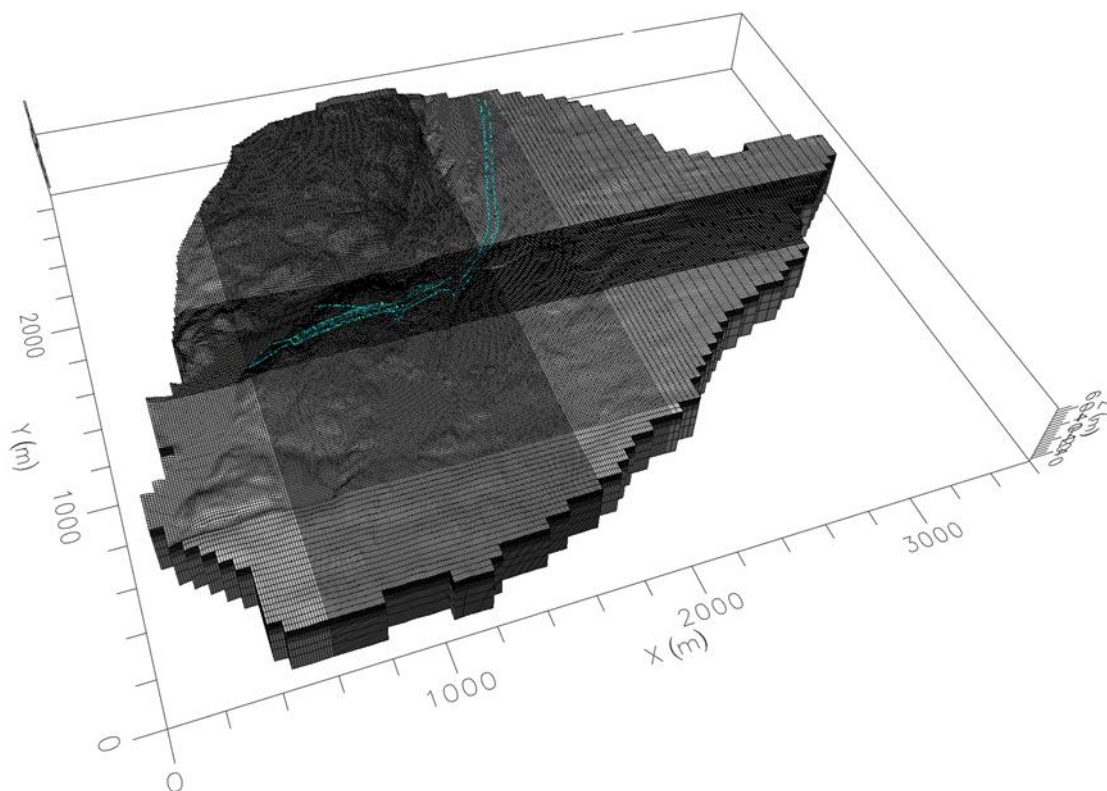
Modelldomän och diskretisering

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.

Modellens tredimensionella utformning framgår av Figur 21.



Figur 21. Modellens tredimensionella utformning. Områden för ny slussled och justeringar i bergkanalen anges med turkosa linjer.

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 jorrdjupskarta.

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, kärnborrningar 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

Vid bedömda vattendelare som utgör modellavgränsningen gäller ”No Flow Boundary”, över vilka inget vatten kan strömma.

Ytvatten

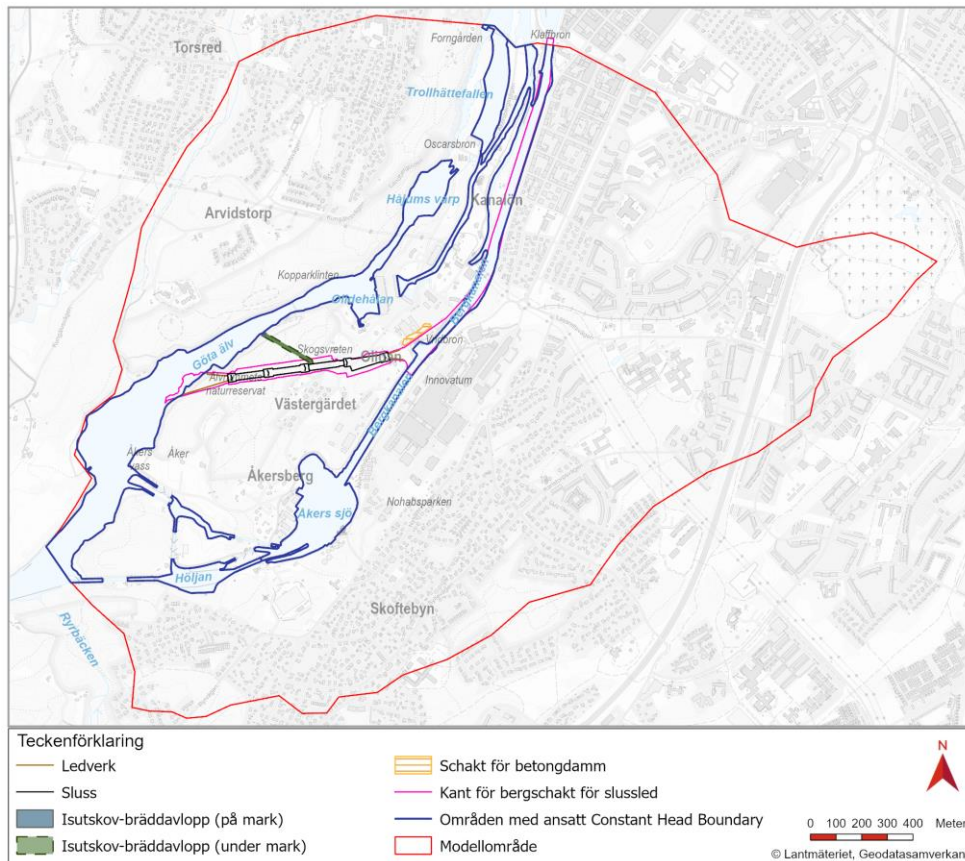
Inom avgränsat område utgör i första hand vattennivån i Göta älv, Olidehålan, Bergkanalen, Gamledalen, Åkers sjö och Höljan styrande randvillkor för grundvattenströmningen. Även nya och befintliga slussar som generellt hålls vattenfyllda, eller slussar som har samma vattennivå som angränsande ytvatten 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 3 och Figur 22.

Tabell 3. 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 22. Modellområde, avgränsat med en "no flow boundary", och områden med ansatt Constant-Head Boundary (CHB) inom modellområdet.

De kvarliggande slusslederna från år 1800 och 1844 samt den befintliga slussleden från 1916 har betydande inverkan på tryckgradienter och strömningsmönster för grundvatten i berg då dessa har en dränerande effekt. Vattennivån i respektive slusskammare antas dräneras till slussbottennivå som 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 DRN nivåer framgår av Tabell 4.

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 4. Ansatta nivåer för gamla slussled "Drain Boundary" (DRN)

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 denna grundvattenbildning 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.

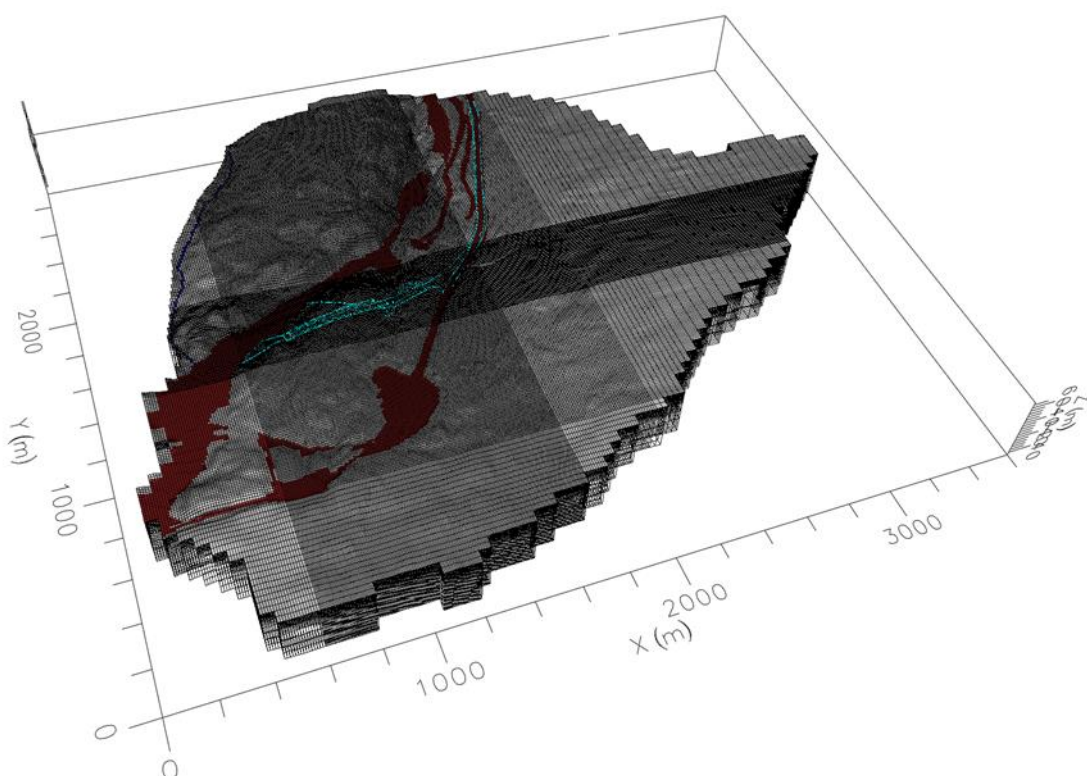
Inom aktuellt område för den nya slussleden sker även ett tillskott av vatten från Bergkanalen till grundvattenmagasinet. Vilken av dessa flödesvägar som är huvudsakligt styrande för vattentillgången i det undre grundvattenmagasinet vid

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 23.



