

Slussar i Trollhätte kanal
PM Hydrogeologi

Anläggande av sluss i Lilla Edets kommun,
Västra Götalands län
2024-09-20



Trafikverket

Postadress: Vikingsgatan 4, 411 01 Göteborg

E-post: trafikverket@trafikverket.se

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

Konfidentialitetsnivå: 1

Dokumenttitel: PM Hydrogeologi

Författare: WSP Sverige AB

Dokumentdatum: 2024-09-20

Ärendenummer: TRV 2022/121060

Kontaktperson: Lars Johansson, Trafikverket

Foto: WSP Sverige AB

Innehåll

1 Sammanfattning	5
2 Syfte	6
3 Slussar i Trollhätte kanal	6
4 Befintliga konstruktioner	6
5 Platsspecifika förhållanden	6
5.1 Topografi och områdesbeskrivning.....	6
5.2 Geologiska förhållanden.....	9
5.3 Hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden.....	11
6 Planerade anläggningar	19
6.1 Ny sluss	19
6.2 Justerad sträckning av farled och släntutformning	22
6.3 Dämmande konstruktioner	23
7 Hydrogeologiska undersökningar	25
7.1 Slugtester	25
7.1.1 Tillsats av vatten	25
7.1.2 Uttag av vatten	25
7.1.3 Resultat.....	26
7.2 Provpumpning	27
7.2.1 Pumpbrunn	27
7.2.2 Genomförande	28
7.2.3 Observationspunkter	29
7.2.4 Metod för hydrogeologisk utvärdering.....	31
7.2.5 Observerad grundvattenpåverkan	31
7.2.6 Utvärderade hydrauliska parametrar	37
8 Beräkningar	40
8.1 Hydraulisk konduktivitet i berg.....	40
8.2 Grundvattenmodell.....	43
8.2.1 Mjukvara	43

8.2.2 Simuleringsmetod	43
8.2.3 Konceptualisering.....	43
8.2.4 Modelluppbyggnad	46
8.2.5 Randvillkor	49
8.2.6 Hydrauliska parametrar	51
8.2.7 Beräkningsfall.....	52
8.2.8 Kalibrering	53
8.2.9 Osäkerheter	58
8.3 Hydrauliska gradienter	60
9 Resultat	63
9.1 Grundvattennivåförändringar.....	63
9.1.1 Anläggningsskede	63
9.1.2 Driftskede	65
9.2 Påverkansområde	67
9.3 Grund- och ytvattenbortledning	70
9.3.1 Anläggningsskede	70
9.3.2 Driftskede	71
9.4 Förändrade hydrauliska gradienter	71
10 Motstående intressen	72
10.1 Enskilda brunnar	72
10.2 Naturvärden	74
10.3 Sättningskänsliga objekt.....	74
11 Bedömda konsekvenser	75
11.1 Enskilda brunnar	75
11.1.1 Anläggningsskede	75
11.1.2 Driftskede	77
11.2 Naturvärden	77
11.3 Sättningskänsliga objekt.....	77
12 Klimatanpassning	78
13 Referenser	81

1 Sammanfattning

Trafikverket avser söka tillstånd enligt miljöbalken för anläggande av ny sluss och tillhörande anläggningar i Lilla Edet.

Föreliggande rapport redovisar utförda hydrogeologiska fältundersökningar, beräkningar och bedömningar med syfte att beskriva hur de planerade anläggningarna kan påverka grundvattenförhållandena under anläggnings- och drifttiden. Rapporten redovisar även beräknad storleksordning på grundvatteninläckage till schakten som kan behöva pumpas bort från schakten under anläggningstiden, samt beräknad storleksordning på den passiva grundvattenbortledning (läckage av grundvatten ut till älven) som bedöms ske under driftskedet.

Rapporten redovisar påverkansområden för grundvatten, som utgörs av det område där grundvattentrycknivån i moränlagret och berget sänks mer än 0,3 m i förhållande till den nuvarande grundvattentrycknivån. Beräkningarna har utförts med hjälp av en upprättad numerisk grundvattenmodell.

För att beräkna påverkan på grundvattenförhållanden har tre scenarier studerats:

Scenario 1: Dagens situation. Nuvarande förhållanden utan ny sluss och övriga planerade anläggningar.

Scenario 2: Förhållanden under anläggningsskedet med schakt för anläggande av ny slusskammare och slusshuvuden med spont, samt anläggande av justerad sträckning av farled och släntutformning.

Scenario 3: Förhållanden under driftskedet med färdigbyggda anläggningar för studie av effekterna av justerad sträckning av farled och släntutformning.

Utförda modellsimuleringar visar att den beräknade maximala avsänkningen av grundvattentrycknivåer sker i direkt anslutning till planerat läge för ny sluss och att grundvattensänkning omfattar delar av bostadsområdena väster om ny sluss. Beräkningar för driftskedet visar att grundvattentrycknivåerna sjunker något i området direkt väster om ny sluss och justerad sträckning av farleden söder om ny sluss. Uppströms den dämmande konstruktionen sker en höjning av grundvattentrycknivån inom ett mindre område.

De potentiella motstående intressen som identifierats är enskilda brunnar, naturvärden på land samt byggnader och anläggningar på sättningskänslig mark. Påverkan i form av grundvattensänkning bedöms huvudsakligen ske för enskilda brunnar, men viss påverkan sker även för sättningskänsliga ledningar och byggnader. Påverkan bedöms däremot inte leda till någon skada.

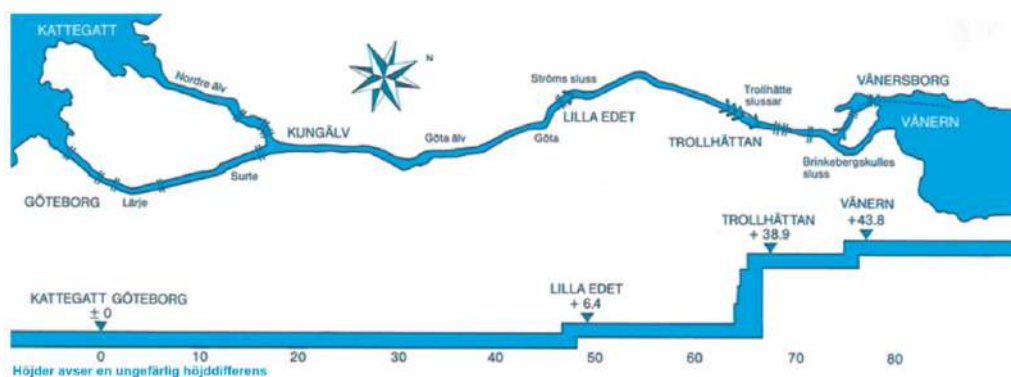
2 Syfte

Föreliggande rapport syftar till att redovisa de lokala hydrogeologiska förutsättningarna i slussområdet i Lilla Edet, samt att beskriva grundvattenpåverkan och eventuell påverkan på motstående intressen som anläggandet och driften av planerad ny sluss och justerad sträckning av farled bedöms medföra.

3 Slussar i Trollhätte kanal

Projekt Slussar i Trollhätte kanal syftar till att bibehålla och skapa förutsättningar för en fortsatt utveckling av sjöfarten i Vänerstråket. Projektet omfattar byggnation av nya slussar i Lilla Edet, Trollhättan och Vänersborg.

Trollhätte kanal är den allmänna farleden mellan Vänersborg och Göteborg vilken är cirka 82 km lång, varav cirka 10 km grävd och sprängd kanal. Resterande del utgörs av en naturlig fåra i Göta älv. Idag finns sex slussar i stråket, en i Brinkebergskulle, fyra i Trollhättan och en i Lilla Edet, se figur 1.



Figur 1. Schematisk översikt på befintliga slussar i Trollhätte kanal.

De befintliga slussarna i Trollhätte kanal som idag är i drift, är drygt 100 år gamla och närmar sig slutet av sin tekniska livslängd. Nya slussar är en förutsättning för att kunna säkerställa framtida sjötrafik.

4 Befintliga konstruktioner

Befintlig sluss är ca 125 m lång. Slusskonstruktionens bredd varierar mellan 20 och 23 m för slusskammaren och uppgår till 28 m för slusshuvudena. Slussen är grundlagd på berg eller bottenmorän och består av en murad konstruktion. Vid norra slussporten finns en damm där förstärkningsåtgärder i form av spontning utförts. Kajen söder om slussen utgörs även den av en spontkonstruktion. Utöver spontning har även injektering utförts.

5 Platsspecifika förhållanden

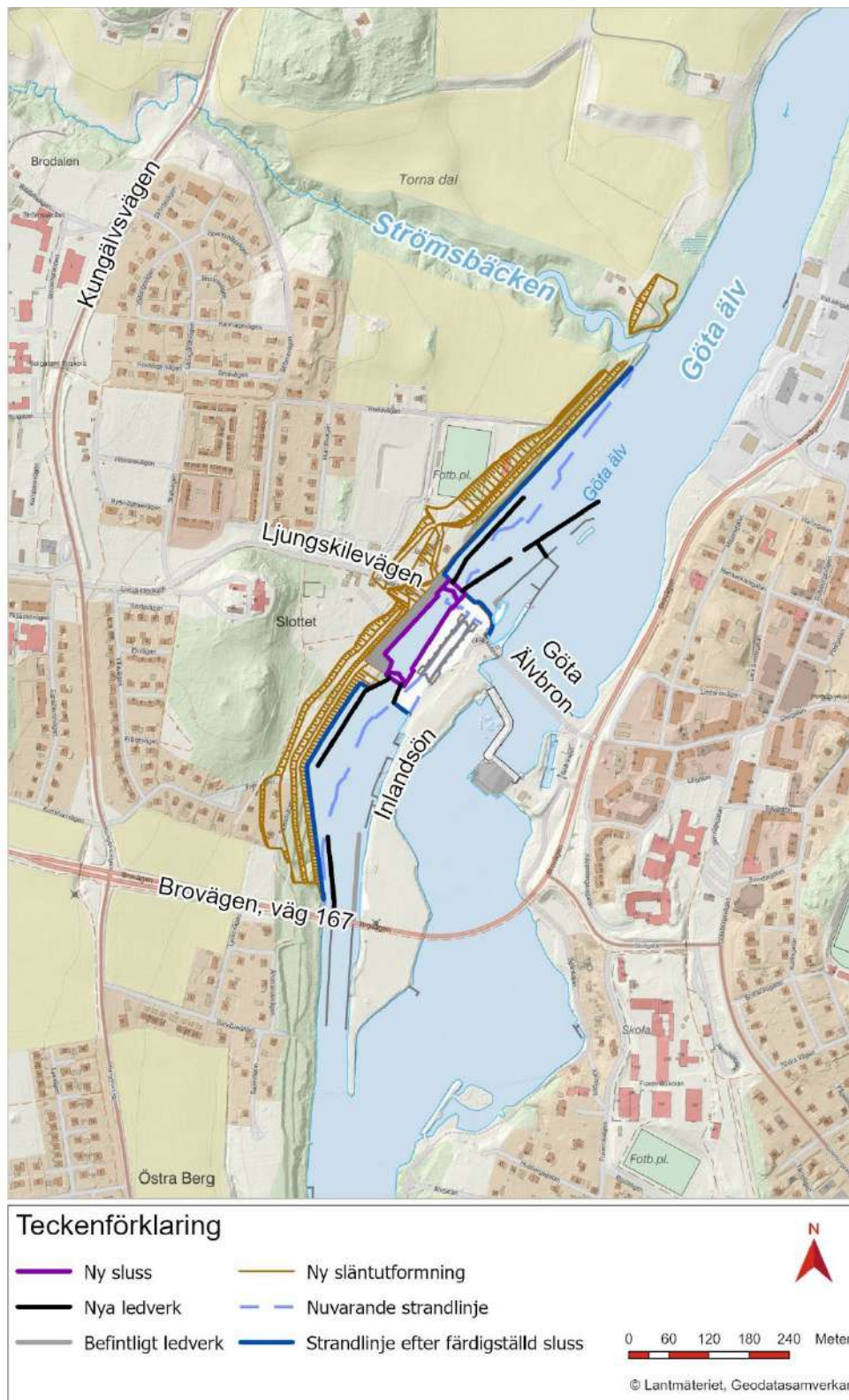
5.1 Topografi och områdesbeskrivning

Väster om Göta älv karakteriseras området i Lilla Edet av slänter, bostäder, åkermark och ett rekreationsområde i form av park och fotbollsplan, se figur 2.

Parken är tämligen skogbeklädd och omsluter Ströms slott, vilken är belägen på en bergshöjd (ca +35) av en topografisk höjdrygg där berget går i dagen. Området sluttar generellt svagt ner mot älven.

Längs med Göta älv sluttar marken ner mot älven. Söder om befintligt slussläge är marken terrasserad med avschaktningsplan på nivå +14, +8 och +3. Liknande terrassering förekommer norr om slussläget med avschaktningsplan på nivå +14 och +8. Slänterna uppströms slussen är mer långsträckta än nedströms, där slänterna tenderar att vara brantare.

I aktuellt läge för den nya slussen varierar markytan mellan ca +4 och +13.



Figur 2. Översikt av Lilla Edet väster om slussläget samt läge för och utformning av planerad ny sluss och justerad farledssträckning.

5.2 Geologiska förhållanden

Den geologiska tolkningen baseras på utförda sonderingar och SGU:s jordartskarta. Sonderingar har främst utförts i slussens närområde samt uppströms respektive nedströms. Längre västerut baseras den geologiska tolkningen på SGU:s jordartskarta. SGU:s geologiska tolkning redovisas i plan i figur 3. I figur 4 presenteras en konceptuell geologisk tvärsektion längs profillinje A-B som baseras på bedömningar utifrån utförda undersökningar.

Väster om Göta Älv utgörs de ytliga jordarterna till stor del av lera, både postglacial och glacial. Leran har vid utförda sonderingar tolkats som homogen, dvs inte skiktad. Inom stora delar av området består leran överst av torrskorplera. Leran underlagras av friktionsjord, vilken tolkats som morän. I området kring Brovägen samt vid norra slusshuvudet för ny och befintlig sluss har kvicklera påträffats mellan leran och moränen.

Ställvis förekommer bergknallar i två parallella stråk i N-S riktning väster om slussläget. Runt bergknallarna går moränen i dagen. Uppströms befintlig sluss förekommer avlagringar av silt närmast älvstranden.

Utförda undersökningar inom och i närheten av läget för ny sluss visar att moränen generellt är sandig med mer eller mindre inslag av grus och silt samt tenderar att variera i fasthet och mängden block. Det förekommer en mer grusig och stenig morän med större block i läget för norra slusshuvudet och upp till ca 50 m åt norr, en lösare morän i centrala läget för ny sluss samt en fastare morän vid södra slusshuvudet, västerut (ca 30 m) och vidare söderut, där blocken är fler men mindre i storlek. Blocken i norr förekommer huvudsakligen under planerad grundläggningsnivå.

I större delen av området för planerad ny slusskonstruktion utgörs översta markskiktet (ca 1 – 3 m) av fyllnadsjord. I ett några meter brett område närmast och längs större delen av den befintliga slussen utgörs allt material ovan berg av fyllnadsjord.

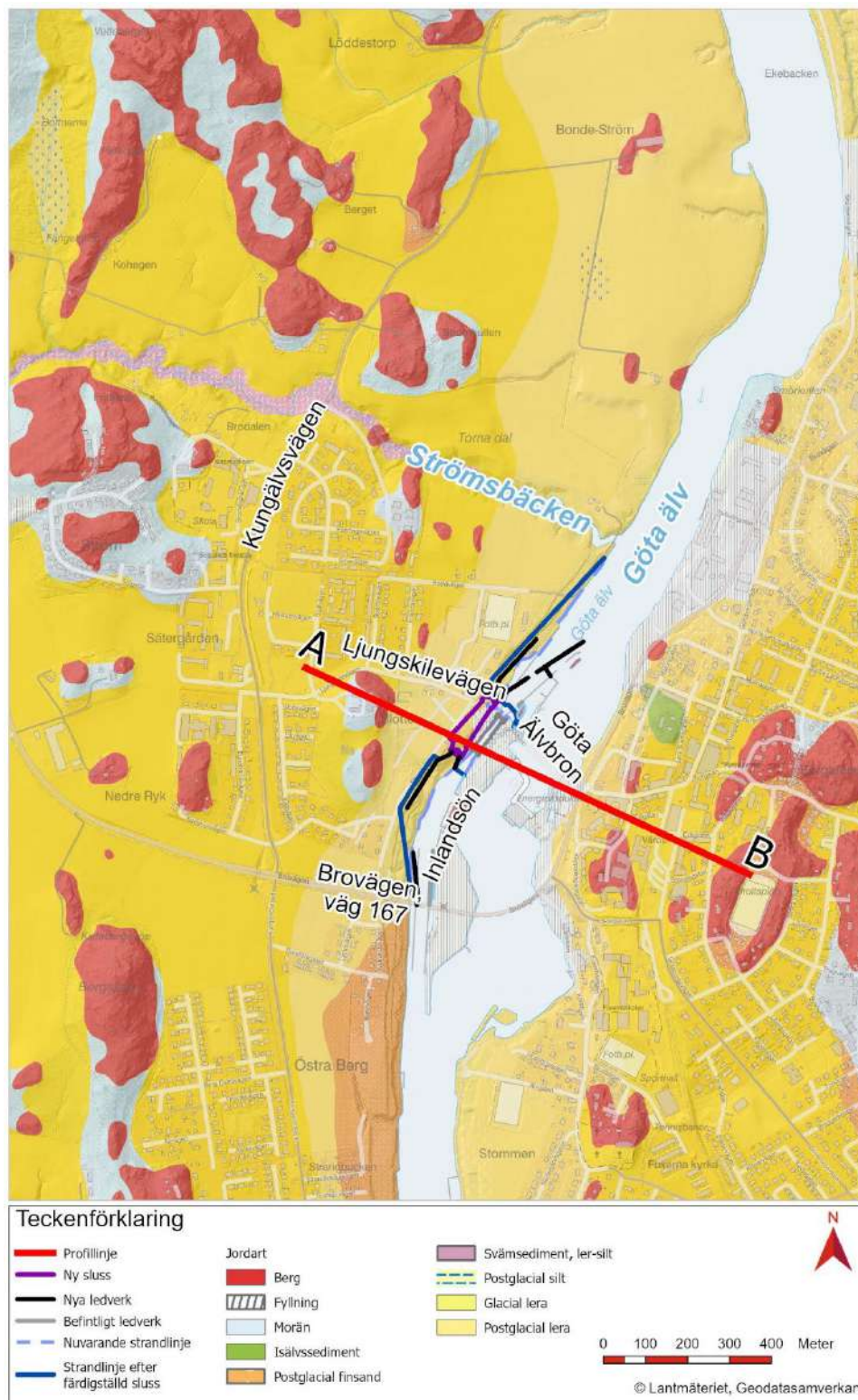
Enligt SGU:s jorddjupsmodell, varierar jorddjupet generellt mellan ca 5 och 20 m i de områden där översta jordlagret utgörs av lera. De grundare jorddjupen återfinns vid områdena där det finns morän eller berg i dagen. De mäktigaste ler- och moränlagren återfinns generellt där jorddjupet är som mäktigast.

Utförda geotekniska undersökningar visar på ett större jorddjup väster om slussläget, vid kanten av slottsparken. Lerans mäktighet uppgår här till 15 meter och moränens mäktighet till ca 13 meter. Norr om fotbollsplanen visar sonderingar på att jorddjupet ställvis uppgår till ca 24 m.

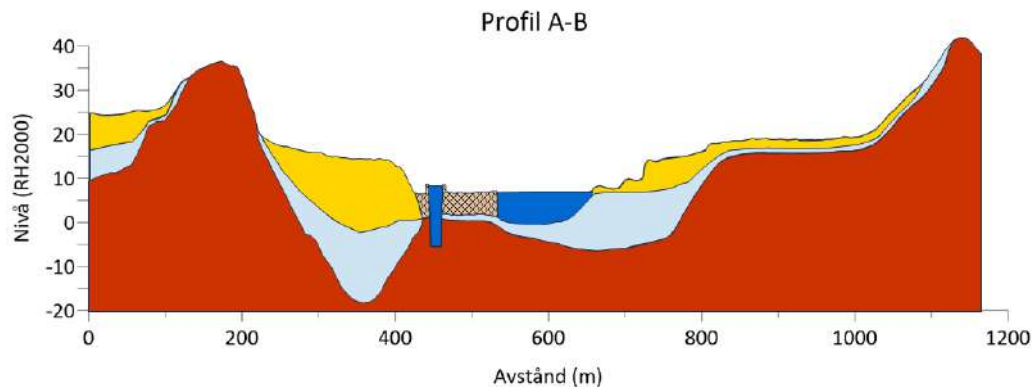
Enligt utförda undersökningar består berggrunden av en grå medelkornig, tonalitisk och granodioritisk gnejs, vilket är typiskt för Göta älvdalens berggrund. Bergnivån är lokalt som högst i läget för befintlig sluss, bergytan vid ny sluss faller mot väst, nord och syd.

Berggrunden bedöms vara huvudsakligen stor- till medelblockigt uppsprucken. Enligt utförda undersökningar har tre dominerande sprickriktningar identifierats; två bedöms vara brantstående sprickor med strykning OSO-VNV med medelvärde 98/79° respektive 273/68°. Den tredje dominerande sprickriktningen är foliationsparallella sprickor som stryker N-S, medelvärde 180/38°. Vid

byggnationen av den befintliga slussen har sprickor påträffats och då beskrivits som sandfyllda slag. Undersökningar indikerar att sprickorna är fyllda med sand och silt-fraktioner och är vattenförande till kraftigt vattenförande.



Figur 3. SGU:s jordartskarta 1:25 000 - 100 000. Profillinje A-B illustrerar sträckning för konceptuell geologisk tvärsektion, se Figur 4.



Figur 4. Översiktligt tolkad jordlager- och bergprofil, ej skalenlig, längs profilinje A-B enligt Figur 3. Gul färg = lera, ljusblå färg = morän, röd färg = berg, mörkblå färg = vatten, rutnät = fyllnadsjord.

5.3 Hydrologiska och hydrogeologiska förhållanden

Göta älv är Sveriges största vattendrag, omfattande ett avrinningsområde på ca 50 000 km² och med en medelvattenföring på ca 557 m³/s enligt SMHI:s vattenwebb (statistisk 1991–2020). Älven rinner genom en dalgång som sträcker sig från Vänern vid Vänersborg genom Trollhättan, Lilla Edet, Kungälv och Göteborg för att därefter mynna ut i Kattegatt. Nivån i Vänern och Göta älv är reglerad. Nivån i Göta älv vid befintlig sluss i Lilla Edet ligger kring ca +7,1 uppströms slussläget, respektive kring ca +0,8 nedströms slussläget baserat på uppmätta medelvattennivåer i Göta älv.

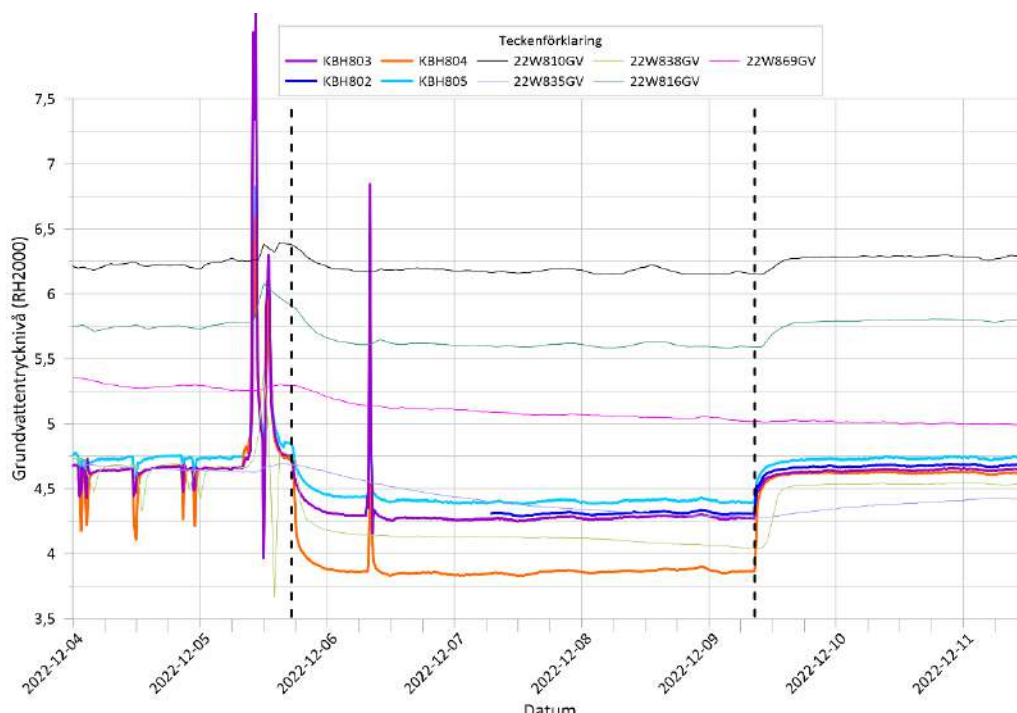
Ett mindre vattendrag, Strömsbäcken, mynnar ut i Göta älv ca 500 m norr om befintlig sluss.

Vid Lilla Edet är enligt SMHI:s vattenwebb en gräns för delavrinningsområde för ytvatten i öst-västlig riktning belägen i höjd med befintligt slussläge, vilket innebär att slussområdet är beläget inom två delavrinningsområden. Norr om ytvattendelaren finns delavrinningsområdet "Vid mätstation Lilla Edets kr" ID: 645220–128332 och delavrinningsområdet söder om ytvattendelaren kallas "Ovan 640285–126702 i Göta älvs vattendragsyta" ID: 644952–128308.

Vid planerad sluss väster om Göta älv förekommer rörligt grundvatten i ett undre grundvattenmagasin i morän samt i det kristallina bergets sprickor. Grundvattenmagasinet har inte kontakt med atmosfären på grund av det tätare lerlagret, utan utgör ett slutet grundvattenmagasin. I ett slutet grundvattenmagasin saknar magasinet en fri grundvattenyta, utan är i stället en tryckyta. I de områden där moränen inte överlagras av ett tätande lager, såsom områden där moränen eller berget går i dagen, råder i stället en fri grundvattenyta där atmosfärstrycket och vattentrycket är lika stora. Här är grundvattenmagasinet ett öppet grundvattenmagasin.

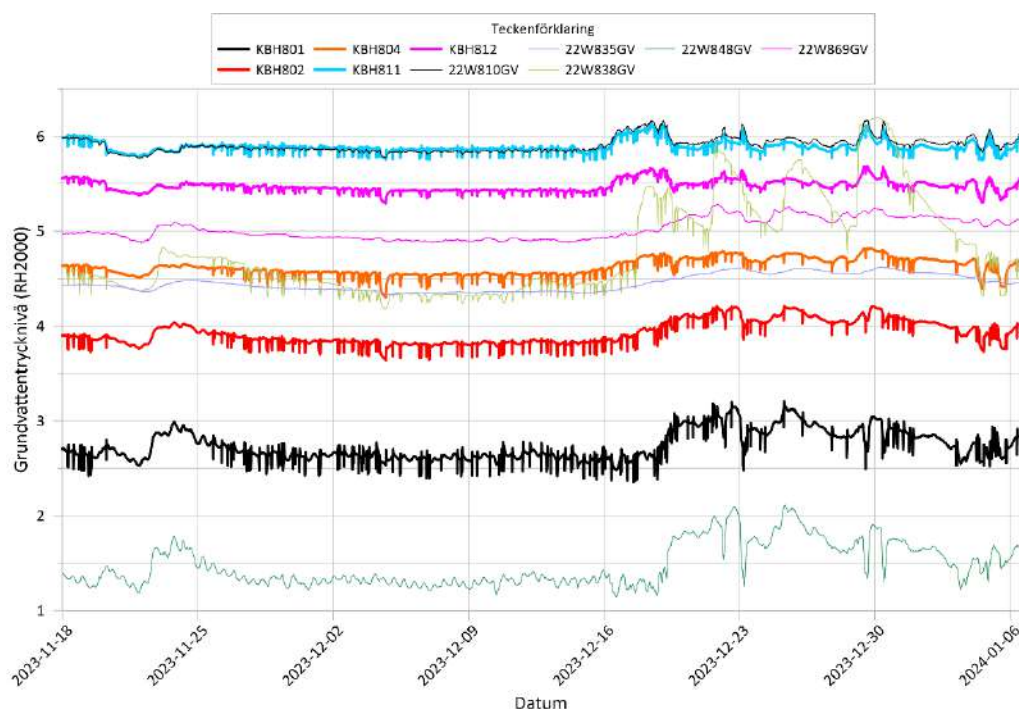
I ett mindre område närmast slussen bedöms det kunna förekomma ett lokalt övre grundvattenmagasin i fyllnadsjorden.

Enligt utförda undersökningar bedöms grundvattentrycknivåerna i morän och berg vid läge för ny sluss huvudsakligen styras av ytvattennivåerna i Göta älv och påverkas tydligt av förändringar i vattennivå inne i befintlig sluss, se Figur 5.



Figur 5. Utsnitt av uppmätta grundvattentrycknivåer i morän (grundvattenrör) och berg (kärnborrhål) som illustrerar den tydliga påverkan som älven har på grundvattenmagasinet i morän och berg. Svarta streckade linjer visar en period då vattennivån i befintlig sluss sänktes till älvens nivå nedströms slussen under ett antal dagar innan den fylldes upp igen, vilket ger en påverkan som är momentan i de närmst belägna mätpunkterna. Nivåtopparna i några av kärnborrhålen innan och under sänkningen är orsakade av pågående kärnbörningar och hydrauliska tester.

Samtliga grundvattenrör i Lilla Edet är installerade med filterspets i moränen under leran, vilket innebär att de är installerade i det slutna, undre, grundvattenmagasinet. I Figur 6 redovisas uppmätta grundvattentrycknivåer i undre grundvattenmagasin i morän och i berg. Nivåvariationerna och hur de samvarierar visar på den goda hydrauliska kontakten mellan morän och berg. Hur mycket nivåerna varierar i respektive mätpunkt ger indikationer på i hur stor omfattning de reagerar på nivåförändringar i magasinet, såsom större mängder nederbörd.



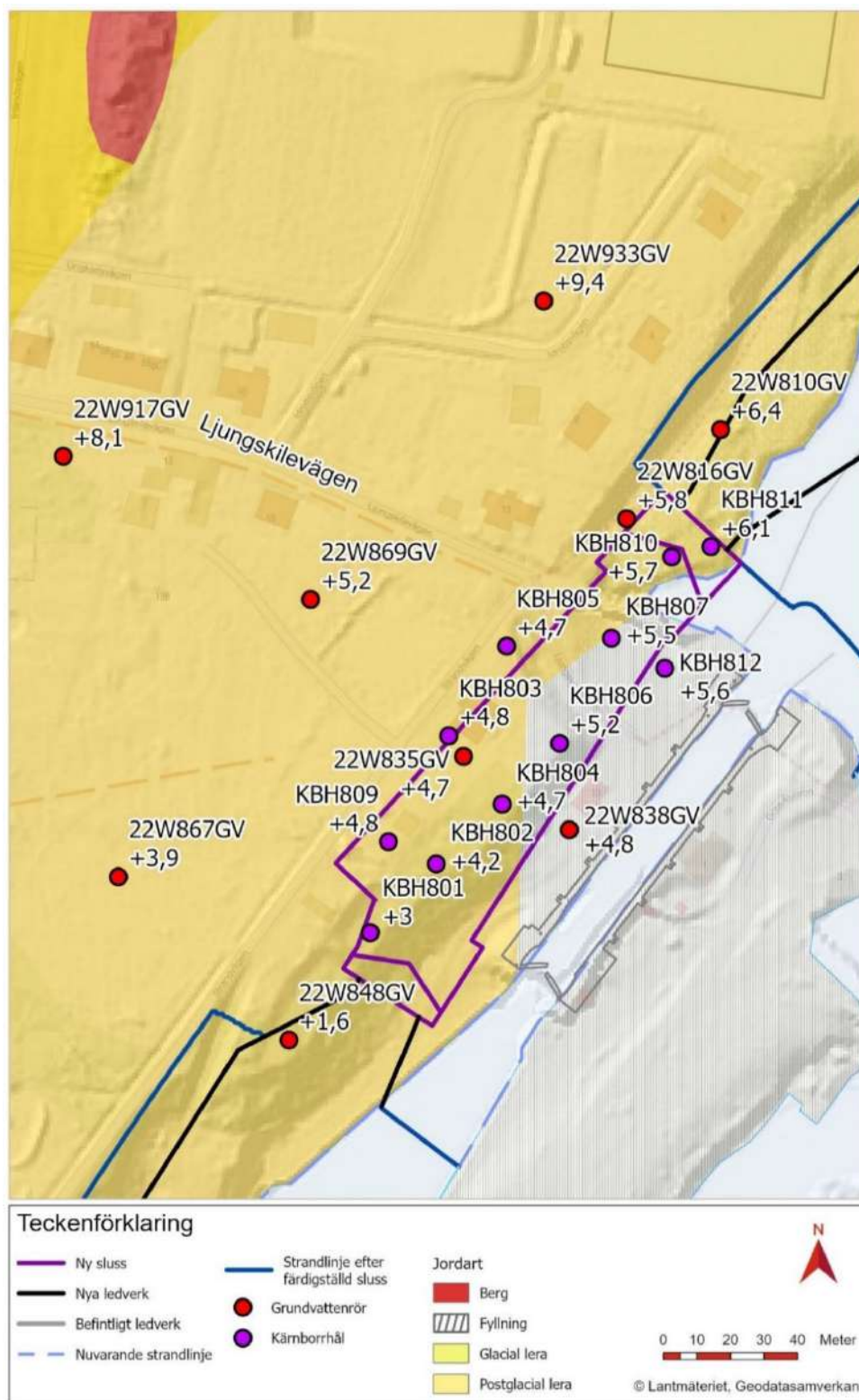
Figur 6. Uppmätta grundvattentrycknivåer i jord och berg vid läge för ny sluss samt vattennivåer i Göta älv uppströms och nedströms.

Lägen och uppmätta medelnivåer av hittills utförda mätningar för grundvattenrör i jord samt mätpunkter i berg (kärnborrhål) där nivåmätningar utförs inom och i närheten av planerat nytt slussläge redovisas i Figur 7.