Figur 23. 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 (Ss) och vattenavgivningstal (Sy) av betydelse.

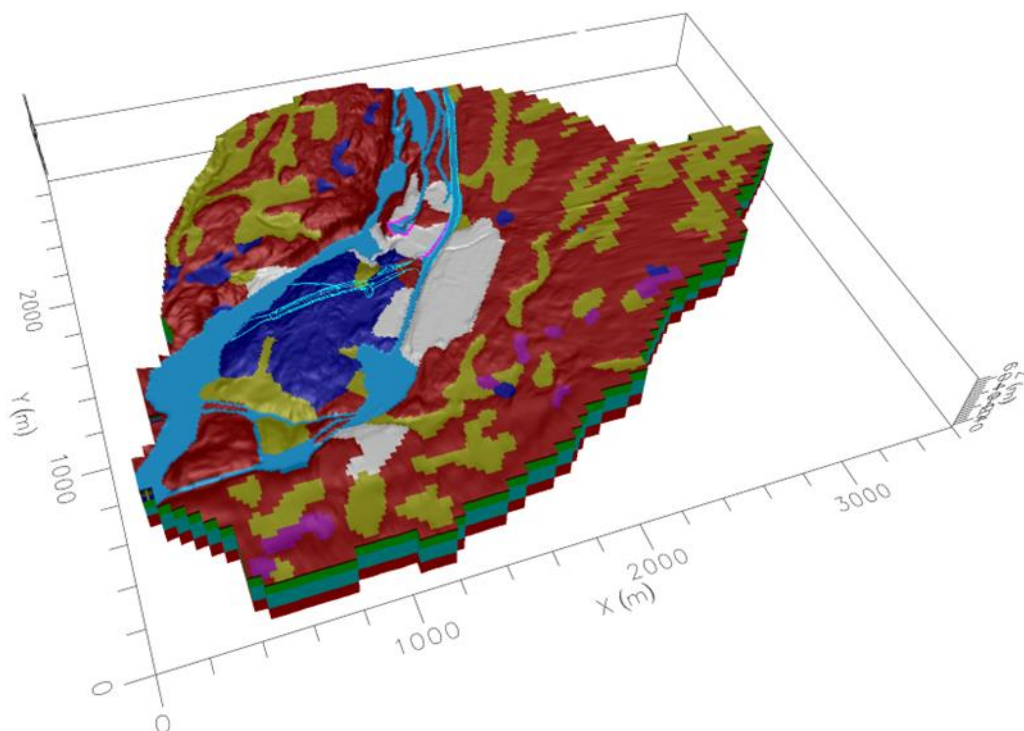
Värden för hydraulisk konduktivitet i olika jordarter har initialt ansatts efter litteraturvärden och utförda slugtester, och sedan kalibrerats mot uppmätta nivåer.

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 5. Översiktlig indelning av modellens ansatta hydrauliska parametrar för beräkningslager 1 framgår av Figur 24.

Tabell 5. Kalibrerade hydrauliska parametrar. K_h avser hydraulisk konduktivitet i horisontalled, K_v avser hydraulisk konduktivitet i vertikalalled.

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 24. 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 tre beräkningsfall: anläggningsskede och driftskede med fyllda respektive tömda slussar och Slusskanal, se Tabell 6. 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 antingen fyllda till en nivå som motsvarar högsta vattenytan eller tömda till en nivå som motsvarar respektive slussbotten.

Tabell 6. 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 • Ny slussled med tömda slussar • Justerad sträckning av Bergkanalen • 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

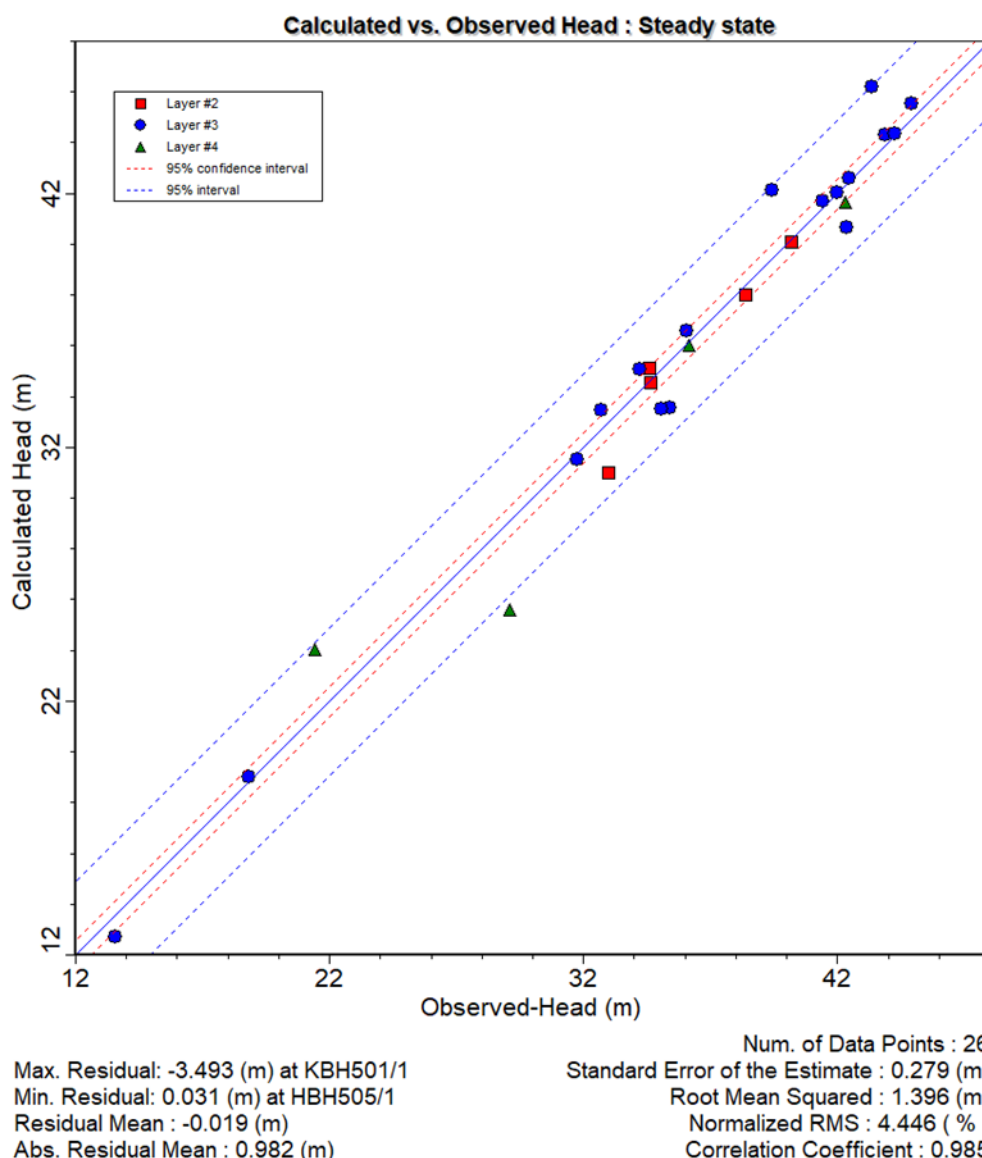
Utvärderade nivåer och beräknade grundvattennivåer samt avvikelsen mellan dem framgår av Tabell 7.

En plottning av de utvärderade nivåer (Observed Head) och beräknade grundvattennivåer (Calculated Head) redovisas även i Figur 25.