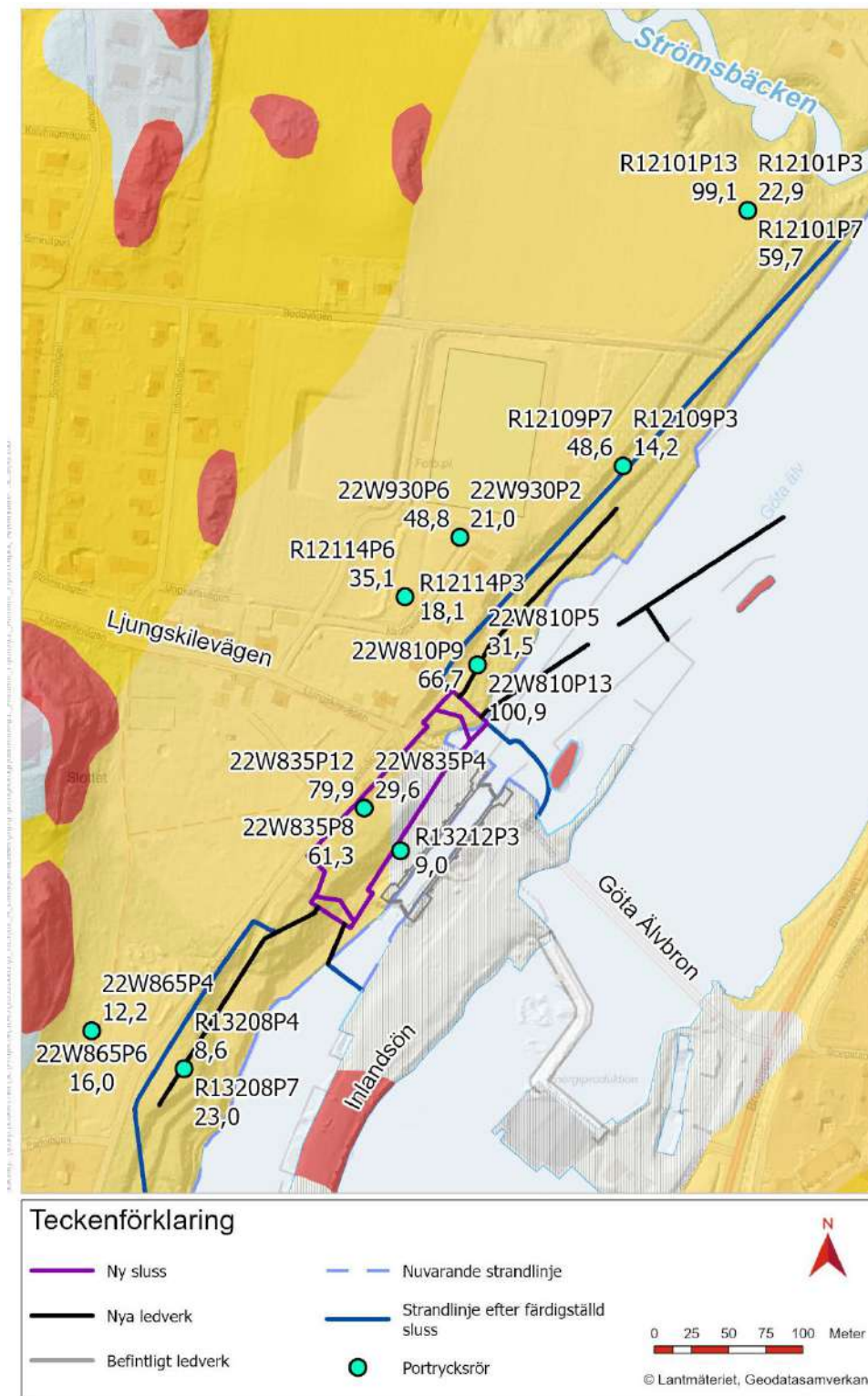
Lägen och medelvärden av hittills utförda mätningar i porttrycksrör som har en mätserie på tre månader eller mer redovisas i Figur 8 och Figur 9.

Mätning av grundvattentrycknivåer i moränen utförs även på större avstånd från planerad sluss och utförs i grundvattenrör samt i enskilda brunnar. Lägen för grundvattenrör och enskilda brunnar redovisas i Figur 10.

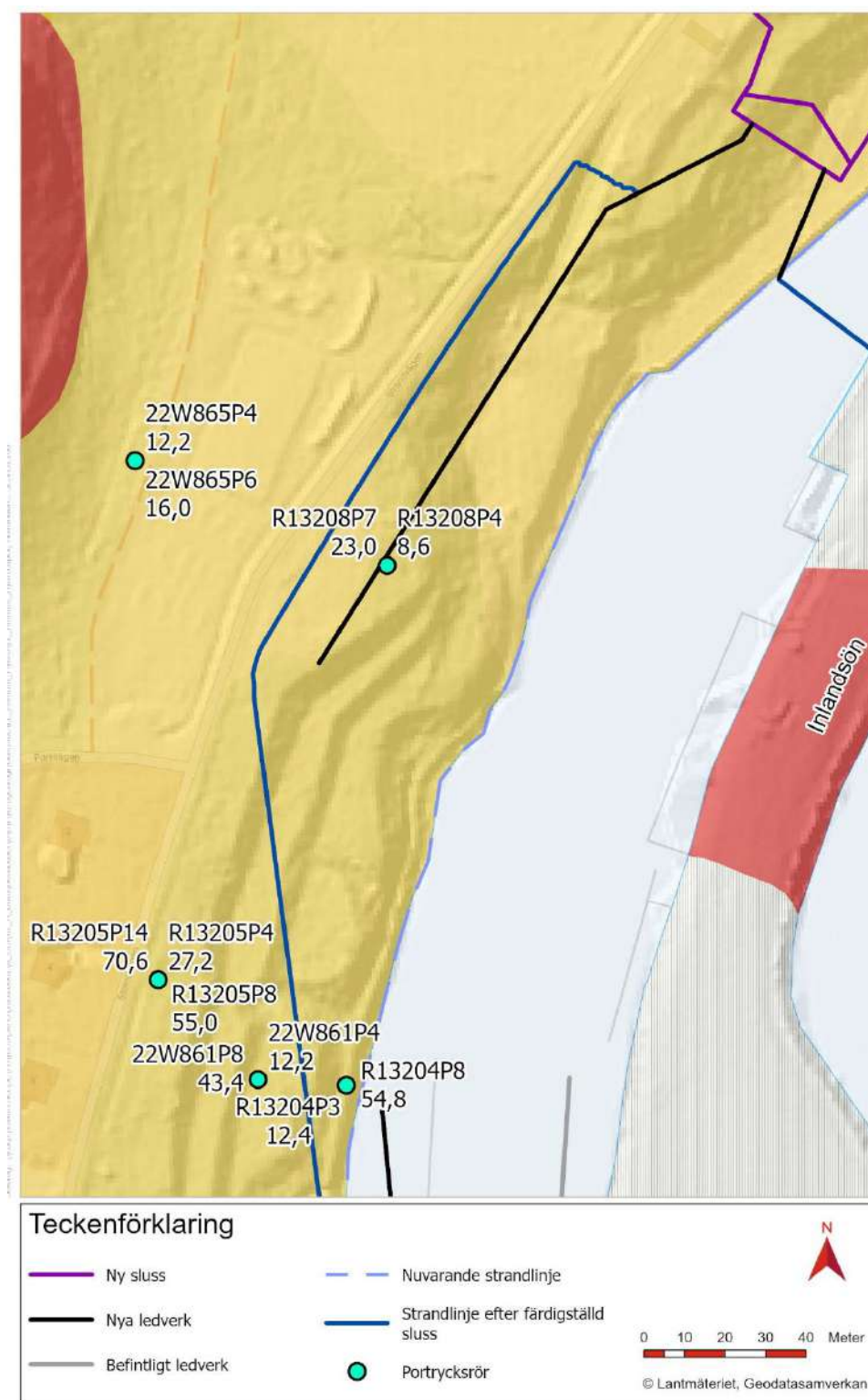
Mätning av grundvattentrycknivå har utförts mellan oktober 2022 och september 2024. Uppmätta grundvattentrycknivåer presenteras i Bilaga 1.



Figur 7. Lägen för grundvattenrör i jord samt kärnborrhål där nivåmätningar utförs inom och i närheten av planerat nytt slussläge. Medelnivåer redovisas vid varje observationspunkt som nivåer i RH2000. Medelvärden är beräknade för perioden september 2022 till april 2024.



Figur 8. Lägen för porttrycksrör med mätserier längre än tre månader. Medelvärden för porttrycksmätningarna redovisas för varje observationspunkt i kilopascal (kPa). Flertalet observationspunkter finns i samma läge med porttrycksspets på olika djup och har namngivits så att siffran efter "P" anger antalet meter under markytan som respektive porttrycksspets är installerad på.



Figur 9. Lägen för porttrycksrör i södra delen av slussområdet med mätserier längre än tre månader. Medelvärden för porttrycksmätningarna redovisas för varje observationspunkt i kilopascal (kPa). Flertalet observationspunkter finns i samma läge med porttrycksspets på olika djup och har namngivits så att siffran efter "P" anger antalet meter under markytan som respektive porttrycksspets är installerad på.

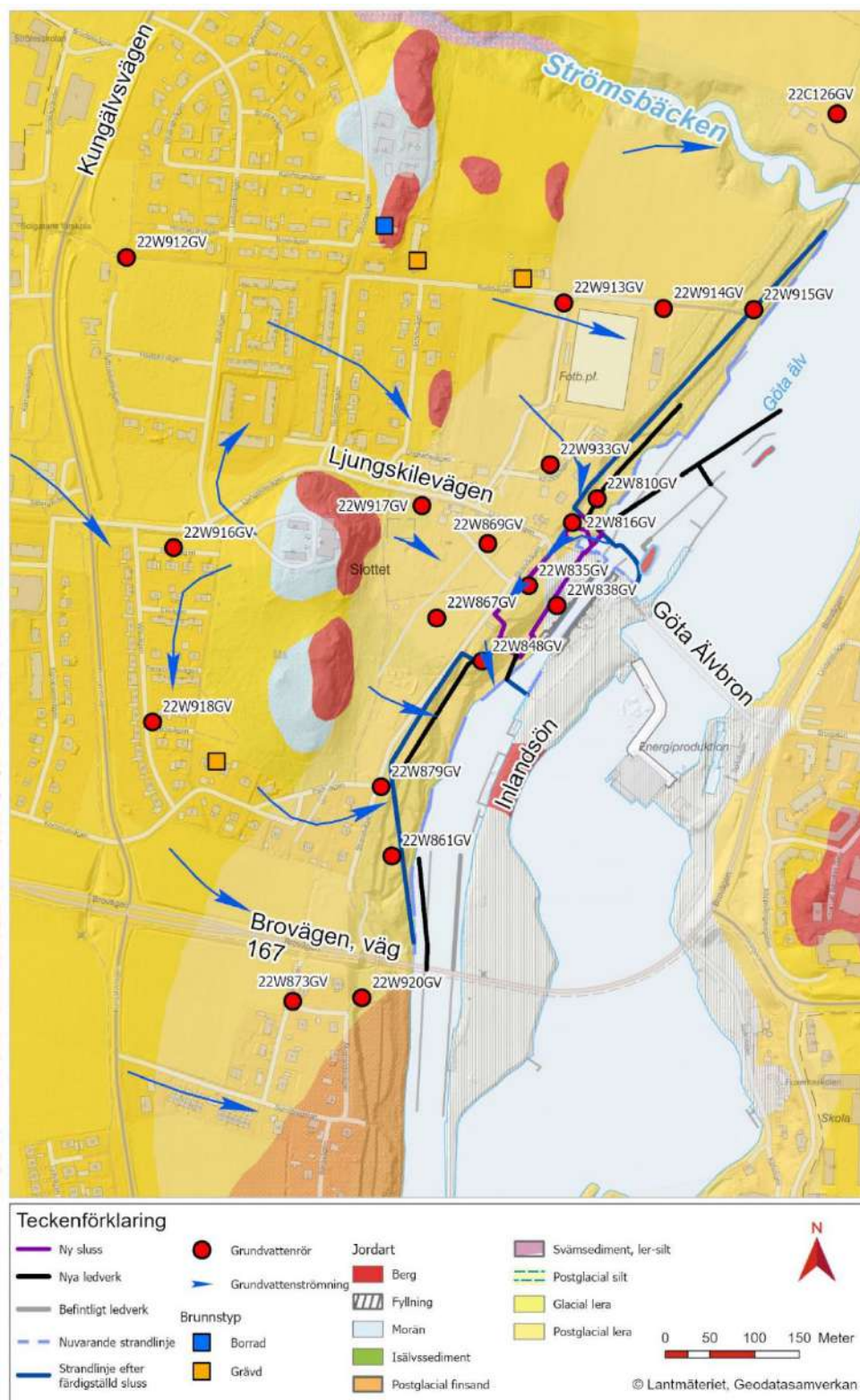
Utförda grundvattennivåmätningar visar på att den storskaliga grundvattenströmningen generellt är riktad mot Göta älv, dvs från väst mot öst, se Figur 10. De två bergplintarna vid Ströms slott och strax söder om slottet utgör lokala grundvattendelare för det storskaliga strömningsmönstret.

Grundvattengradienten i direkt anslutning till Göta älv följer nivåerna i älven, dvs högre grundvattentrycknivåer påträffas uppströms än nedströms befintlig sluss. Göta älv påverkar således grundvattnets strömningsbild lokalt i området. Strax norr om den befintliga slussens fångdamm bedöms strömningsriktningen gå västerut från Göta älv till undre magasin i morän och möjligen till övre magasin i fyllningsmaterialet intill slussen. Grundvattenströmningen bedöms följa älvens flödesriktning längs slusskonstruktionen, för att nedströms slussen strömma ut i Göta älv igen.

Vid en grundvattensänkning kommer förändringen av grundvattentrycknivån enbart ske väster om Göta älv. Detta beror på att Göta älv utgör en omfattande hydraulisk gräns med en relativ konstant vattentrycknivå som hindrar vidare utbredning av grundvattentrycksänkning österut.

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

Infiltrationskapaciteten i förekommande ytliga jordarter är normalt sådan att all nederbörd kan förutsättas infiltrera. Vid kraftiga skyfall alternativt under perioder med långvarig nederbörd kan det lokalt förekomma ytavrinning i områden med låg infiltrationskapacitet och/eller branta terrängförhållanden. Normalt ansamlas sådan ytavrinning i lokala lågpunkter eller i randzonen mellan jord och berg, varefter den infiltrerar i marken. En viss andel kan dock avrinna till närmsta 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.



Figur 10. Lägen för grundvattenrör i jord och privata brunnar där nivåmätningar utförs. Blå pilar illustrerar bedömd strömningsriktning för grundvatten i undre magasin (morän). Göta älvs strömningsriktning går från nordnordost till söder i figuren.

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, 2024).

	Vid mätstation Lilla Edets krv 1991 – 2020	Ovan 640285–126702 i Göta älvs vattendragsyta 1991 – 2020
	mm/år	mm/år
Nederbörd (P)	990	1000
Evapotranspiration (ET)	560	550
Avrinning (P_n)	430	450

Utifrån ovanstående data erhålls en generell nettonederbörd (P_n) om ca 440 mm/år för det aktuella området, vald som medelvärde mellan delavrinningsområdena.

6 Planerade anläggningar

För detaljerad beskrivning av de planerade anläggningarna hänvisas till *Teknisk beskrivning Vattenverksamhet*. I denna handling beskrivs endast de delarna som bedöms vara av betydelse för påverkan på grundvattenförhållandena.

Vid byggande av den nya slussen och justerad sträckning av farleden kommer arbetena medföra att grundvatten bortleds. Detta medför att det uppstår en sänkning av grundvattentrycknivån i moränlagret och berget under anläggningsskedet medan det i driftskedet sker både en sänkning och en höjning av grundvattentrycknivån.

6.1 Ny sluss

För arbeten kopplade till anläggande av ny sluss kommer flertalet temporära konstruktioner att erfordras. Grundläggningen av ny sluss kommer att ske på ett djup på ca 20 – 25 m under befintlig marknivå. En översiktlig placering av den nya slussen framgår av figur 2 och figur 11.

På grund av de stora djupen och att ny sluss uppförs i direkt närhet till befintlig sluss kommer temporära spontkonstruktioner att behöva installeras runt slusskammare och slusshuvuden. För de båda slusshuvudena byggs spontlådor som fångdammar i form av avskärmade lådor. En separat spontlåda kommer även att omfatta slusskammaren. Sponten kommer installeras till under schaktbotten för ny sluss. I figur 11 redovisas planerade lägen för de nya konstruktionerna.

Vid anläggande av den nya slussen kommer arbeten i schakten innanför sponten utföras i relativ torrhet. I takt med att schaktarbetet utförs till större djup kommer grundvattentrycknivån att sänkas av till större djup inom schakten. Sponten i schakten förväntas då kunna fungera tätande mot jordlager och sprickor i berget och minska inläckaget av grundvatten och ytvatten till schakten.

Injektering kommer att utföras för att täta sprickor i berget och kontakten mellan berg och spont. Vid behov injekteras även moränen utanför sponten.

Injekteringsarbetet och arbetet med andra installationer sker integrerat och har som målsättning att reducera genomsläppligheten.

Injektering i berg innebär att man minskar genomsläppligheten för sprickor i berget genom att via en rad med borrhål pumpa ut ett tätande material. Tätningmaterialet förväntas huvudsakligen utgöras av cement. Alternativa injekteringsmaterial såsom exempelvis Silica sol och polyuretan kan möjligen bli aktuella.