Tabell 7. Kalibreringspunkter (grundvattenrör och kärnborrhål) använda för kalibrering av grundvattenmodellen vid stationära förhållanden.

Kalibreringspunkt	Utvärderade nivåer [RH2000]			Beräknad nivå [RH2000]	Avvikelse (R _i) beräknad/medel
	Min	Max	Medel		
23W532	+34.6	+34.7	+34.6	+35.1	+0.5
23W552	+12.9	+14.2	+13.6	+12.7	-0.9
23W561	+32.5	+34.0	+33.0	+31.0	-2.0
23W564	+39.8	+40.4	+40.2	+40.1	-0.1
23W595	+33.8	+36.4	+34.7	+34.5	-0.2
23W598	+31.7	+31.8	+31.7	+31.5	-0.2
23W607	+18.2	+19.8	+18.8	+19.0	+0.2
23W608	+38.2	+38.8	+38.4	+38.0	-0.4
23W609	+43.5	+44.1	+43.9	+44.3	+0.4
HBH502	+32.6	+32.9	+32.7	+33.4	+0.7
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	+42.1	+2.7
KBH501*	+29.0	+29.2	+29.1	+25.6	-3.5
KBH502*	+21.4	+21.5	+21.5	+24.0	+2.5
KBH503*	+35.4	+35.5	+35.4	+33.5	-1.9
KBH504*	+42.4	+42.4	+42.4	+40.7	-1.7
KBH505*	+44.1	+44.4	+44.3	+44.3	0.0
KBH506*	+36.1	+36.2	+36.2	+36.0	-0.2
KBH507*	+34.2	+34.2	+34.2	+35.1	+0.9
KBH508*	+35.0	+35.2	+35.1	+33.5	-1.6
KBH509*	+43.3	+43.4	+43.4	+46.2	+2.8
KBH510*	+44.4	+45.2	+44.9	+45.5	+0.6
KBH511*	+42.3	+42.3	+42.3	+41.7	-0.6

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



Figur 25. Kalibreringsresultat för grundvattenmodellen vid stationära förhållanden. Grafen visar en plotning av de utvärderade nivåer (Observed Head) mot beräknade grundvattennivåer (Calculated Head).

Kalibreringsresultatet i Figur 25 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.

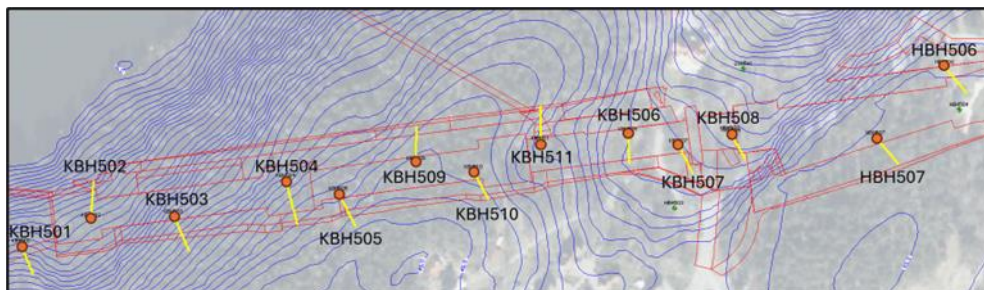
De största avvikelserna ses i kärnborrhålen samt ett av hammarborrhålen där den simulerade medelgrundvattennivån är cirka 1 – 3 meter högre eller lägre än den utvärderade medelgrundvattennivån. Dessa borrhål har en lutning som varierar mellan 50 – 60 grader från horisontalläge och en riktning på 0° eller 140° - 155°.

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 med endast små förflyttningar i plan.

Uppmätta trycknivåer kan 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.

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 medelvärdet för grundvattentrycknivån i mätpunkten i fråga.

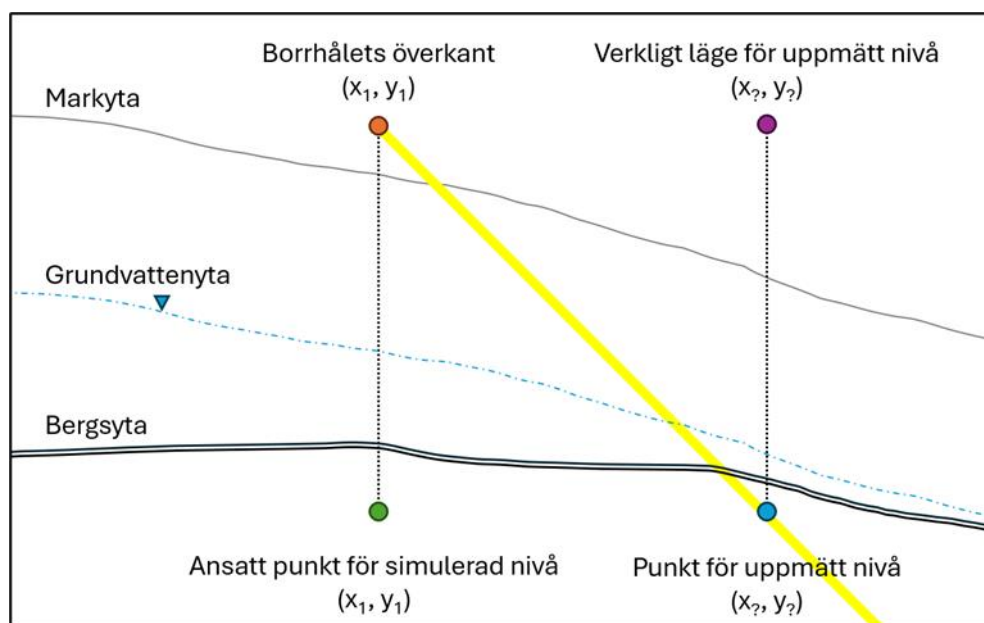
Skillnaderna kan även bero på att kärnborrhålen och två av hammarborrhålen är utförda som gradade borrhål, vilket innebär att de inte borrar rakt ner. Dessa borrhål har en lutning som varierar mellan 50 – 60 grader från horisontalläge och har varierande riktning i plan, på 0° eller 140° - 155° (där 0° 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 26. Utvärderad medelgrundvattennivå kan alltså förutsättas vara gällande någonstans mellan borrhålets överkant och längs linjen som representerar borrhålet i plan.



Figur 26. Visualisering av lutande borrhål i förhållande till beräknade grundvattentrycknivåer i berg. Orangea cirklar anger lägen för borrhålets överkant och gula streck visar borrhålets 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 27.

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 26 och Figur 27.



Figur 27. 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.

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 25 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.

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 beräkningsmetodik (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 simuleringens resultat. Då grundvattenmodellen visats beräkna grundvattennivåer med tillfredsställande 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 tätningssarbeten i form av injektering behöva utföras. Injektering kommer huvudsakligen att utföras i berglager för att försöka täta sprickor i berget. Tätning kan vid behov även utföras i jordlager för att täta glipor i spont eller mellan spont och berg. Trots dessa åtgärder är det inte tekniskt möjligt att täta så att inget grundvatten rinner in till schakterna.

Utförd grundvattenmodellering visar att planerade schakt för ny slussled, inkluderande klaffkammare för bro tvärs Slusskanalen och tunnel för isutskov-bräddavlopp, medför grundvattenbortledning både i anläggningsskede och driftskede. För den betongdamm som planeras att byggas uppströms planerad ny sluss 2 kommer grundvattenbortledning 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. Ytvattendragen fungerar därmed inte som en hydraulisk gräns, 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 Modellresultat