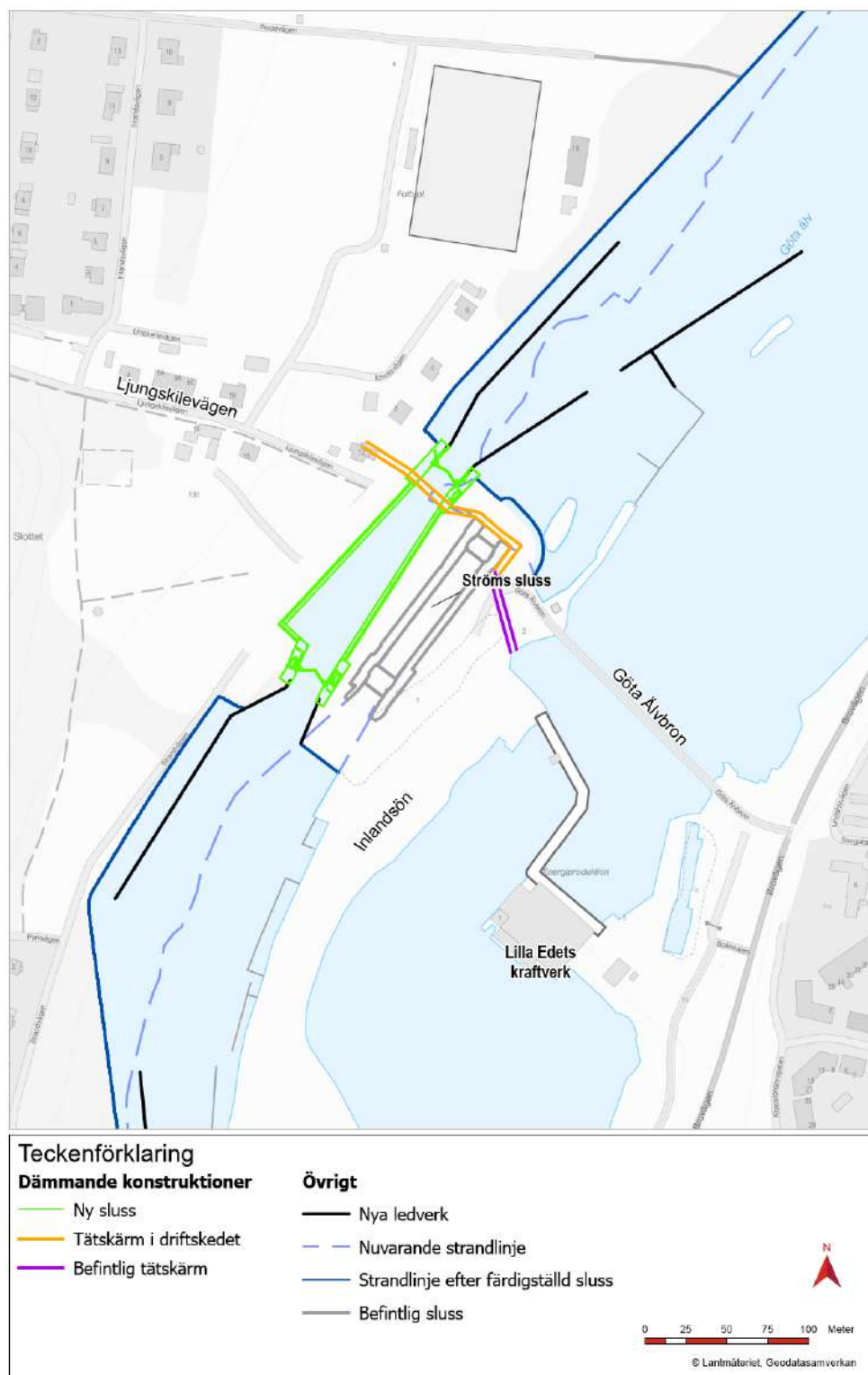
A Injekteringsarbete utförs genom borrhning, vattenförlustmätning och injektering. Detta utförs genom att börja med ett större inbördes hålavstånd för injekteringshålen där vatten först pumpas ut i sprickorna med ett specifikt tryck, detta kallas för en vattenförlustmätning och ger en bild av sprickornas vattenförande egenskaper. Efter detta pumpas injekteringsmaterialet ut, med specifika tryck, tider och tillåtna injekteringsvolym. Därefter utförs borrhning av mellanliggande hål, vilket då ger ett mindre inbördes hålavstånd. När vattenförlustmätningar utförs i dessa kan man undersöka förändringen i genomsläpplighet och injekteringsens tätande effekt för att följa upp att arbetet gör nytta. Även dessa borrhål kan sedan injekteras. Injektering utförs även genom rör som borrar i marken för spont, pålar och stag.

För bergmassan under sluss förväntas injektering behöva utföras över en yta snarare än längs en rad. I detta fall görs ett rutnär med borrhål där resultatet utvärderas genom att även här minska hålavståndet. Liknande principer som för berg kan användas för injektering i jord.

En ökad grundvattentrycknivå i både ytligt berg och ovanliggande moränen kan uppstå uppströms från den injekterade bergmassan som en effekt av reducerad genomsläpplighet av berget. Detta i sin tur kan leda till en lokal ökad hydraulisk gradient i grundvattenmagasinen.

Det bedöms inte vara tekniskt möjligt att göra spont och injektering så täta att inget grundvatten läcker in. Det grundvatten som läcker in från omgivande morän och berg behöver därför pumpas bort, länshållas, från schakten. Inläckaget av grundvatten medför att grundvattentrycknivån i jordlager och berg sänks utanför sponten och de injekterade områdena.

Sänkningen av grundvattentrycknivån som krävs för anläggandet av slussen är tillfällig och gäller under anläggningsskedet. Länshållningsnivån bedöms behöva lokalt sänkas till ca 1 meter under planerad schaktbotten, se tabell 2.



Figur 11. Läge för ny sluss samt befintliga och nya dämmande konstruktioner (tätskärm).
Notera att området som anges som "ny sluss" även kommer att avskärmas med en
spontlåda.

Tabell 2. Trycknivåer till vilken grundvatten sänks av till i schakt för planerad ny sluss under anläggningsskede. Opåverkad grundvattentrycknivå är baserad på medelvärde av hittills insamlade mätdata i respektive mätpunkt

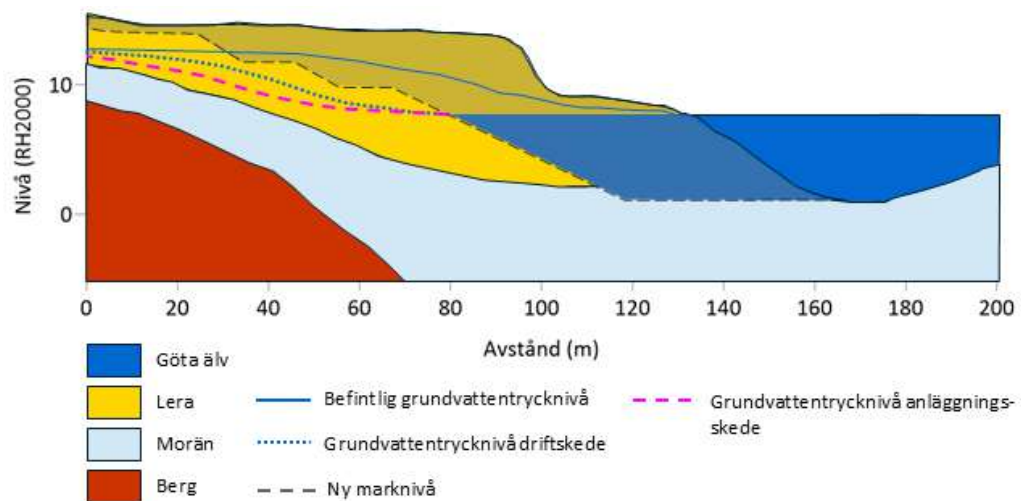
Anläggningsdel	Opåverkad grundvattentrycknivå	Grundvattentryck-sänkning till nivå	Storlek grundvattentryck-sänkning
Slusskammare	+4,3 till +5,7	-12,6	16,9 m till 18,3 m
Övre slusshuvud	+6,1	-14,6	20,7 m
Nedre slusshuvud	+3,0	-12,6	15,6 m

6.2 Justerad sträckning av farled och släntutformning

Ny sluss i Lilla Edet placeras väster om den befintliga slussen. Den nya placeringen medför att farledens sträckning behöver justeras så att den går längre västerut än den befintliga farleden, vilket görs genom att farleden schaktas och muddras in i den befintliga västra älvstranden. Anläggandet av den nya slussen och anpassning av farleden medför därmed att farleden breddas i västlig riktning både uppströms och nedströms ny sluss och att Göta älv blir något bredare än vad den är idag.

Vid anläggande av justerad farledssträckning och ny släntutformning kommer grundvattentrycknivån i moränlagret och berget att sjunka något och ställa in sig mot vattenytan i den justerade farleden, se konceptuell modell i figur 12. Sänkningen av grundvattentrycknivån sker eftersom vattennivån i Göta älv är styrande för grundvattentrycknivån vid älvstranden, och gradienten för grundvattentrycknivån i området väster om Göta älv lutar ner mot älvens yta. Grundvattenbortledningen sker passivt genom att grundvatten läcker ut till älven. Förändringen av grundvattentrycknivån kommer bli permanent.

Anläggandet av nya slänter, flytt av strandlinjen västerut samt ökad yta med fullt farledsdjup bedöms ge en lokal permanent påverkan på grundvattnets strömningsriktning och trycknivå väster om befintlig sluss.



Figur 12. Konceptuell modell över hur grundvattentrycknivån bedöms förändras till följd av justerad sträckning av farled.

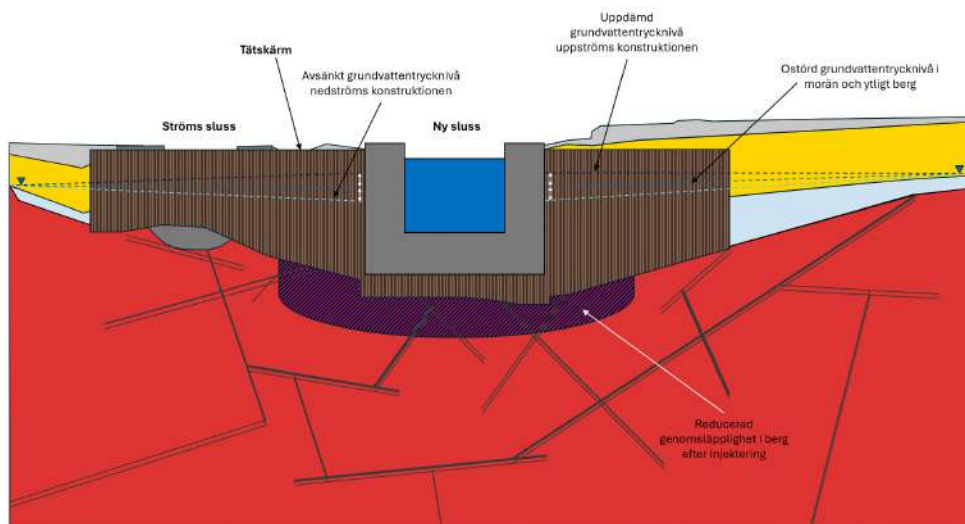
6.3 Dämmande konstruktioner

Projektet innebär en omarbetning av vatten- och dammanläggningar runt den nya slussen. Befintlig sluss kommer att tas ur bruk och ersättas av den nya slussen väster om befintlig farled.

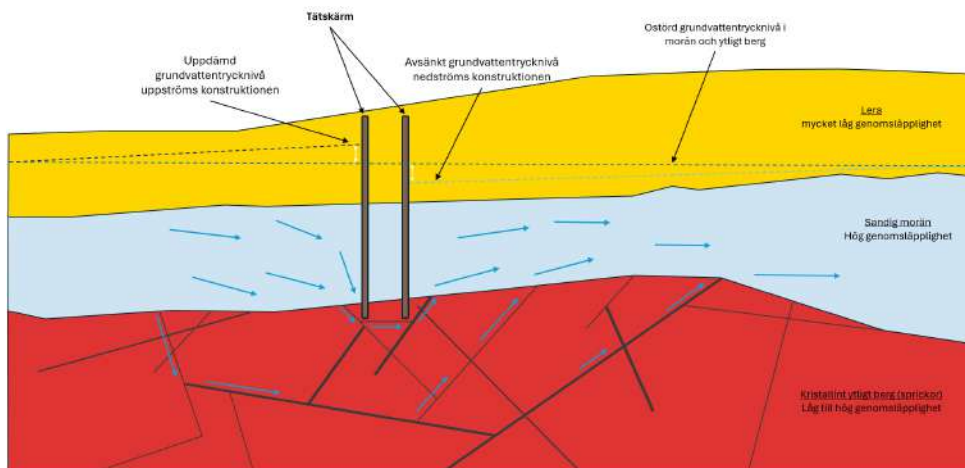
En ny tätskärm kommer att anläggas både väster och öster om den nya slussen. Tätskärmen passerar även under den nya slussen för att skärma av läckvägen som kan skapas under slusskammarens bottenplatta. Tätskärmen planeras utföras som två spontväggar och kommer att installeras någon meter ner i berget. Avståndet mellan spontväggarna kommer vara ca 4 meter. Materialet mellan väggarna förutsätts inte skiftas ut, vilket innebär att de naturliga massorna kommer vara kvar.

Tätskärmen har som syfte att skydda området runt den nya slussen från möjlig markerosion. I figur 11 redovisas den befintliga anläggningens ingående delar samt planerade lägen för nya tätskärmar.

Tätskärmen bedöms kunna medföra en dämmande effekt i form av grundvattentryckhöjning uppströms från konstruktionen, samt en grundvattensänkning nedströms denna. Se figur 13 och figur 14 för principiella illustrationer.



Figur 13. Principiell illustration över hur grundvattentrycknivån bedöms kunna förändras till följd av den planerade tätskärmen. Grundvattenflödet sker in mot figuren.



Figur 14. Principiell illustration över hur grundvattentrycknivån bedöms kunna förändras till följd av den planerade tätskärmen. Notera flödesvägen under tätskärmen som uppstår till följd av anläggande av den dämmande konstruktionen (tätskärm). Blåa pilar avser flödesriktning för grundvattenströmning.

7 Hydrogeologiska undersökningar

7.1 Slugtester

Slugtester har utförts i installerade grundvattenrör som ett in situ-test för att undersöka genomsläpplighet i jordlagren. Slugtestet går ut på att förändra den vilande grundvattenytan momentant för att därefter mäta grundvattenytans återhämtning till den ursprungliga nivån. Utifrån hastigheten på återhämtningen kan genomsläppligheten utvärderas.

Utförandet har skett genom antingen tillsats eller uttag av vatten. Beslutet om tillvägagångssätt har tagits på plats beroende på grundvattennivån i röret. Vid tillsatts av vatten ska den tillsatta mängden leda till att grundvattennivån i röret stiger med minst 1,5 meter. Vid uttag av vatten ska den uttagna mängden leda till att grundvattennivån i röret sänks med minst 1,5 meter. Detta görs för att en tydlig puls ska kunna observeras, vilket möjliggör att man senare kan följa återhämtningen i röret.

7.1.1 Tillsats av vatten

Slugtest enligt principen tillsats av vatten har utförts i 16 grundvattenrör.

Arbetsordning har generellt varit enligt följande:

1. Manuell mätning av grundvattennivå utfördes med ljud och- ljuslod.
2. Tryckgivare (diver) med mätintervall på var 5:e sekund installerades i grundvattenröret.
3. Tillsatts av vatten motsvarade ca 1,5 meter vattenpelare, dvs ca 0,8 liter för 1"-rör och 3 liter för 2"-rör.
4. Manuella mätningar utfördes i röret och en bedömning gjordes om återhämtning till den ursprungliga grundvattennivån var möjlig inom en halvtimme. Om möjligheten fanns inväntades återhämtning av grundvattennivån och ytterligare ett test utfördes. Om återhämtning inte bedömdes kunna ske inom 30 minuter så mättes resterande rör för att återkomma till röret under samma dag eller månaden därpå för att undersöka om röret hade återställts. Vid återhämtning utfördes nästa test.
5. Om återhämtningen tog mer än en månad antogs att området kring grundvattenröret hade lägre genomsläpplighet.

7.1.2 Uttag av vatten

Slugtest enligt principen uttag av vatten har utförts i 2 grundvattenrör.

Arbetsordning har generellt varit enligt följande:

1. Manuell mätning av grundvattennivå utfördes med ljus- och ljudlod.
2. Tryckgivare (diver) mätintervall på var 5:e sekund installerades i grundvattenröret med.

3. Uttag av vatten med hjälp av bailer motsvarande ca 1,5 meter vattenpelare, dvs ca 0,8 liter för 1"-rör och 3 liter för 2"-rör.
4. Manuella mätningar utfördes i röret och en bedömning gjordes om återhämtning till den ursprungliga grundvattennivån var möjlig inom en halvtimme. Om möjligheten fanns inväntades återhämtning av grundvattennivån och ytterligare ett test utfördes. Om återhämtning inte bedömdes kunna ske inom 30 minuter så mättes resterande rör för att återkomma till röret under samma dag eller månaden därpå för att undersöka om röret hade återställts. Vid återhämtning utfördes nästa test.
5. Om återhämtningen tog mer än en månad antogs att området kring grundvattenröret hade lägre genomsläpplighet.

7.1.3 Resultat

Slugtester utfördes november 2022 samt under februari-september 2023 i totalt 18 grundvattenrör, se Tabell 3. Utvärderingen av samtliga slugtester genomfördes i programvaran Aquifertest 12.0 och utvärderades med hjälp av de matematiska lösningarna Bouwer & Rice och Hvorslev.

Slugtестerna har utförts enligt metod beskriven under 7.1.1 Tillsats av vatten och 7.1.2 Uttag av vatten. Filterspetsen för samtliga grundvattenrör är installerade i det undre grundvattenmagasinet (morän).

Utvärderad hydraulisk konduktivitet samt information kring utförande redovisas i Tabell 3. Den redovisade hydrauliska konduktiviteten (genomsläppligheten) är ett geometriskt medelvärde baserat på 1 – 3 utförda slugtest i varje grundvattenrör.

Slugtest har utförts på grundvattenrör 22W838GV men resultatet bedöms ej vara tillförlitligt på grund av att delar av filtret bedöms vara installerat i lera. Inget resultat presenteras således för detta grundvattenrör.

Tabell 3. Resultat från utförda slugtester.

Grundvattenrör	Diameter grundvattenrör	Uttag eller tillsats av vatten	Hydraulisk konduktivitet [m/s]
22C126GV	2"	Tillsats	$7,8 \cdot 10^{-9}$
22W810GV	1"	Tillsats	$2,9 \cdot 10^{-6}$
22W816GV	2"	Tillsats	$8,3 \cdot 10^{-8}$
22W835GV	2"	Tillsats	$5,1 \cdot 10^{-8}$
22W848GV	2"	Tillsats	$3,0 \cdot 10^{-5}$
22W869GV	2"	Tillsats	$2,8 \cdot 10^{-7}$
22W873GV	2"	Tillsats	$2,1 \cdot 10^{-6}$
22W879GV	2"	Tillsats	$3,7 \cdot 10^{-6}$
22W912GV	1"	Tillsats	$3,6 \cdot 10^{-8}$
22W913GV	2"	Tillsats	$5,5 \cdot 10^{-7}$
22W914GV	2"	Tillsats	$1,5 \cdot 10^{-5}$
22W915GV	2"	Tillsats	$8,5 \cdot 10^{-7}$
22W916GV	1"	Uttag	$3,3 \cdot 10^{-9}$
22W917GV	2"	Tillsats	$2,3 \cdot 10^{-7}$
22W918GV	1"	Uttag	$2,2 \cdot 10^{-9}$
22W920GV	2"	Tillsats	$2,5 \cdot 10^{-6}$
22W933GV	1"	Tillsats	$1,2 \cdot 10^{-8}$

7.2 Provpumpning

Vid planerat slussläge i Lilla Edet har en provpumpning i berg genomförts. Syftet med provpumpningen var att utvärdera bergets vattenförande egenskaper och den hydrauliska kopplingen mellan berg och ovanliggande jordlager.