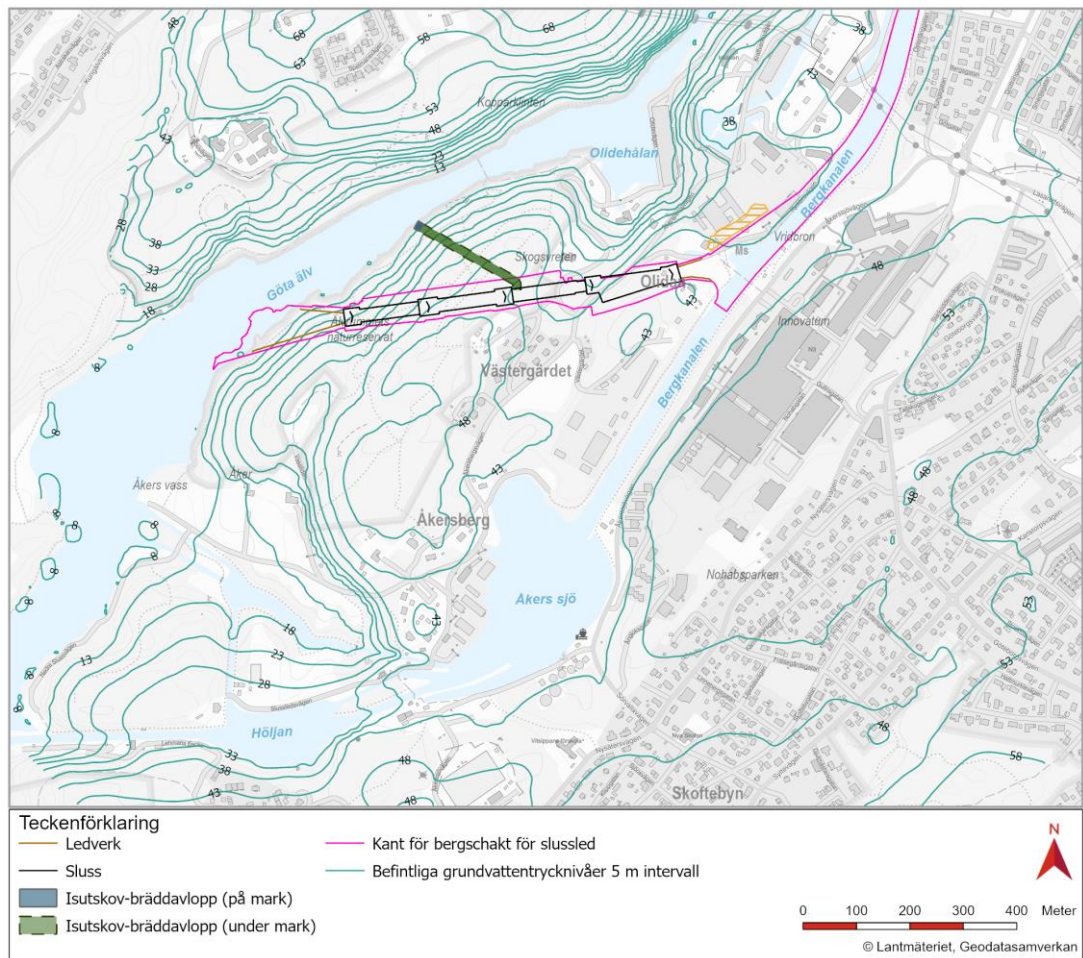
Grundvattenmodellen har använts för att simulera de tre beräkningsfallen, anläggningsskede och driftskede med fyllda respektive tömda slussar och Slusskanal samt sänkt vattennivå i Höljan som beskrivits under avsnitt 5.2.7. Modellresultaten har jämförts med den modellerade nuvarande grundvattennivån för att kunna få fram hur stor skillnad det blir i de olika beräkningsfallen. Skillnaden mellan den befintliga modellerade grundvattennivån och den modellerade grundvattennivån i respektive beräkningsfall utgör grundvattennivåförändringen för det specifika beräkningsfallet.

Resultaten som presenteras avser förändring i ytligt berg. Anledningen till att förändring enbart presenteras för det ytliga berget och inte för jordlager är att jordlager med grundvatten inte finns inom hela området. Det är därmed förändringen i berget som är den dominerande delen.

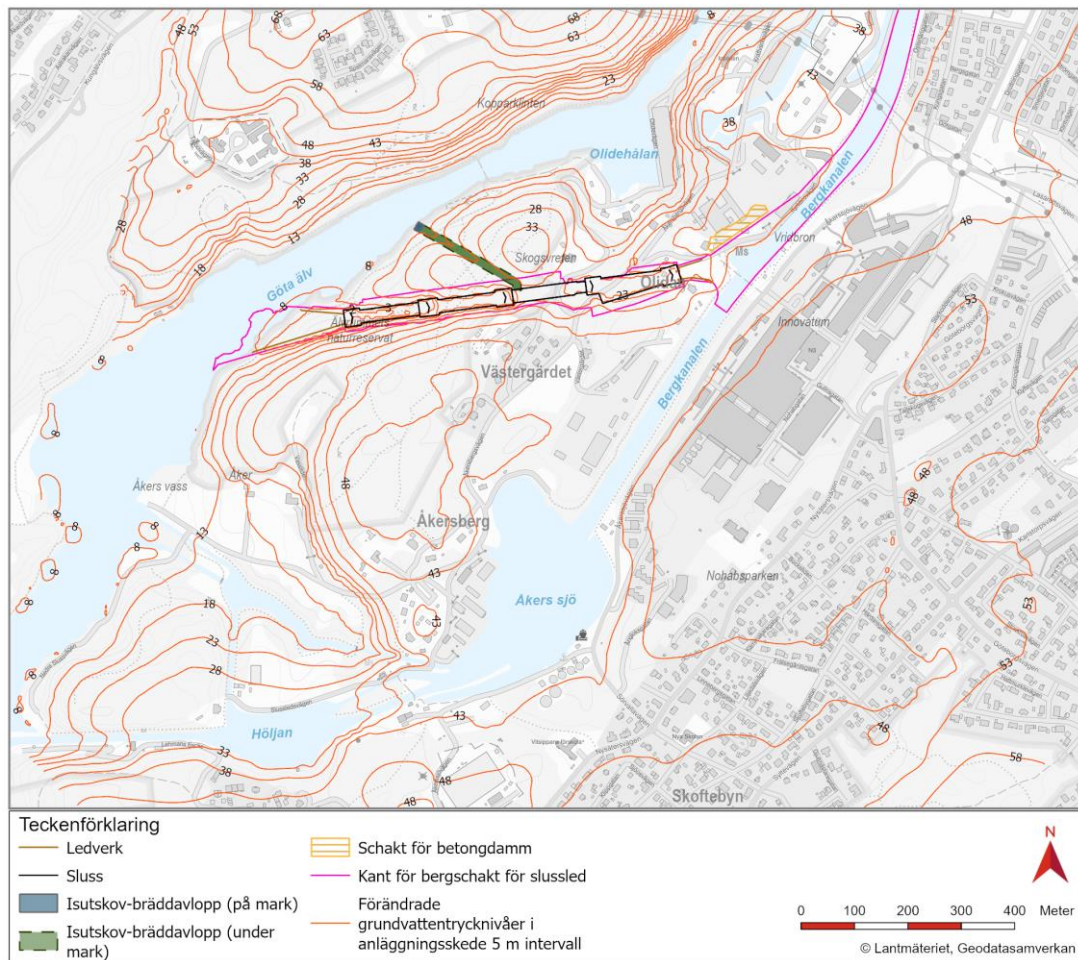
Den modellerade nuvarande grundvattennivån framgår av Figur 28. Modellerade befintliga grundvattennivåer inom modelldomänen.

Modellerad grundvattennivå för anläggningsskedet framgår av Figur 29.

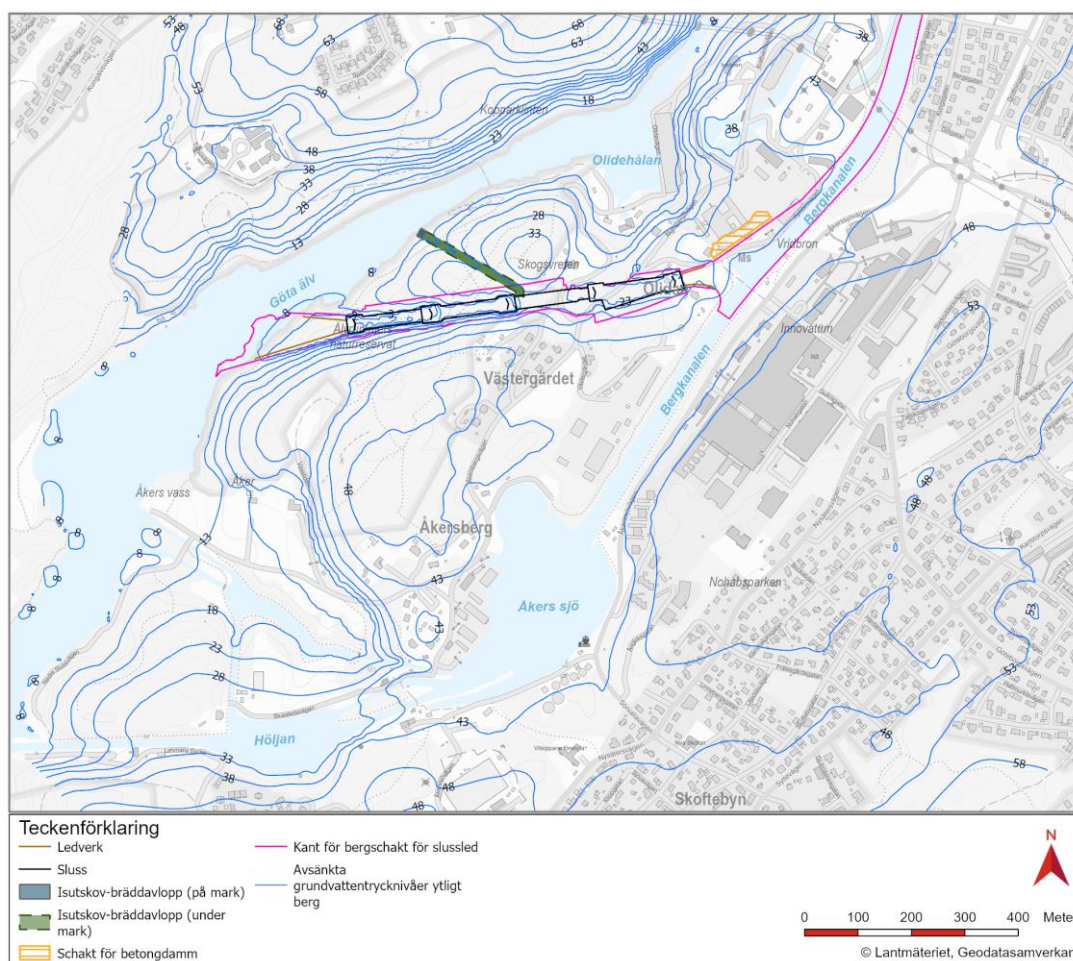
Modellerad grundvattennivå för driftskedet i normalfallet med fyllda slussar och Slusskanal framgår av Figur 30.