7.2.1 Pumpbrunn

På fastigheten Lilla Edet Kanalområdet 1:1 har en hammarborrad brunn i berg utförts för att fungera som pumpbrunn. Pumpbrunnen har dimensionen 6 tum och dess totala djup är 35 meter under markyta. Bergöverytan påträffades ca 14,5 meter under markytan, men berget var för uppsprucket för att fastgjutning av foderröret skulle kunna utföras. Foderrörsboring fortsattes därför till fast berg, vilket motsvarade ca 21 meter under markytan.

För övervakning av grundvattennivå i pumpbrunnen installerades en automatisk tryckgivare, s.k. diver, under pumpen. Tryckgivaren var kopplad till ett modem som sände in data till en webblösning, vilket medförde att vattennivån i pumpbrunnen kunde övervakas på distans. Syftet med detta var huvudsakligen att övervaka så att vattennivån inte sjönk under pumpen vid pågående test.

7.2.2 Genomförande

Inför start av provpumpning installerades en pump på ca 30 meters djup i brunnen. Vid testning av pumputrustningen konstaterades att pumpens kapacitet var mycket större än vattentillförseln i brunnen, vilket innebar att det var svårt att ställa in ett flöde som inte gav en för stor avsänkning.

Som förberedelse till uppstart av en längre provpumpning genomfördes den 31 augusti 2023 en stegprovpumpning i totalt sju steg. Första steget hade ett flöde på ca 0,5 liter/sekund och flödet ökades sedan successivt till ca 2,5 liter/sekund i det sjätte steget. Pumpning pågick ca 1 timme för varje steg och avsänkning i pumpbrunnen registrerades med tryckgivare. I det sjunde steget ökades flödet till ca 4 liter/sekund. Det ledde till att nivån i brunnen snabbt sjönk ner till pump och då avslutades testet och nivån i brunnen fick återhämtas. Stegprovpumpningens syfte var att samla information om pumpbrunnens funktion och se hur mycket avsänkning olika pumpflöden resulterade i. Utifrån stegprovpumpningens resultat bestämdes ett startflöde för den längre provpumpningen.

Vattnet som pumpades upp ur brunnen var inledningsvis mycket grumligt och innehöll mycket finmaterial, vilket ledde till problem med att flödesmätaren satte igen. Inför start av provpumpningen byttes flödesmätare till en typ som var mindre känslig för finmaterial i vattnet. Grumligheten och mängden finmaterial i vattnet som pumpades upp ur brunnen minskade efter hand som pumpning i brunnen pågick.

Den 6 september 2023 gjordes ett första försök att starta en längre provpumpning. Pumpning startades kl. 11:02 och planerat flöde var 9,2 m³/h (ca 2,5 l/s). Under de första timmarna efter start följdes avsänkningen i pumpbrunnen upp med manuella mätningar. Efter ungefär 3 – 4 timmars pumpning stabiliserades avsänkningen i pumpbrunnen något, men ”steady-state” uppnåddes inte. Efter ca 5 timmar ökade hastigheten på avsänkningen igen och efter ca 8 timmar hade vattennivån i brunnen sjunkit ner till pumpen. Troligen stängdes pumpen då automatiskt av och nivån återhämtades något innan pumpen startades igen. Efter omstarten var vattennivån i pumpbrunnen stabil i ca 2 timmar innan den återigen sjönk ner till pumpen. Återhämtningen efter det andra pumpstoppet var betydligt större. Efter ny pumpstart pågick pumpningen i ytterligare ca 15 timmar innan pumpen stängdes av den 7 september ca kl. 14, då provpumpning inte gått enligt plan och insamlade data inte ansågs vara utvärderingsbar. Dessutom hittades ett läckage i ventil för flödesjustering. Denna ventil byttes därför ut inför andra försöket att starta en längre provpumpning.

Den 13 september 2023 gjordes ett andra försök att starta en längre provpumpning. Pumpningen startade kl. 09:06 och planerat flöde var 8 m³/h (ca 2,2 l/s). Under de första timmarna efter start följdes avsänkningen i pumpbrunnen upp med manuella mätningar och vattennivån i pumpbrunnen sjönk som förväntat. Ungefär 4 timmar efter pumpstart började nivån i pumpbrunnen sjunka snabbare och ett ökat flöde noterades också (trots att ingen justering på ventil gjorts). Med syfte att försöka få till en provpumpning där avsänkningen når ”steady-state” justerades därför flödet i två steg tillbaka till ungefär samma flöde som vid pumpstart. Detta genomfördes ca 4,5 timmar efter pumpstart. Justeringen av flöde gav en tillfällig stigning/stabilisering av vattennivån, men ganska snart fortsatte vattennivån att sjunka igen i något

långsammare tempo. Den långsamt sjunkande vattennivån i pumpbrunnen följdes fram till ca 1 dygn efter pumpstart. Då började vattennivån återigen sjunka snabbare och ca 30 timmar efter pumpstart var vattennivån nästan nere vid pumpen. Ventilen justerades återigen så att flödet återgick ungefär till startflödet. Detta gjorde att vattennivån i pumpbrunnen steg något och efter detta noterades en någorlunda stabil vattennivå i ca 1 dygn framåt. Knappt 2,5 dygn efter pumpstart sjönk återigen vattennivån i pumpbrunnen ner till nära pumpen. Vid detta tillfälle noterades ett läckage i ventilen och därför stängdes provpumpning av i stället för att återigen justera flödet. Läckaget berodde på att finmaterial i vattnet eroderat ett hål i ventilhuset. Provpumpningen pågick i ca 59 timmar och baserat på total bortledd volym beräknades genomsnittsflöde till 8,3 m³/h (ca 2,3 l/s). Trots provpumpningens begränsade längd har påverkan noterats i många observationspunkter och insamlat dataunderlag har kunnat användas för en genomgående utvärdering.

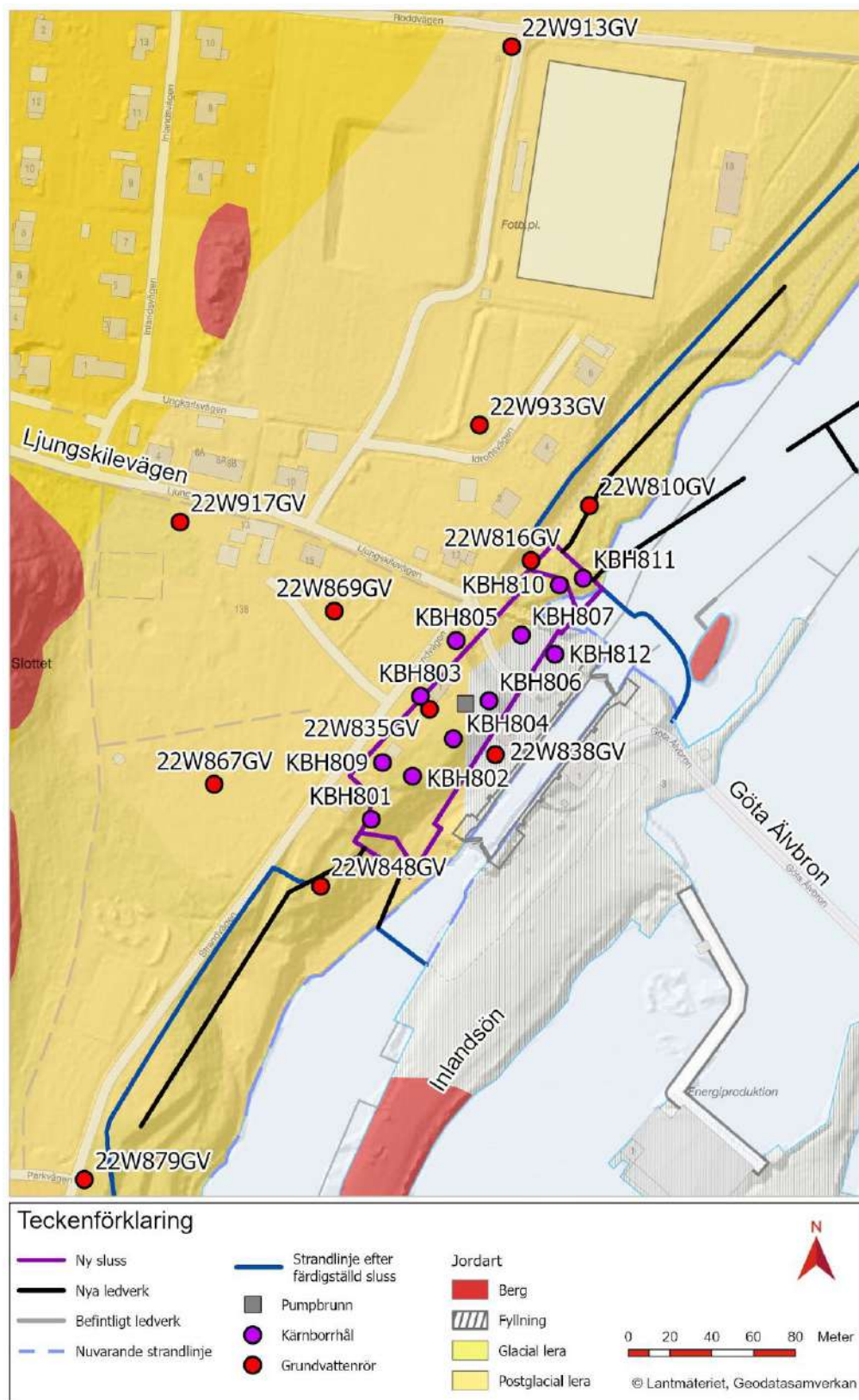
7.2.3 Observationspunkter

Under provpumpningen följdes påverkan på grundvattennivåerna upp i totalt 22 observationspunkter. Observationspunkterna utgjordes av 11 kärnborrhål i berg och 11 grundvattenrör i moränen. Kärnborrhålen finns inom eller i precis anslutning till planerat läge för ny sluss, på som mest ca 80 meters avstånd norr om pumpbrunnen och ca 70 meters avstånd söder om pumpbrunnen. Grundvattenrören som användes för observation är utspridda över ett något större område, för placering av observationspunkter se figur 15.

Övervakning av grundvattennivåer under provpumpningen har utförts med automatiska tryckgivare s.k. divers. Tryckgivarna har installerats med marginal under ostörd grundvattenyta i kärnborrhål och grundvattenrör. Tryckgivarna mäter tryck enligt programmerat tidsintervall. Uppmätt tryck inkluderar både lufttryck och vattentryck från vattenpelare ovan tryckmätare. Inför utvärderingen av provpumpningen har insamlad tryckdata därför bearbetats och korrektion för lufttryck har utförts.

I observationspunkterna programmerades tryckgivarna med ett mätintervall på var 15 minut. För grundvattenrören 22W879GV, 22W913GV, 22W917GV och 22W933GV, vilka är installerade på något större avstånd från pumpbrunnen, har ett glesare mätintervall på varje hel timme använts.

Övervakning av grundvattennivåer enligt givet mätintervall påbörjades i god tid innan provpumpning för att verifiera den ostörda grundvattennivån. Långtidsmätning av grundvattennivåerna har dessutom pågått i samtliga observationspunkter med tryckgivare, med mätintervall på varje hel timme, i en period innan provpumpningen utfördes.



Figur 15. Observationspunkter i berg (KBH) och undre magasin i jord (gv-rör) vid provpumpning.

7.2.4 Metod för hydrogeologisk utvärdering

För utvärdering av hydrauliska parametrar i det pumpade grundvattenmagasinet, det vill säga berget, har både Cooper-Jakobs metod och kurvpassning enligt Theis använts. Utvärdering med dessa metoder har gjorts i programvaran Aqtesolv. För att kunna genomföra dessa utvärderingar har först viss databearbetning krävts, huvudsakligen lufttryckskompensation av mätdata från observationspunkterna.

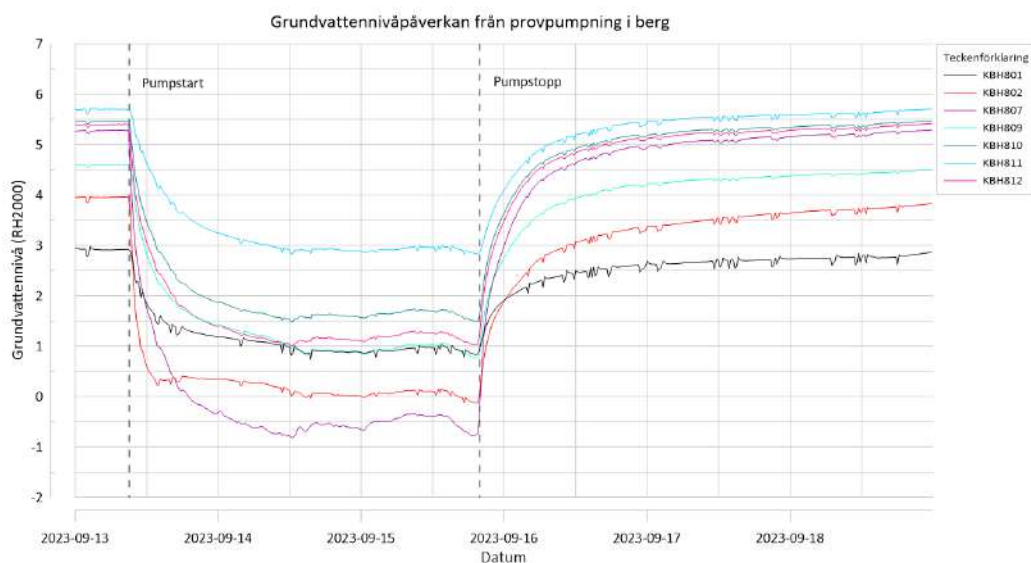
För grundvattenrör lokaliserade i undre magasin i morän har påverkan analyserats kvalitativt och sammanfattats i text. Från en provpumpning kan enbart hydrauliska parametrar för det pumpade magasinet utvärderas.

7.2.5 Observerad grundvattenpåverkan

Vid provpumpningen registrerades påverkan i form av en avsänkt grundvattennivå i samtliga 11 kärnborrhål. I 8 av grundvattenrören syntes påverkan på grundvattennivån som i tid tydligt sammanfaller med pumpningen. I ett antal av dessa rör syns att även andra faktorer än provpumpningen har påverkat grundvattennivåerna. I 3 av grundvattenrören registrerades ingen påverkan på grundvattennivån som tydligt kopplar till utförd provpumpning.

För 4 av kärnborrhålen har konstaterats att stor påverkan i form av avsänkt grundvattennivå har skett men insamlade data är inte komplett för utvärdering av hydrauliska parametrar. Detta beror på att de automatiska tryckgivarna har installerats för ytligt och grundvattennivån har sjunkit under den nivå som den automatiska tryckgivaren varit installerad på, vilket medfört att den hängt i luften och då enbart mätt lufttryck. De kärnborrhål som inte har kunnat användas för utvärdering av hydrauliska parametrar är KBH803, KBH804, KBH805 och KBH806.

För de 7 kärnborrhål där komplett data över hela provpumpningens förlopp finns redovisas uppmätta grundvattennivåer i figur 16 och maximal uppmätt avsänkning redovisas i tabell 4. Störst maximal avsänkning i berg (bland de observationspunkter som har komplett data) har uppmäts i KBH807 (6,1 meter) norr om pumpbrunnen, men avsänkningen har varit ännu större i de fyra kärnborrhål som inte har komplett data. De manuella nivåmätningar som utförts i KBH803, KBH804, KBH805 och KBH806 indikerar avsänkningar i storleksordningen 10,5 till 11,5 meter.

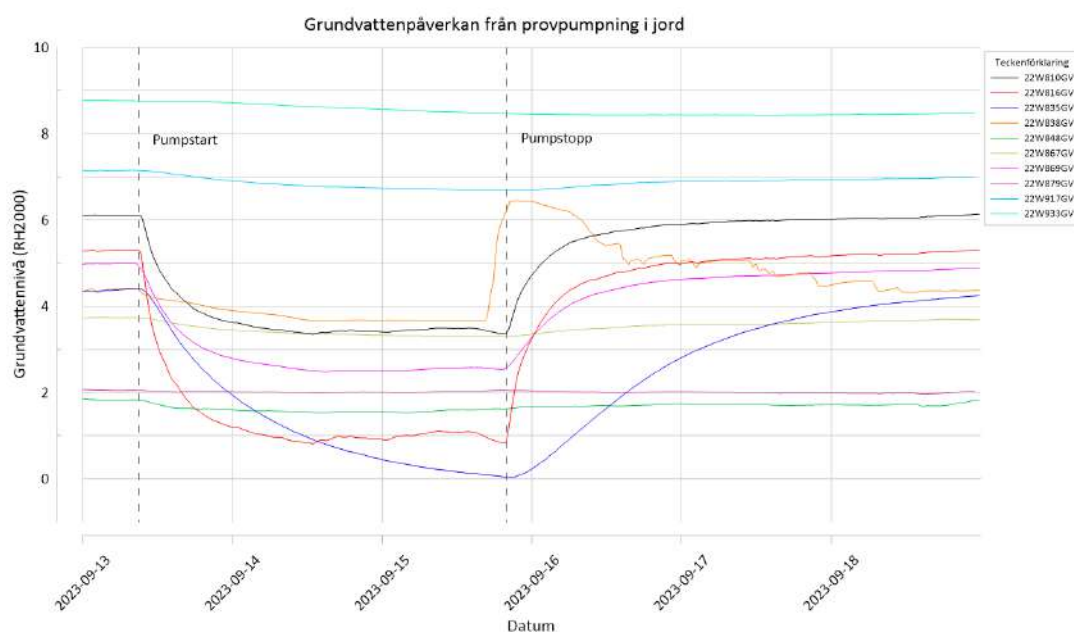


Figur 16. Uppmätta grundvattennivåer i kärnborrhål vid provpumpning.

Tabell 4. Maximal uppmätt grundvattenavsänkning i kärnborrhål vid provpumpning. Enbart för de kärnborrhål som har komplett data.

Observationspunkt [KBH]	Maximal avsänkning [m]
KBH801	2,2
KBH802	4,1
KBH807	6,1
KBH809	3,8
KBH810	4,0
KBH811	2,9
KBH812	4,4

För 10 av 11 grundvattenrör i undre magasin i jord redovisas uppmätta grundvattennivåer vid provpumpningen i Figur 17. Data för 22W913GV har uteslutits då det dels inte syns någon uppenbar påverkan från provpumpningen samt dels att uppmätta nivåer i röret har en betydligt högre nivå, vilket skulle göra figuren otydlig.



Figur 17. Uppmätta grundvattennivåer i grundvattenrör, undre magasin i morän, vid provpumpning.

För de grundvattenrör där en grundvattennivåpåverkan som tydligt sammanfaller med provpumpningen observerats redovisas ungefärlig maximal avsänkning i tabell 5. Den maximala avsänkningens storlek varierar i olika riktningar kring pumpbrunnen och även tiden det tar innan avsänkningen har stabiliserats varierar.

Tabell 5. Maximal uppmätt grundvattenavsänkning i grundvattenrör i undre magasin i morän vid provpumpning.

Observationspunkt [grundvattenrör]	Maximal avsänkning [m]
22W810GV	2,75
22W816GV	4,5
22W835GV	4,1
22W838GV	0,75
22W848GV	0,3
22W867GV	0,4
22W869GV	2,5
22W917GV	0,45

För grundvattenrören 22W810GV och 22W816GV, lokaliserade ca 100 meter respektive ca 70 meter norr om pumpbrunnen, är avsänkingsförloppet relativt snabbt och maximal avsänkning nås efter ca 1 dygn. Nivån i de båda

grundvattenrören är sedan relativt stabil fram tills provpumpningen avslutas. I 22W816GV har den största avsänkningen noterats, ca 4,5 meter.

För grundvattenröret 22W835GV, som är lokaliserat ca 20 meter väster om pumpbrunnen, har avsänkningförloppet börjat strax efter pumpstart och fortsatt hela vägen fram till pumpstopp. Maximal avsänkning finns vid tidpunkten för pumpstopp och är ca 4,1 meter, men avsänkningen i grundvattenröret bedöms inte ha stabiliserats vid tiden för pumpstopp.

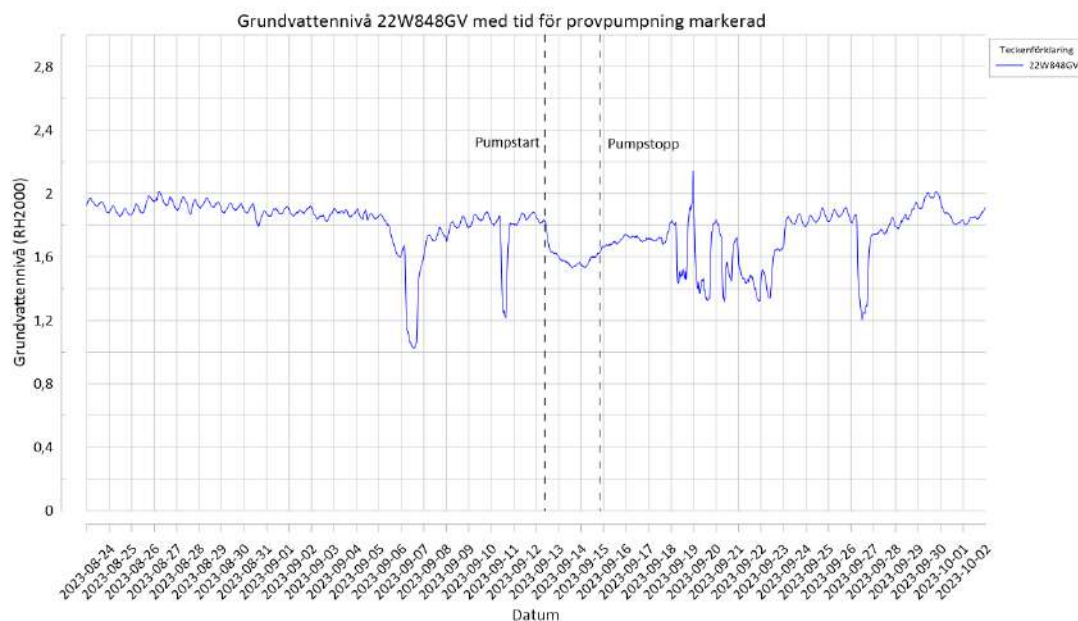
Grundvattenröret 22W838GV är lokaliserat ca 30 meter öster om pumpbrunnen, men på en tydligt lägre nivå då det sitter nedanför en brant slänt bara några meter från befintlig sluss. Maximal avsänkning i denna observationspunkt är ca 0,75 m och nås ca 1 dygn efter pumpstart. Nivån i punkten har dock påverkats av något och stigit kraftigt, ca 2,8 m, från ungefär 3 timmar innan pumpstopp. Från denna höga nivå återgår den sedan till normal nivå, men fortsätter därefter att sjunka något.

För grundvattenröret 22W867GV, som är lokaliserat ca 125 m väster om pumpbrunnen, har en något fördröjd avsänkning noterats. Avsänkningen börjar synas ca 1 till 2 timmar efter pumpstart och blir maximalt ca 0,4 m, vilket nås ca 2 dygn efter pumpstart. Vid pumpstopp syns samma fördröjning som vid start, återhämtning börjar noteras ca 2 timmar efter pumpstopp.

För grundvattenröret 22W869GV, som är lokaliserat ca 75 meter väster om pumpbrunnen, syns ett relativt snabbt avsänkningförlopp. Maximal avsänkning är ca 2,5 meter och nås drygt 1 dygn efter pumpstart.

För grundvattenröret 22W917GV, lokaliserat ca 160 meter väster om pumpbrunnen, syns en avsänkning som maximalt blir ca 0,45 m innan pumpstopp.

För grundvattenröret 22W848GV, som är lokaliserat ca 110 meter sydväst om pumpbrunnen, har noterats en avsänkning som är som störst ca 0,3 meter efter knappt 2 dygns pumpning. Avsänkningförloppet börjar någon timme efter pumpstart. Efter knappt två dygns pumpning börjar nivån stiga i denna observationspunkt trots att pumpning pågår i ytterligare ca 12 timmar. I mätdata både före och efter utförd provpumpning syns att grundvattennivån påverkas av andra faktorer, vilket gör det svårt att med säkerhet fastställa hur mycket av den noterade avsänkningen som beror på provpumpningen och hur mycket som styrs av andra faktorer, se figur 18.



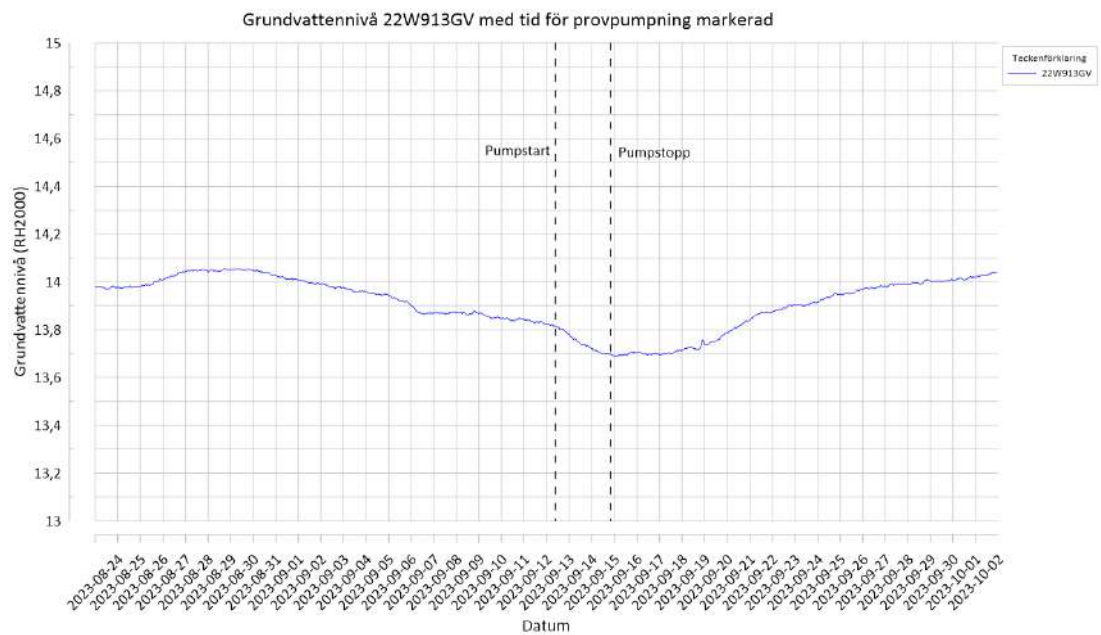
Figur 18. Grundvattennivå i 22W848GV före, under och efter provpumpning. Här syns att nivån i grundvattenröret tydligt påverkas av andra faktorer.

För grundvattenröret 22W879GV, som är lokaliserat ca 300 meter sydväst om pumpbrunnen, syns ingen påverkan som kan kopplas till provpumpningen. Under tidsperioden som provpumpning pågick varierar nivån i observationspunkten enstaka centimeter, men det är troligen naturlig variation.

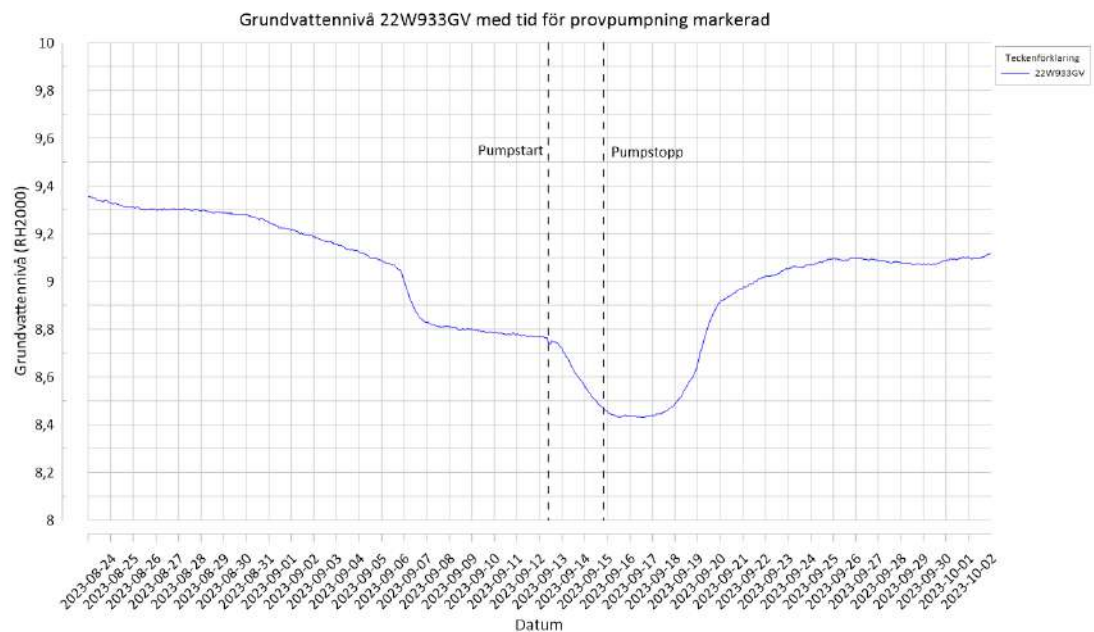
För grundvattenröret 22W913GV, lokaliserat ca 320 meter norr om pumpbrunnen är det svårt att avgöra om påverkan från provpumpning finns eller inte. Nivån i observationspunkten sjunker ca 12 cm under tidsperioden som provpumpning pågår och vänder sakta upp igen efter avslutad provpumpning, men det är svårt att avgöra om detta beror på provpumpningen eller om det är naturlig variation. Uppmätta grundvattennivåer redovisas i figur 19.

För grundvattenröret 22W933GV, lokaliserat ca 140 meter norr om pumpbrunnen, syns en sannolik påverkan på grundvattennivån under provpumpningen, se figur 20. Nivån i grundvattenröret är tydligt påverkad även av en tydlig nedåtgående trend som gör det svårt att bedöma hur stor den egentliga påverkan från provpumpningen uppgår till.

Variationen i storlek på avsänkning i olika observationspunkter och hastighet på avsänkningens utveckling är beroende av moränlagrets koppling till de bergssprickor som finns i området för planerad sluss. Dessa bergssprickor och det finkorniga fyllnadsmaterial som finns i dem är en styrande del i det hydrogeologiska systemet lokalt vid planerad sluss och en viktig faktor i utfallet av genomförd provpumpning.



Figur 19. Grundvattennivå i 22W913GV före, under och efter provpumpning.



Figur 20. Grundvattennivå i 22W933GV före, under och efter provpumpning.

7.2.6 Utvärderade hydrauliska parametrar

För det provpumpade grundvattenmagasinet i berg har de hydrauliska parametrarna transmissivitet [T] och magasinskoefficient [S] utvärderats med Cooper-Jakobs metod och kurvpassning enligt Theis metod. Utvärderingen har utförts i programvaran Aqtesolv.

Utvärdering av hydrauliska parametrar har utförts för varje kärnborrhål med komplett dataunderlag var för sig. Utvärdering har utförts på både delen av data som representerar pumpning och data som representerar återhämtning. Generellt är data för återhämtning mer ostörd jämfört med data för pumpning, som påverkas av till exempel justering av flöden.

Utvärderade hydrauliska parametrar baserat på data från pumpning redovisas för Cooper-Jakobs metod i tabell 6 och för kurvpassning enligt Theis brunnfunktion i Tabell 7.

Tabell 6. Utvärderade hydrauliska parametrar enligt Cooper-Jakobs metod baserat på data för pumpning.

ID	Transmissivitet, T [m ² /s]	Magasinskoefficient, S [-]
KBH801	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
KBH802	-*	-
KBH807	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-5}$
KBH809	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
KBH810	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$
KBH811	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$
KBH812	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

*Går ej att passa korrekt enligt antagande för Cooper-Jakobs metod.

Tabell 7. Utvärderade hydrauliska parametrar enligt Theis brunnfunktion baserat på data för pumpning.

ID	Transmissivitet, T [m ² /s]	Magasinskoefficient, S [-]
KBH801	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
KBH802	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$
KBH807	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \cdot 10^{-5}$
KBH809	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
KBH810	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
KBH811	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
KBH812	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$

Utvärderade hydrauliska parametrar baserat på data från återhämtning redovisas för Cooper-Jakobs metod i tabell 8 och för kurvpasning enligt Theis brunnfunktion i Tabell 9.

Tabell 8. Utvärderade hydrauliska parametrar enligt Cooper-Jakobs metod baserat på data för återhämtning.

ID	Transmissivitet, T [m ² /s]	Magasinskoefficient, S [-]
KBH801	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
KBH802	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
KBH807	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
KBH809	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
KBH810	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$
KBH811	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
KBH812	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$

Tabell 9. Utvärderade hydrauliska parametrar enligt Theis brunnfunktion baserat på data för återhämtning.

ID	Transmissivitet, T [m ² /s]	Magasinskoefficient, S [-]
KBH801	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
KBH802	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
KBH807	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
KBH809	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
KBH810	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
KBH811	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
KBH812	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$

Generellt har en bra överensstämmelse för utvärderade hydrauliska parametrar mellan pumpning och återhämtning nåtts. Utvärderad transmissivitet för data från alla kärnborrhål är genomgående i samma storleksordning. Utvärderad transmissivitet varierar mellan $1 \cdot 10^{-4}$ m²/s och $5 \cdot 10^{-4}$ m²/s. Utvärderad magasinskoefficient varierar mellan $7 \cdot 10^{-5}$ och $4 \cdot 10^{-4}$.

8 Beräkningar

8.1 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 242 bergborrade brunnar med beräkningsbara data.

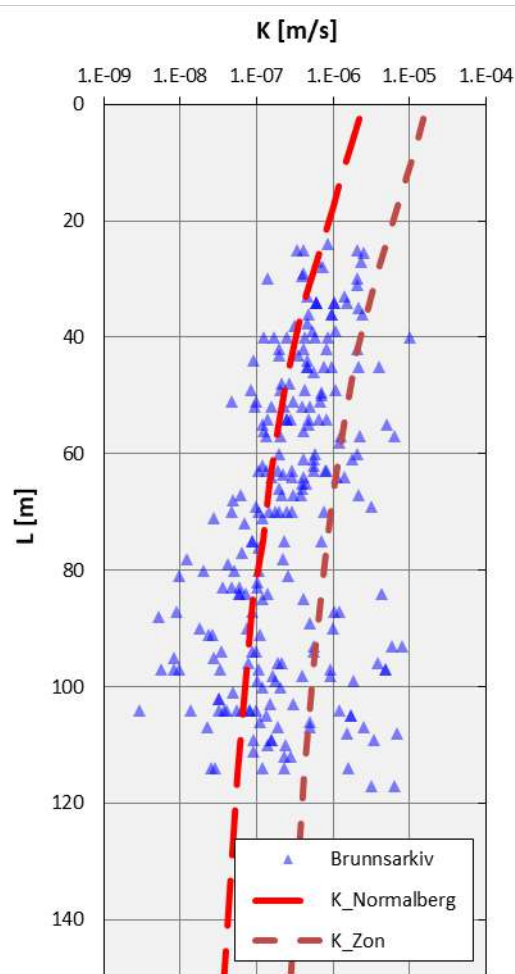
Medelkonduktivitet (K) för respektive brunn beräknades som brunnstransmissivitet (T) för den borrhade längden (L) som brunnen penetrerar i berget.

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, 2024).

Utifrån tillgängliga data kan det dock 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 lognormalfördelat (Gustafson, 2009).

Spridningsmönstret i figur 21 representerar ett medel K -värde för brunnsdjupet för respektive bergbördad brunn.