Figur 28. Modellerade befintliga grundvattennivåer inom modelldomänen.



Figur 29. Modellerade avsänkta grundvattennivåer vid anläggningsskedet.



Figur 30. Modellerade förändrade grundvattennivåer vid driftskedet med fyllda slussar.

6.2 Grundvattennivåförändringar

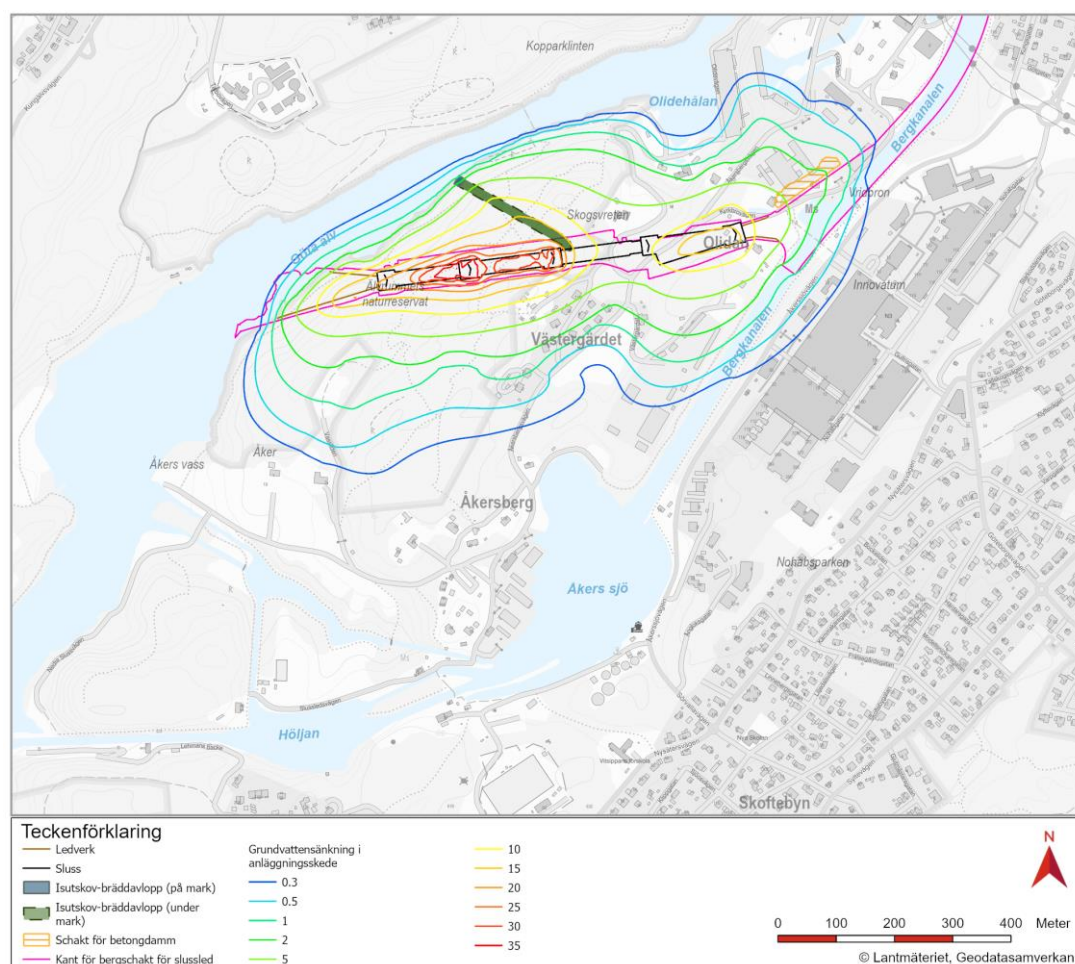
6.2.1 Anläggningsskede

Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen vid anläggande av ny slussled och övriga planerade anläggningar i anläggningsskedet framgår av Tabell 8 och Figur 31. 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 8. 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 31. Utbredning och storlek av grundvattennivåsänkning i anläggningsskedet.

6.2.2 Driftskede

Beräknade grundvattennivåförändringar för driftskede har uppdelats i två beräkningsfall; normal drift med fyllda slussar till högsta vattennivå och underhåll där samtliga slussar och Höljan kanalen är tömda till lägsta nivå.

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

6.2.2.1 Höljan

Störst avsänkning, ca 9 meter, sker vid läge för befintlig sluss 2, som i dagsläget vanligen är fylld (+39,4) och i framtiden kommer att sänkas till samma vattennivå som Höljan (+30,3). Påverkansområdet sträcker sig maximalt cirka 120 meter från strandlinjen och slussen. Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen framgår av Figur 32 och Figur 33.

6.2.2.2 Fyllda slussar och Slusskanal

Grundvattensänkning

Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen för ny slussled och övriga planerade anläggningar i driftskedet vid fyllda slussar framgår av Tabell 9 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 23 meter, sker i direkt anslutning till planerat läge för sluss 4. För sluss 2 och 3 uppgår maximal avsänkning till cirka 2 respektive 15 meter. Vid läge för kanalen uppgår avsänkningen till cirka 2 - 10 meter. Tunnel för isutskov-bräddavlopp medför en lokal avsänkning av grundvattensänkning på som mest cirka 18 meter.

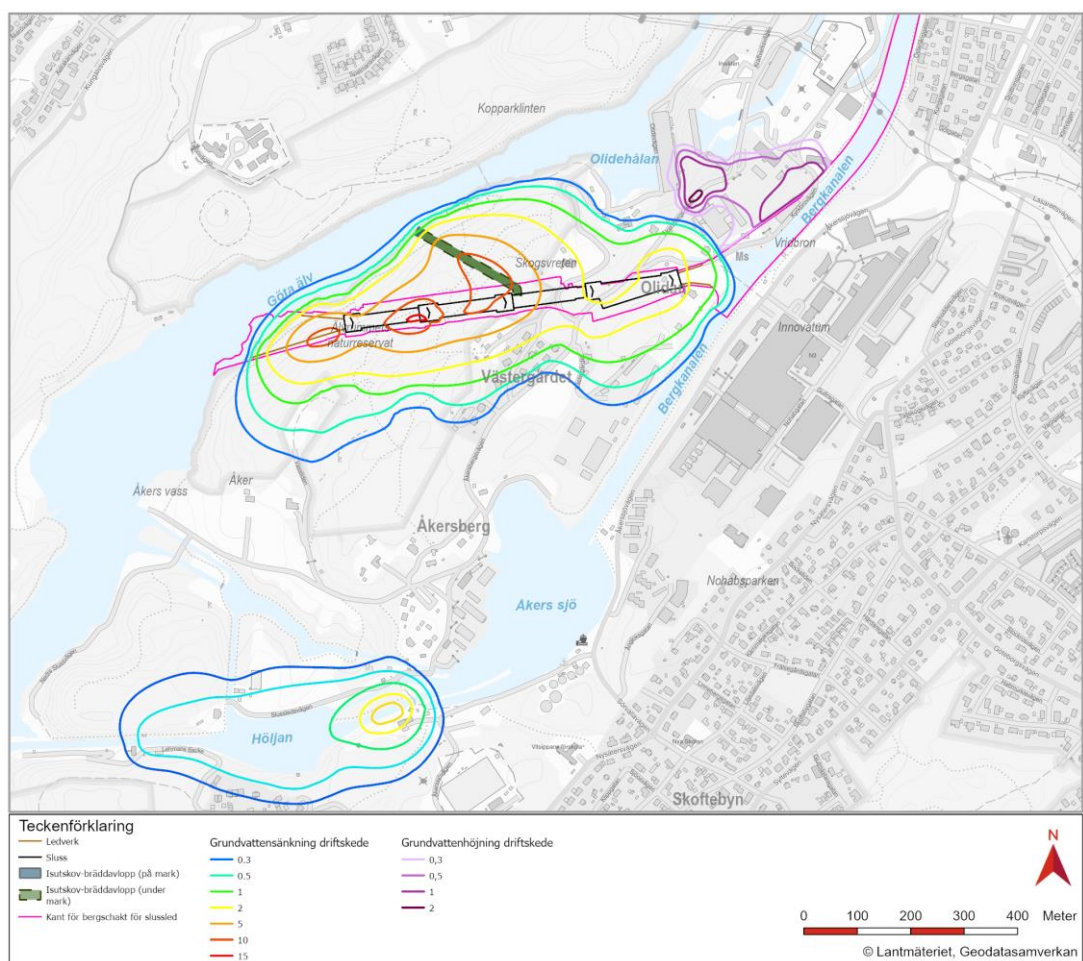
Bergskärningen för utloppet av sluss 4 medför en grundvattensänkning med upp till cirka 20 meter. Grundvattensänkningen vid bergskärningen för inloppet till sluss 2 uppgår till cirka 2 meter.

Tabell 9. Ungefärlig omfattning och utbredning på grundvattensänkningen 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

Grundvattenhöjning

Beräknad omfattning på grundvattenhöjning i driftskede med fyllda slussar framgår av Figur 32. Maximal höjning, cirka 2 meter, sker i slänten ner mot Olidehålan. Direkt nedströms spontdammen uppgår höjning av grundvattenytan till ca 1,5 meter.



Figur 32. Utbredning och storlek av grundvattennivåsänkning och grundvattenhöjning i driftskedet vid fyllda slussar.

6.2.2.3 Tömnda slussar och Slusskanal

Grundvattensänkning

Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen för ny slussled och övriga planerade anläggningar i driftskedet vid tömda slussar framgår av Tabell 10 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 38 meter, sker i direkt anslutning till planerat läge för sluss 4. För sluss 2 och 3 uppgår maximal avsänkning till cirka 16 respektive 30 meter. Vid läge för kanalen uppgår avsänkningen till cirka 5 – 20 meter.

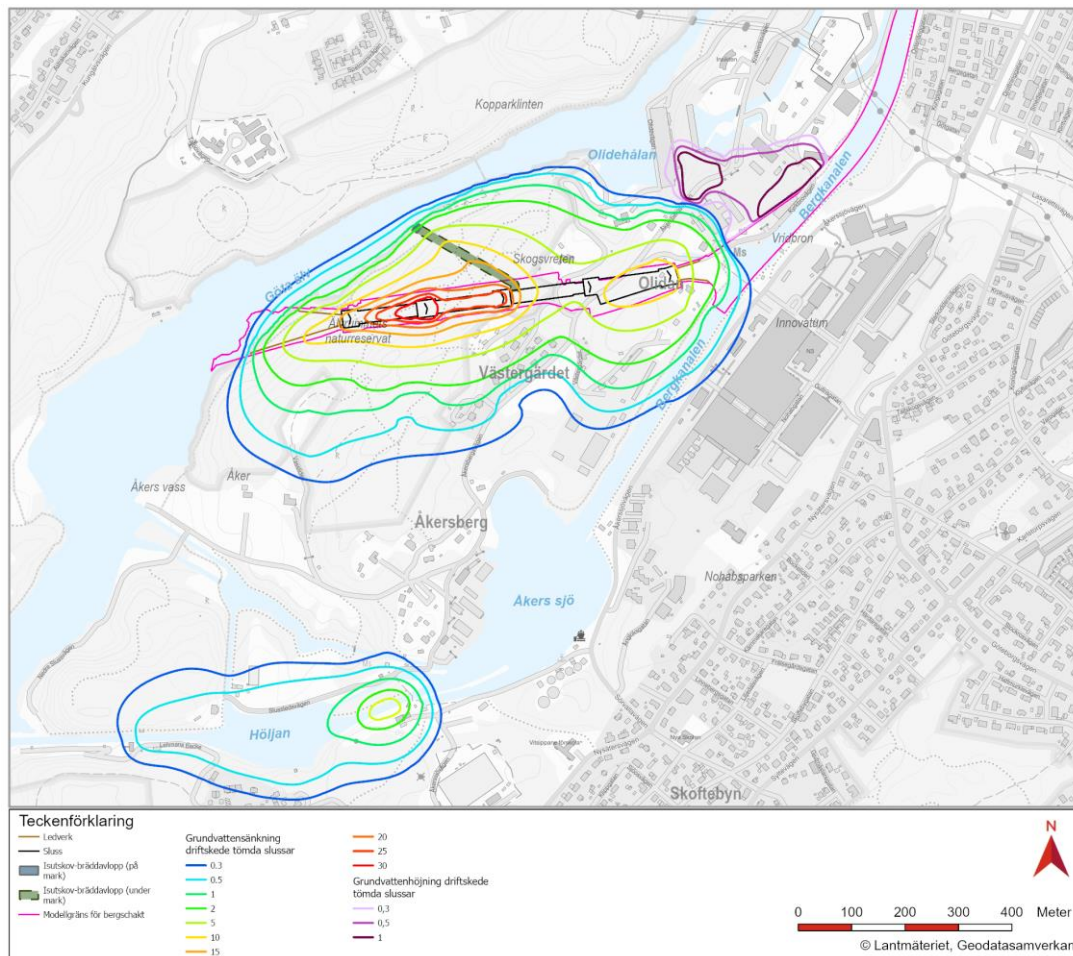
Tunnel för isutskov-bräddavlopp medför en lokal grundvattensänkning på som mest cirka 18 meter. Bergskärningen för utloppet av sluss 4 medför en grundvattensänkning upp till cirka 20 meter. Grundvattensänkningen vid bergskärningen för inloppet till sluss 2 uppgår till cirka 10 meter.

Tabell 10. Ungefärlig omfattning och utbredning på grundvattensänkningen i vid tömda slussar i driftskedet

Ungefärligt maximalt avstånd från schakt för ny slussled [m]	Grundvattensänkning i driftskede med tömda slussar [m]
0 – 15	20 – 38
15	20
80	10
120	5
140	2
170	1
230	0,5
280	0,3

Grundvattenhöjning

Beräknad omfattning på grundvattenhöjning i driftskede med tömda slussar framgår av Figur 33. Maximal höjning, cirka 1,5 meter, sker direkt nedströms från spontdammen. Vid slänten ner mot Olidehålan uppgår höjning av grundvattenytan lokalt upp till ca 1,5 meter.



Figur 33. Utbredning och storlek av grundvattennivåsänkning och -höjning i driftskedet vid tömda slussar.

6.3 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 injektering. 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 grundvattenförhållandena. 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 tillståndprocesser 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 spanten 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).