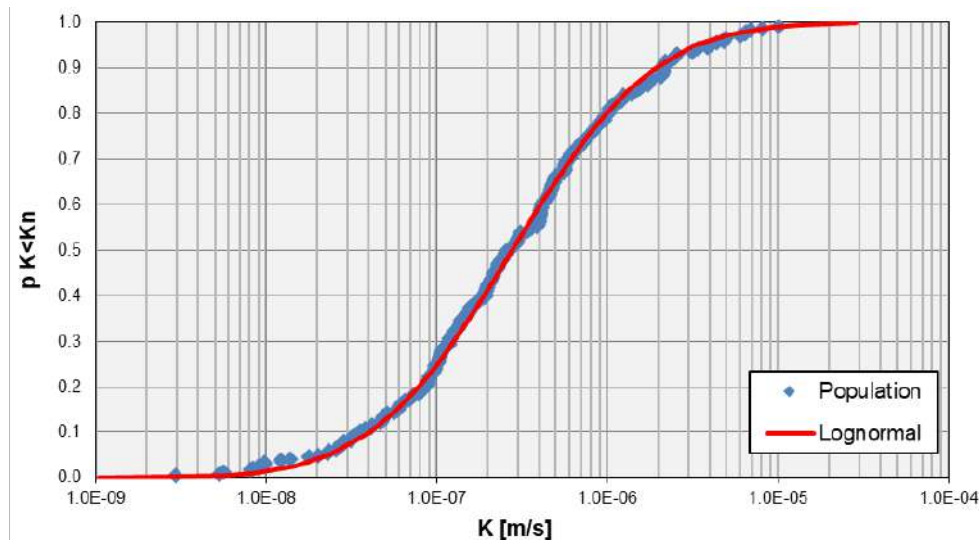


Figur 21. Utvärderade K -värden plottade mot brunnsdjupet, och utvärderad djupavtagande för hydraulisk konduktivitet ($K_{\text{Normalberg}}$) och svaghetszoner (K_{Zon})

Den hydrauliska konduktiviteten i berget inom aktuellt område beräknades enligt ekvation 1 för samtliga 242 bergborrade brunnar.

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

Med antagandet att samtliga brunnar tillhör samma domän gjordes en analys som visar att populationen är lognormalfördelad (figur 22), vilket möjliggör vidare utvärdering av statistiska parametrar för populationen.



Figur 22. Lognormalfördelning av utvärderad hydraulisk konduktivitet för aktuell brunnspopulation (242 st.). Den storskaliga hydrauliska konduktiviteten (K_{3D}) utvärderades till $4 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Till populationen anpassades en lognormalfördelning med standardavvikelse och medelvärde. Utifrån detta erhålls ett geometriskt medelvärde på $K_g = 2,8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Från denna borrhålsskala kan en storskalig effektiv hydraulisk konduktivitet (K_{3D}) utvärderas enligt Matherons förmodan (ekvation 2) till $K_{3D} = 4,0 \cdot 10^{-7}$ m/s.

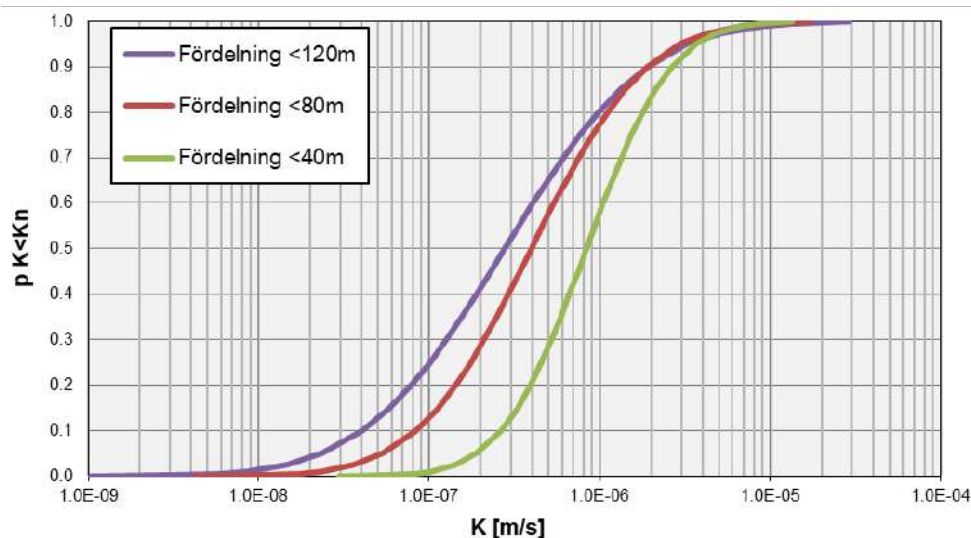
$$K_{3D} = K_g * e^{\frac{\sigma^2}{6}} \quad (\text{ekv 2}) \text{ (Gustafson, 2009)}$$

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) <120 m
- brunnar djup i berg (L) <80 m
- brunnar djup i berg (L) <40 m

En sammanställning av fördelningarna för de olika delpopulationerna visar att det finns ett statistiskt säkerställt djupavtagande för K, se figur 23.

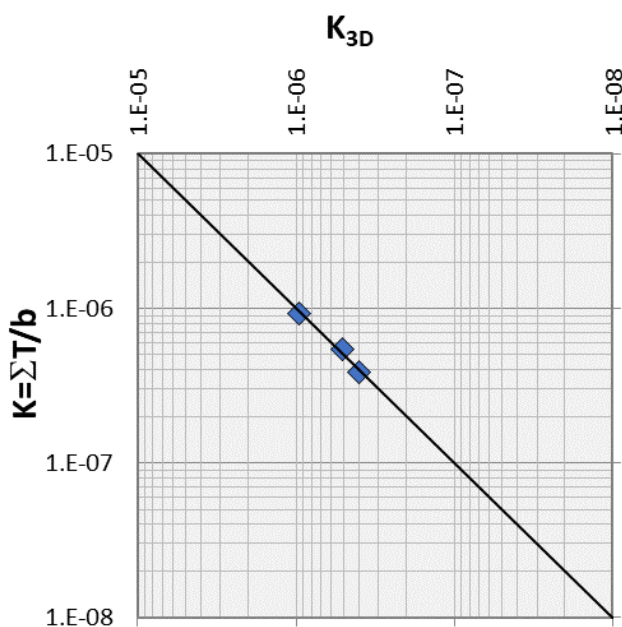


Figur 23. Lognormalfördelade populationer indelade efter djup i berg.

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.

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

För att bestämma konstanterna (C och L) som ger ett djupavtagande som stämmer med utvärderad population användes K_{3D} -värdena för de olika delpopulationerna som passningsparametrar till det beräknade K-värdet med potensfunktionen KNormalberg (Figur 24). 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 24.



Figur 24. Passningen mellan utvärderade K_{3D} och beräknad $K = \sum T/b$ för respektive population.

8.2 Grundvattenmodell

8.2.1 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.

8.2.2 Simuleringsmetod

Utförda modellsimuleringar har körts både med stationära och transienta förhållanden.

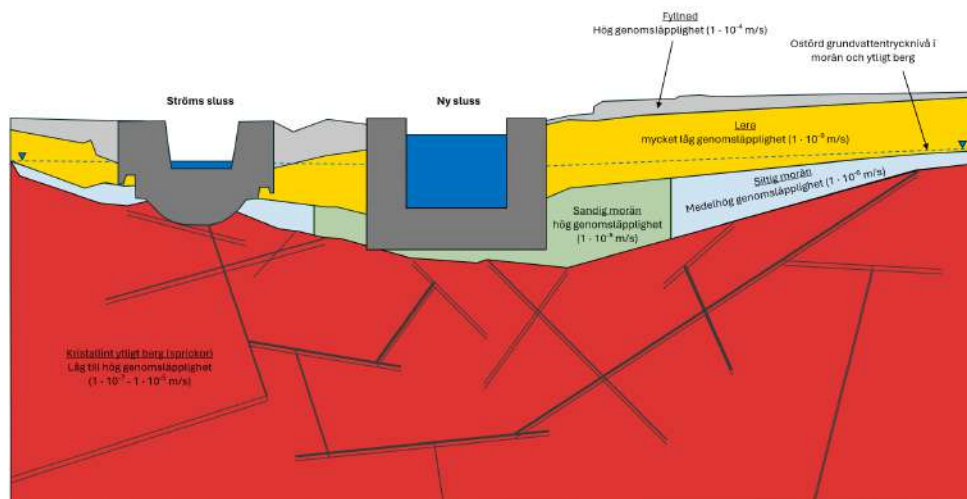
Stationära förhållanden innebär att det inte tas hänsyn till tiden det tar för en grundvattensänkning att fullt utvecklas i grundvattenmagasinet.

Modellsimuleringarna har alltså gjorts med utgångspunkt att systemet är i jämvikt och att grundvattennivåförändringen är fullt utvecklad.

Transienta förhållanden innebär att hänsyn tas till tidsaspekten under modellsimuleringen, det vill säga att modellsimuleringar utförs inom en bestämd tidsrymd för att studera hur grundvattenförhållandena förändras över tid.

8.2.3 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 5. Platsspecifika förhållanden samt projekterade anläggningar enligt projekteringsunderlag redovisade i kapitel 7 planerade anläggningar. Se figur 25 för konceptuell geologisk modell för slussområdet.



Figur 25. Konceptuell geologisk modell för området runt den nya slussen.

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, för den nya slussen och den justerade farledssträckningen redovisas i figur 26.



Figur 26. Modelldomän i förhållande till planerade anläggningar.

8.2.4 Modelluppbyggnad

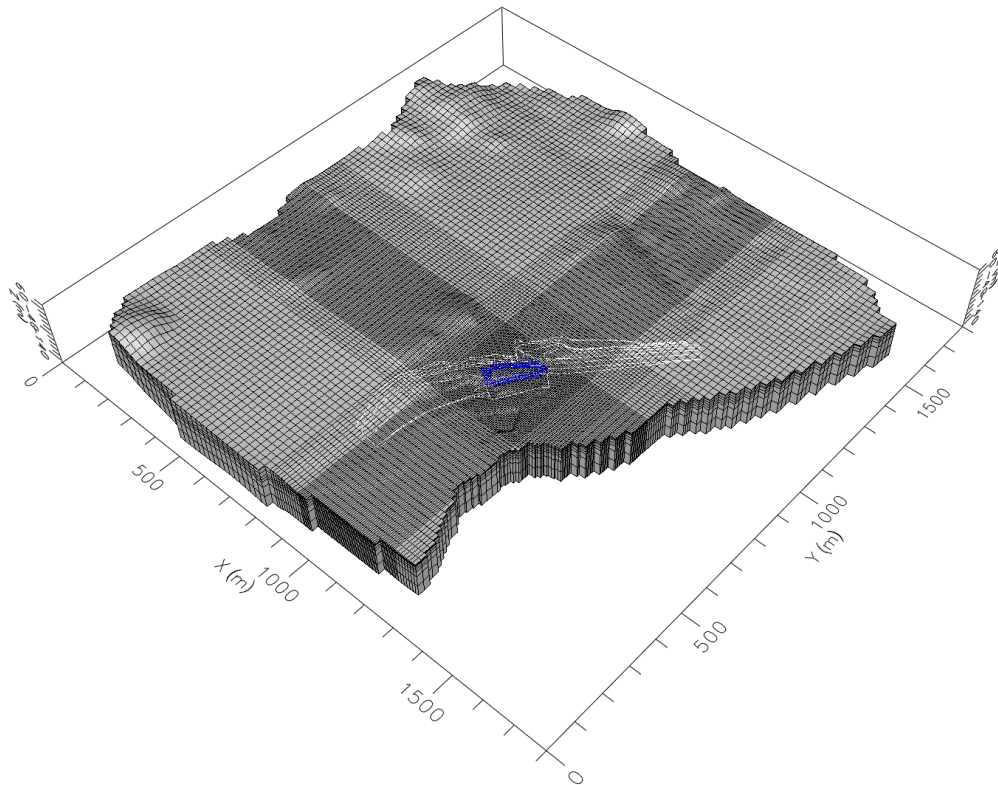
Modelldomän och diskretisering

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 50 x 50 meter vid modellens gränser.

I vertikalled är modellen uppbyggd av 8 beräkningslager för representation av jord och berg, uppdelat på 3 lager för jord och 5 för berg. Lagermäktigheten för jordlagren varierar mellan ca 1 meter och upp till ca 20 meter. Berget har lagts in som 5 beräkningslager med total mäktighet på 120 meter från bergets överyta. Lagermäktigheten för berg varierar mellan 10 meter och upp till 40 meter.

Modellens tredimensionella utformning framgår av figur 27.



Figur 27. Modellens tredimensionella utformning. Områden för nya slänter anges med vita linjer, ny sluss med blåa.

Marktopografi

Inom projektet har en markmodell tagits fram. För detaljerad beskrivning av markmodellen hänvisas till *PM Kontroll markmodell* (WSP 2024b).

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 2024c). 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.

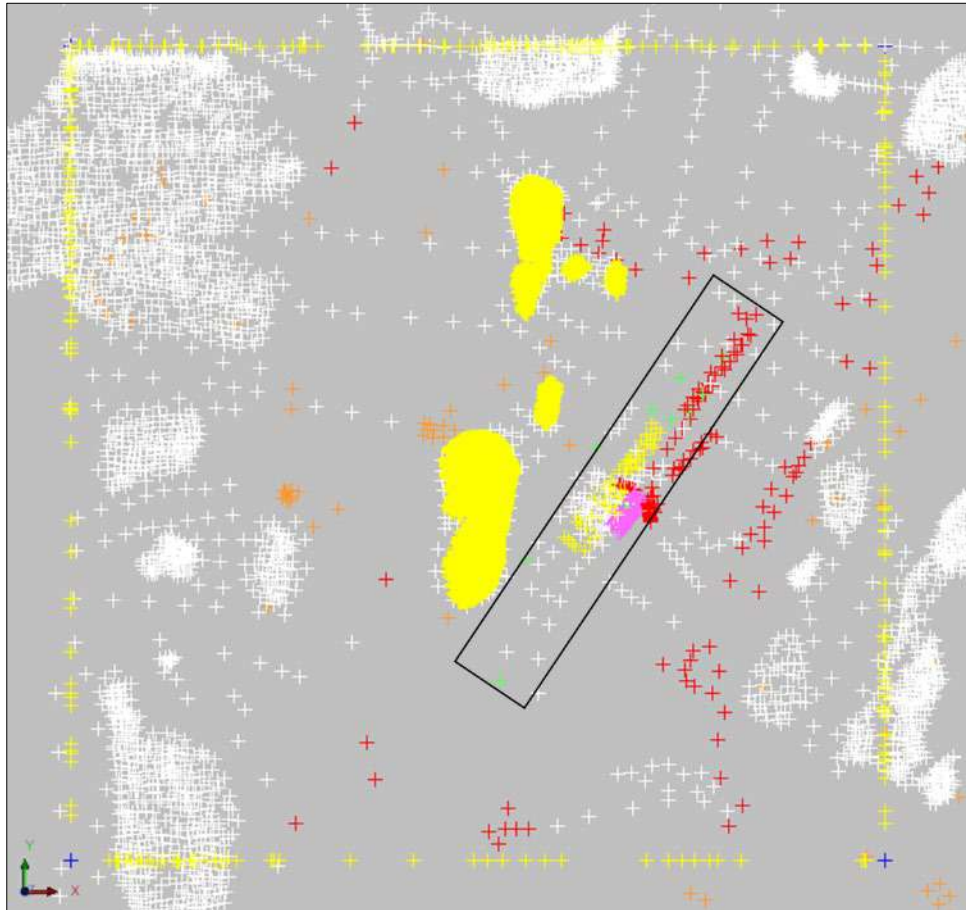
Göta älvs batymetri

Göta älvs bottengeometri har undersökts genom batymetriska mätningar vid ett flertal tillfällen, där den senaste utfördes 2020–2021. För mer detaljerad beskrivning av batymetrin hänvisas till *PM Kontroll markmodell* (WSP 2024b). Älvens bottengeometri 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 2024d). 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 jorrdjupsmodell samt intolkade punkter från markmodellen där berg går i dagen. Där underlag saknats har manuellt införda och tolkade punkter lagts till och använts för att justera så att bergmodellens överyta hamnar under markmodellens överyta och under tolkad underkant för lerlagret, se figur 28.



Figur 28. Bergmodellens utformning. Punkter innanför svart rektangel ingår i projektets bergmodell. Röda punkter utanför svart rektangel är punkter från historisk sondering. Orange= SGU:s brunnnsdata. Gult= Fullständigt dataset från markmodell. Vita kluster= Berg i dagen, selektiva punkter från markmodellen. Vita punkter mellan kluster= Manuellt införda punkter. Gult/Blått= Blå punkter visar begränsning för modellområdet, gula punkter mellan dessa är autogenererade punkter som skapats vid beskärning av modellområdet.

8.2.5 Randvillkor

Modellgränser

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

Ytvatten

Inom aktuellt område för ny sluss utgör Göta Älv ett betydelsefullt randvillkor för grundvattenströmningen.

Inom hela Göta älvs utbredning har en "*Constant Head Boundary*" (CHB) ansatts som randvillkor, vilket innebär att en konstant trycknivå hålls. Uppströms nuvarande sluss och dammkonstruktion ansattes CHB till +7,1 och nedströms anläggningarna ansattes CHB till +0,8. Nivåerna baseras på uppmätta medelytvattennivåer i Göta älv.

I norr rinner vattendraget *Strömsbäcken* inom modelldomänen. Uppströms Strömsbäcken har en "*River Boundary*" ansatts. Vid bäckens mynning i Göta Älv har en CHB på +7,1 ansatts.

Grundvattenbildning

Den del av nederbörden som inte avdunstar ligger till grund för ansatt grundvattenbildning ("*Recharge*") över modellområdet. Grundvattenbildningen har ansatts till 440 mm/år för områden med morän, berg i dagen och vid randzonen mellan jord och berg. För lertäcka områden och områden med bedömd lägre infiltrationskapacitet har grundvattenbildningen minskats med 20% till 350 mm/år.