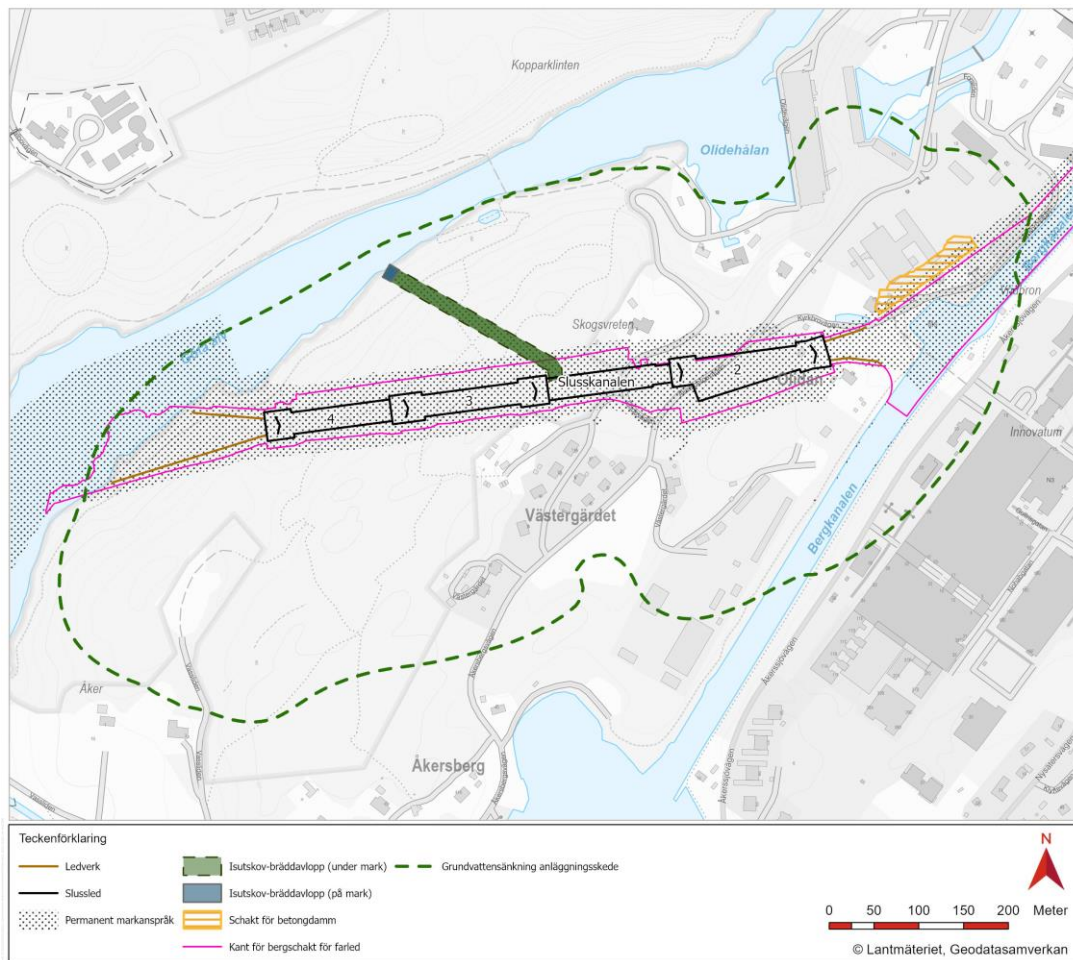
Baserat på utförda inventeringar är det enbart enskilda brunnar samt hus och ledningar på sättning-skänsliga jordarter som utgör objekt som kan påverkas av en sänkning av grundvattennivå till följd av ny sluss och justerad farled. Det kommer att göras åtgärder för att det inte ska uppstå skador på hus 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 negativ 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.

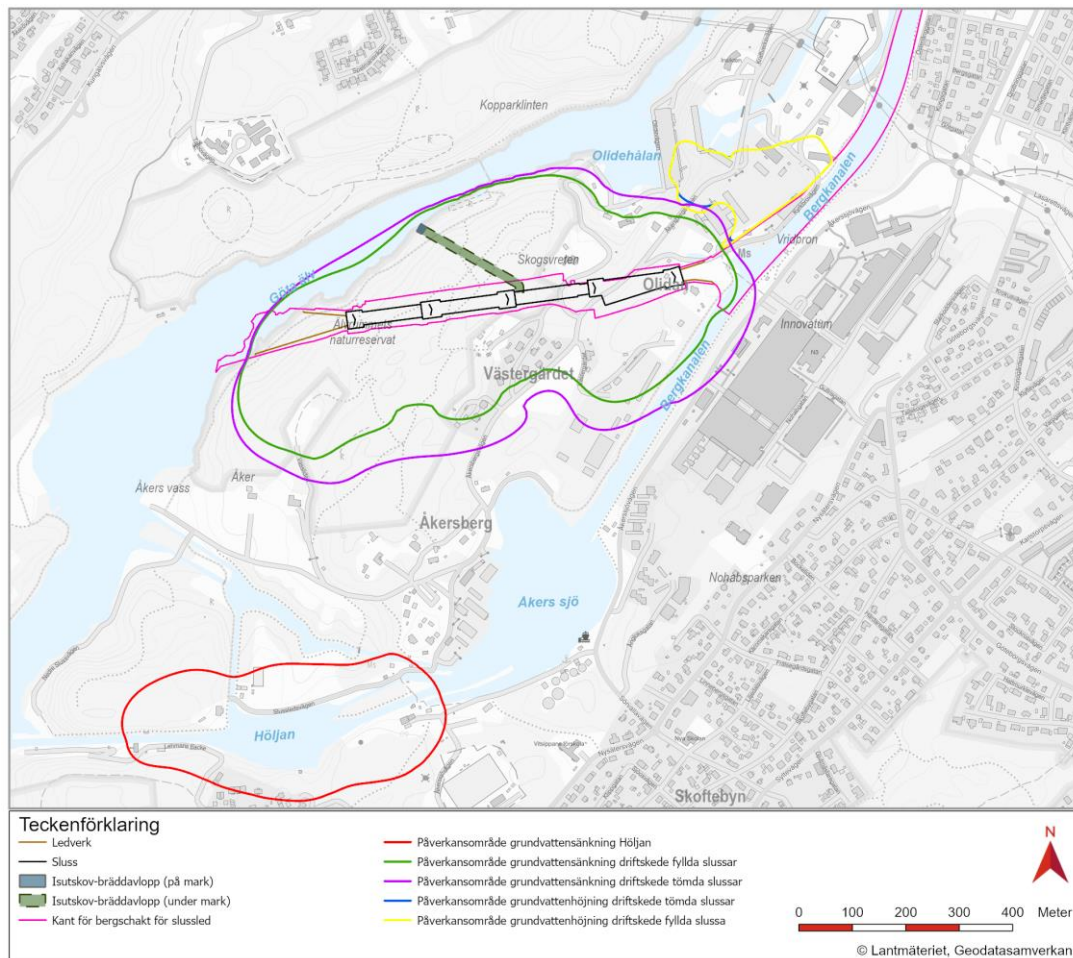
För grävda brunnar med liten tillgänglig vattenpelare kan även en relativt liten grundvattensänkning medföra en stor påverkan. Därför har det lägre värdet på 0,3 meter avsänkning valts för att avgränsa påverkansområdet i jordlagren. De borrhade brunnarna i berg har en stor tillgänglig vattenpelare, där 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 anläggnings- 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 anläggningskede.



Figur 35: Påverkansområden för grundvattensänkning och grundvattenhöjning i driftskedet vid fyllda respektive tömda slussar.

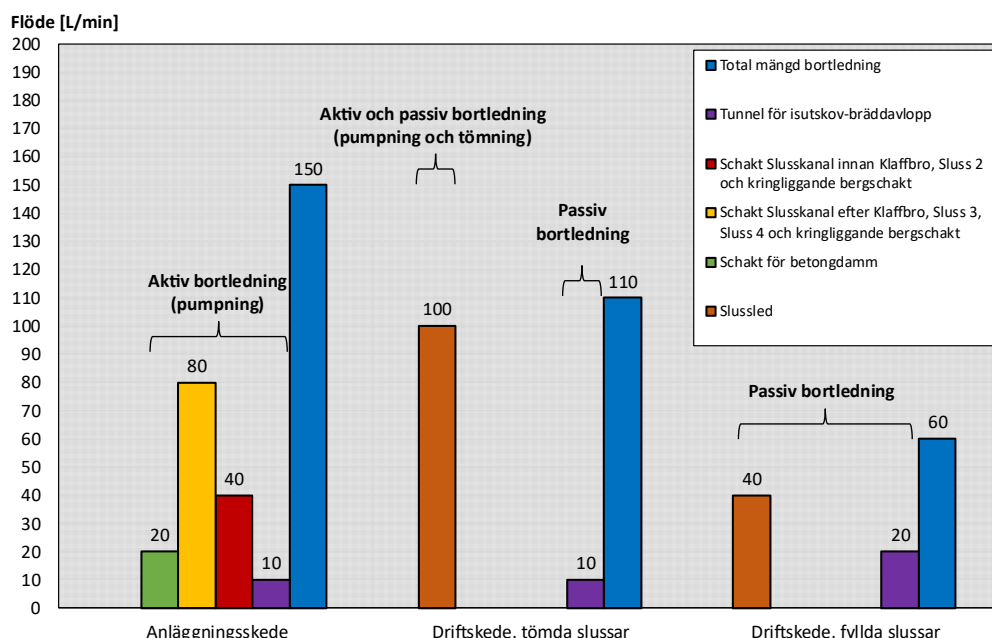
6.4 Grundvattenbortledning

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 med tömda respektive fyllda slussar. 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 det både aktiv och passiv bortledning av grundvatten som avleds genom anläggningens dräneringssystem.

6.4.1 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 11.

Tabell 11. 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	Olidehålan och/eller Bergkanalen	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.

6.4.2 Driftskede

Vid normalfallet med fyllda slussar beräknas mängden grundvattenbortledning totalt 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.

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.

Vid tömda slussar avleds totalt cirka 110 liter per minut (160 kubikmeter per dygn). Grundvatten som rinner in till slussleden leds ner till botten på sluss 4, där det behöver pumpas upp till Göta älv. Av den totala volymen avleds cirka 10 liter per minut från tunneln för isutskov-bräddavlopp. Grundvatten som läcker in till tunneln avleds genom självfall till Göta älv.

Anledningen till att grundvattenbortledningen från tunneln är större i driftskedet än i anläggningsskedet är att grundvattennivån i berget är högre i driftskedet, eftersom grundvattensänkningen 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 avsänkningen av grundvattennivån mellan slusskammaren och tunneln i anläggningsskedet respektive driftskedet illustreras principiellt i Figur 16 och Figur 17.

I Tabell 12 presenteras en sammanställning av den beräknade mängden grundvattenbortledning i driftskedet.

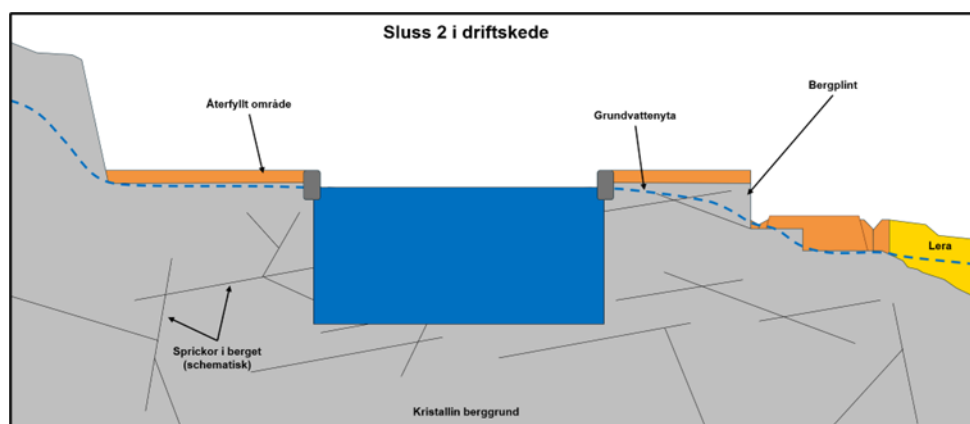
Tabell 12. Beräknade mängder grundvattenbortledning under driftskede för fyllda respektive tömda slussar

Situation	Anläggning	Avleds till	Flöde [liter/minut]
Fyllda slussar	Slussled	Göta älv	40
	Tunnel för isutskov-bräddavlopp	Göta älv	20
Tömda slussar	Slussled	Göta älv	100
	Tunnel för isutskov-bräddavlopp	Göta älv	10

6.5 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.

I närområdet har följande objekt identifierats, vilka kan riskera att påverkas av en eventuell grundvattennivåförändring, se Figur 38.

- 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.

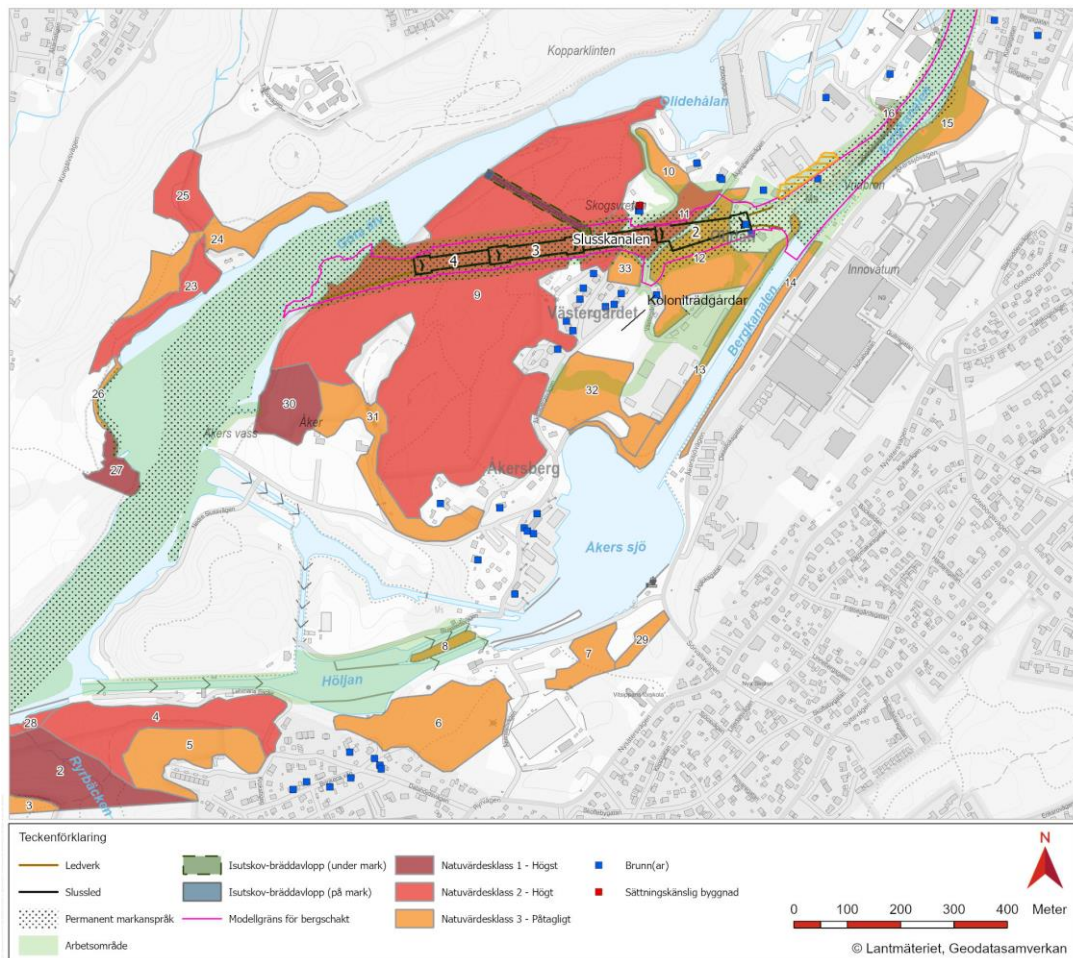
7.2 Sättningskänsliga objekt

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. 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.

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 och har både en utbredning kring de befintliga slussarna och kanalen i Trollhättan, förgrenar sig i en nordlig och en sydlig gren som berör marker mellan de befintliga slussarna och Göta älv samt ytterligare en förgrening mot Lextorp i sydost via en ledningsgata. Vid inventeringen, som utfördes under 2021, 2023 och 2024, 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.

- **Högt naturvärde** – naturvärdesklass 2. Åtta naturvärdesobjekt: barrskogsmiljöer med naturskogskaraktär, blandskog med inslag av ädellöv, en grupp solitära lövträd och ett par ädellövsmiljöer.
- **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 13. För en översikt av naturvärdenas geografiska placering och utbredning se Figur 38. Identifierade naturvärden har antingen naturvärdesklass 2 eller naturvärdesklass 3.

Tabell 13. 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 trädridå utmed kanalen	3
14	Talldominerad trädridå 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 35 enskilda brunnar av påverkansområde för grundvattensänkning. 34 av brunnarna är borrade ner i berggrunden och används som energibrunnar och en brunn är borrad ner i berggrunden och används som dricksvatten- och bevattningsbrunn.

I driftskedet omfattas 17 enskilda brunnar av påverkansområde för grundvattensänkning och 20 av påverkansområde för grundvattenhöjning.

Av Tabell 14 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 14. 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 (+)	
					Anläggning	Drift
Olidan 3:14	Borrade	Energibrunn	220	219	217 / 2	218 / 1
Olidan 3:14	Borrade	Energibrunn	220	219	217 / 2	218.5 / 0,5
Olidan 3:14	Borrade	Energibrunn	220	219	217 / 2	218.5 / 0,5
Olidan 3:14	Borrade	Energibrunn	220	219	217 / 2	218.5 / 0,5
Olidan 3:17	Borrade	Energibrunn	220	212	Ingen sänkning	212.3/ +0,3
Olidan 5:19	Borrade	Energibrunn	130	124	119 / 5	123 / 1

Fastighet	Typ	Användning	Total- djup	Till- gänglig vatten- pelare	Tillgänglig vattenpelare vid grundvattensänkning /grundvattenhöjning (+)	
					Anläggning	Drift
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
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 (+)	
					Anläggning	Drift
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, bevattnings, 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 försämrade magasinshållande förmåga eller förändrad vattenkvalitet under den tidsperiod som grundvattenbortledningen pågår.

Av Tabell 14 framgår att den största sänkningen i anläggningsskedet, cirka 6 – 8 meter, sker för fastigheterna Olidan 8:1 och Olidan 8:2. Övriga brunnar ligger i spannet cirka 0,5 – 5 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.

10 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. Naturvärdesinventering 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.Aoo-ABA.T.001
- [17] WSP. (2025d). Beräknings-PM Sättningar inom påverkansområde grundvatten. Handlingsnr. S.14+TK.N.Aoo-UGB.T.020

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1

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

trafikverket.se