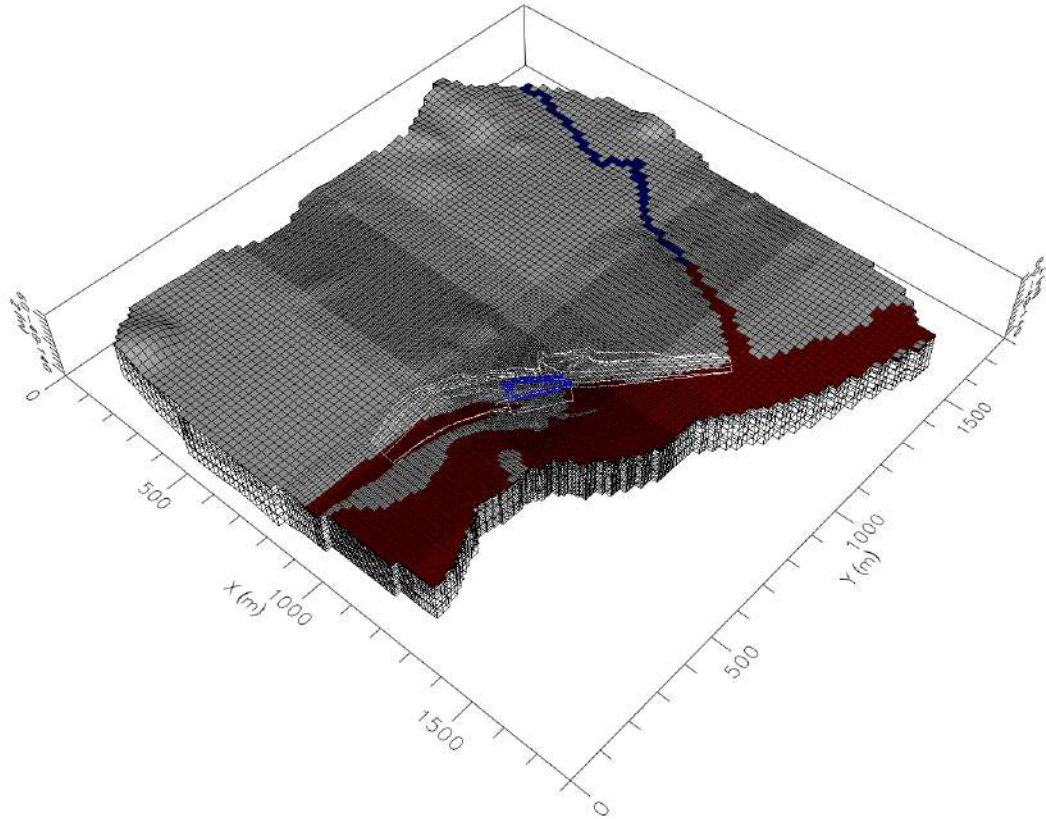
Hur stor del av denna grundvattenbildning som kan tillföras undre grundvattenmagasin under lera är en styrande parameter för vattentillgången i magasinet. Nybildning av grundvatten till undre grundvattenmagasin kan ske via kontakt mellan övre och undre grundvattenmagasin i friktionsjord, primärt vid grundvattenmagasinets randzoner eller via kontakt mellan berg och undre grundvattenmagasin. Inom aktuellt område för den nya slussen sker även ett tillskott av vatten från Göta älv till det undre 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.

Tillgången på vatten i undre grundvattenmagasin kan studeras genom simulering av utförd provpumpning i undre grundvattenmagasin i berg, där responsen på en viss grundvattenbortledning ger ett mått på vattentillgången (nybildningen). Inflödet ökar till viss del vid trycksänkning i magasinet, men ansatt grundvattenbildning till modellen utgör en övre gräns för detta flöde.

Ytlig avrinning och omättad zon

En "Drain Boundary" har ansatts till 0,7 m 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 29.



Figur 29. 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 nya slänter anges med vita linjer, ny sluss med ljusblåa.

8.2.6 Hydrauliska parametrar

Hydraulisk konduktivitet

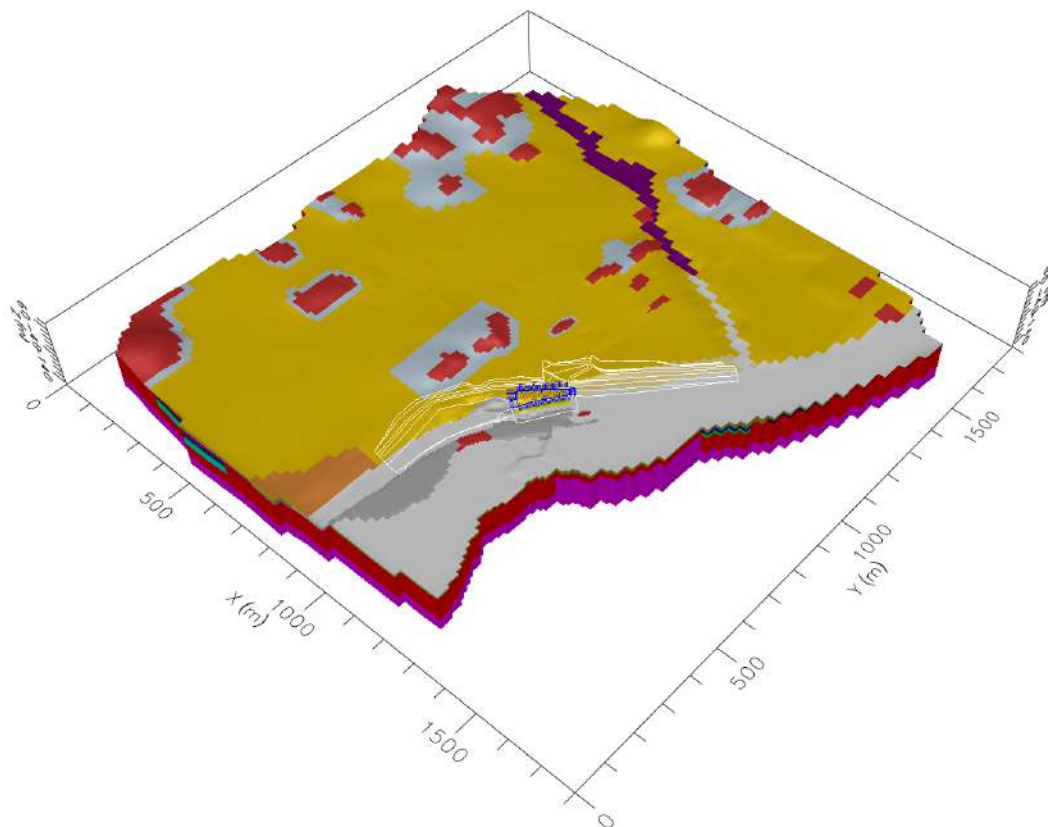
För stationära simuleringar används endast hydraulisk konduktivitet. För transienta simuleringar är även magasinskoefficient (S_s) och vattenavgivningstal (S_y) av betydelse.

Värden för hydraulisk konduktivitet i olika jordarter har initialt ansatts efter litteraturvärden och utförda slugtester, och sedan kalibrerats mot utförd provpumpning. Avseende berg har hydraulisk konduktivitet initialt ansatts utifrån värden som beräknats enligt metoden beskriven i *kapitel 8.2*, varefter värdena modifierats efter tolkningar av områdets geologi samt resultat från utförd provpumpning.

Använda hydrauliska parametrar framgår av tabell 10. Översiktlig indelning av modellens ansatta hydrauliska parametrar för beräkningslager 1 framgår av Figur 30.

Tabell 10. Kalibrerade hydrauliska parametrar. K_h avser hydraulisk konduktivitet i horisontalld, K_v avser hydraulisk konduktivitet i vertikalld.

Geologisk enhet	K_h (m/s)	K_v (m/s)	S_s	S_y
Siltig morän I	$2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Siltig morän II	$5 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Siltig morän III	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Siltig morän IV	$1 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Siltig morän V	$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Siltig morän VI	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Siltig morän VII (bottensediment)	$8 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Sandig morän I	$9 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Sandig morän II	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.08
Sandig morän III (randzon jord/berg)	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	0.15
Fyll	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0.26
Svämsediment	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	0.2
Lera	$5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	0.06
Siltig lera	$4 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	0.06
Kristallint berg i dagen	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	0.005
Kristallint berg, övre krosszon	$7 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	0.001
Kristallint berg, nedre krosszon	$8 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	0.001
Kristallint berg I (0 - 10 m)	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0.001
Kristallint berg II (10- 20 m)	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0.001
Kristallint berg III (0 - 80 m)	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0.001
Kristallint berg IV (20 - 120 m)	$4,1 \cdot 10^{-8}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0.001



Figur 30. Översiktlig indelning av modellens ansatta hydrauliska parametrar för beräkningslager 1.

8.2.7 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. Simulering av utförd provpumpning har också utförts för att kalibrera grundvattenmodellen mot de faktiska förutsättningarna i området.

Grundvattenmodellen har därefter använts för att simulera två beräkningsfall: anläggningsskede och driftskede, se tabell 11. Anläggningsskede avser simuleringen av grundvattenbortledningen vid anläggande av planerad ny sluss, nya slänter och justerad farledssträckning i anläggningsskede. Driftskede innebär grundvattenbortledningen till följd av nya slänter och justerad farledssträckning, och effekterna av anläggande av nya tätskärmar (dämmande konstruktioner).

Tabell 11. Beräkningsfall och tillämpad simuleringsmetod

Beräkningsfall	Metod
Simulering av utförd provpumpning för kalibrering av grundvattenmodellen	Transient
Simulering av nuvarande situation utan planerade anläggningar	Stationärt
Simulering av anläggningsskede med schakt för anläggande av ny slusskammare och slusshuvuden med spont samt justerad sträckning av farled och släntutformning. Spont ansatt med täthet motsvarande $1,0 \cdot 10^{-8}$ m/s och med installationsdjup motsvarande 1 m under schaktbotten.	Stationärt
Simulering av driftskede för studie av effekterna av justerad sträckning av farled, släntutformning, slusskonstruktionen samt dämmande konstruktioner. Slusskonstruktionen och dämmande konstruktioner ansatta med täthet motsvarande $1,0 \cdot 10^{-8}$ m/s och med installationsdjup motsvarande 1 m under schaktbotten.	Stationärt

8.2.8 Kalibrering

Grundvattenmodellen har kalibrerats för ostörda förhållanden (nuvarande situation utan planerade anläggningar) mot uppmätta grundvattennivåer i 20 st. grundvattenrör, 11 kärnborrhål och 1 hammarborrhål. Kalibrering har även skett mot utförd provpumpning.

Stationär kalibrering mot utvärderade grundvattennivåer

Mätning av grundvattennivå genomfördes mellan oktober 2022 och april 2024 i 31 mätpunkter, varav 20 i jord (grundvattenrör) och 11 i berg (kärnborrhål). Totalt genomfördes mellan 15–16 manuella nivåmätningar i respektive grundvattenrör och kärnborrhål. Där tillgängligt har även högupplöst diverdata använts. 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:

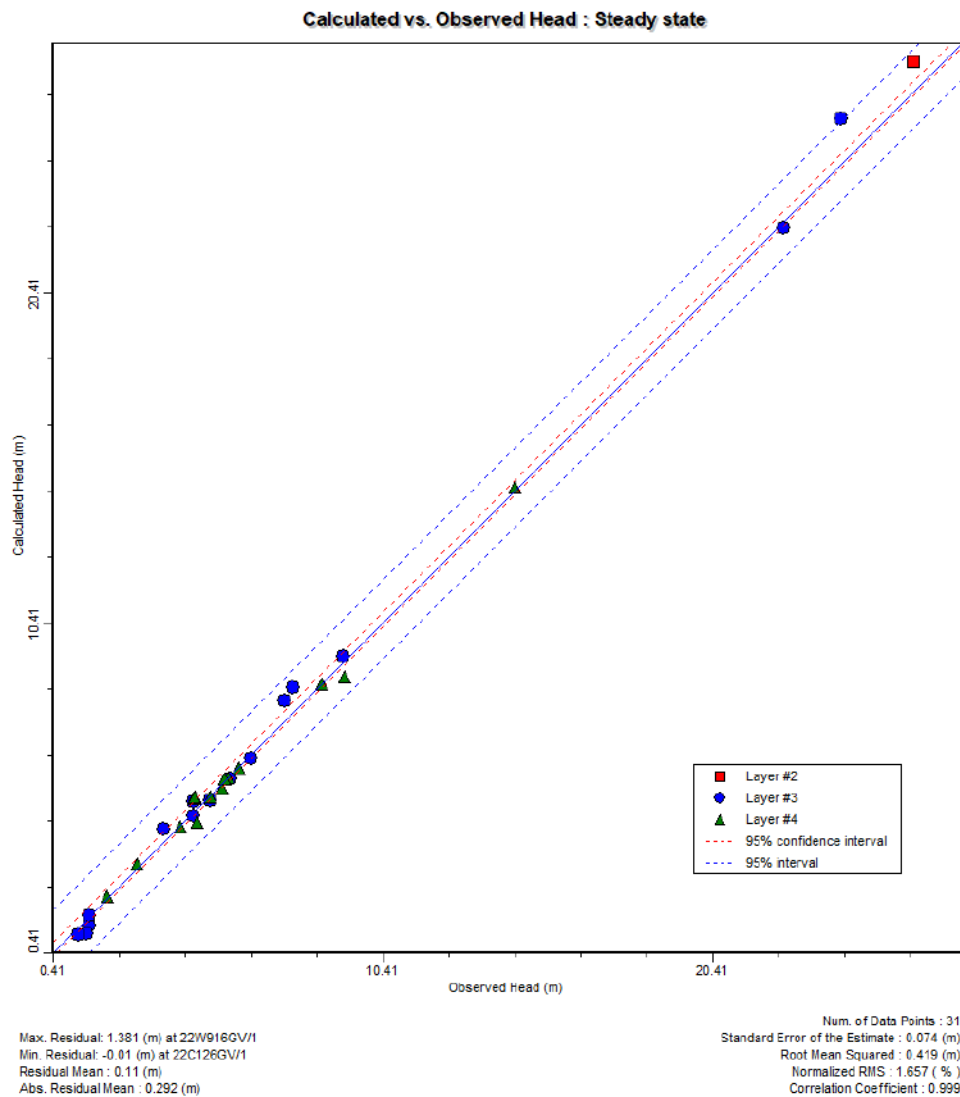
X_{calc}	=	Den beräknade grundvattennivån i modellen
X_{obs}	=	Den utvärderade medelgrundvattennivån i respektive mätpunkt

Utvärderade nivåer och beräknade grundvattennivåer samt avvikelsen mellan dem framgår av tabell 12.

En plottning av de utvärderade nivåer (Observed Head) och beräknade grundvattennivåer (Calculated Head) redovisas även i figur 31.

Tabell 12. Kalibreringspunkter (grundvattenrör och kärnborrhål) använda för kalibrering av grundvattenmodellen vid stationära förhållanden.

Kalibreringspunkt	Utvärderade nivåer [RH2000]			Beräknad nivå [RH2000]	Avvikelse (R _i) beräknad/medel
	Medel	Min	Max		
22C126GV	8,6	8,2	8,8	8,6	0,0
22W913GV	14,4	13,5	15,1	14,5	+0,1
22W914GV	9,2	8,9	9,6	9,4	+0,2
22W915GV	7,4	7,3	7,6	8,0	+0,6
22W810GV	6,4	6,2	6,6	6,3	-0,1
22W816GV	5,8	5,5	6,1	5,7	-0,1
22W933GV	9,3	8,7	9,7	8,8	-0,5
22W835GV	4,7	4,4	4,9	4,6	-0,1
22W838GV	4,7	3,7	6,5	5,0	+0,3
22W848GV	1,5	0,7	2,2	1,2	-0,3
22W867GV	3,8	3,6	4,0	4,2	+0,4
22W869GV	5,2	4,6	5,5	5,0	-0,1
22W917GV	7,7	6,6	9,6	8,4	+0,8
22W879GV	2,1	1,4	2,7	2,1	0,0
22W861GV	1,4	1,4	1,4	1,0	-0,5
22W873GV	1,5	0,9	2,2	1,5	0,0
22W920GV	1,2	0,5	1,9	0,9	-0,2
22W912GV	26,5	25,6	26,8	27,4	+1,0
22W916GV	24,3	23,6	24,5	25,7	+1,4
22W918GV	22,6	21,8	22,9	22,3	-0,2
KBH801	3,0	2,6	3,6	3,1	+0,1
KBH802	4,2	3,8	4,8	4,2	0,0
KBH803	4,8	4,6	4,9	5,1	+0,3
KBH804	4,7	4,5	5,0	5,1	+0,4
KBH805	4,7	4,4	5,0	5,1	+0,4
KBH806	5,2	4,7	5,8	5,1	-0,1
KBH807	5,5	5,2	5,9	5,4	-0,1
KBH809	4,8	4,5	4,9	4,4	-0,4
KBH810	5,7	5,5	6,2	5,7	0,0
KBH811	6,1	5,9	6,3	6,0	-0,1
KBH812	5,6	5,3	5,9	5,7	+0,1



Figur 31. Kalibreringsresultat för grundvattenmodellen vid stationära förhållanden. Grafen visar en plottning av de utvärderade nivåer (Observed Head) mot beräknade grundvattennivåer (Calculated Head).

Kalibreringsresultatet i figur 31 visar på att en god överensstämmelse uppnåtts, med en normaliserad kvadratrots medelavvikelse (Normalised RMS, NRMSE) på ca 1,7%. 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 de beräknade medelvärdena för respektive grundvattenrör/borrhål inom ett relativt stort geografiskt område sannolikt inte inträffar vid samma tidpunkt. Det är alltså inte realistiskt att eftersträva en perfekt passning (NRMSE = 0%) då detta kan leda till 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 <4% kan generellt anses som bra.

Den största avvikelsen ses i grundvattenrör 22W916GV, där den simulerade medelgrundvattennivån är ca 1,4 meter högre än den utvärderade medelgrundvattennivån. Grundvattenröret är beläget relativt långt ifrån läget för ny sluss. Områdets geologi är här troligen inte så väl representerad i modellen, vilket bedöms förklara resultatet (se vidare i avsnittet nedan). I anslutning till nya slussläget är den generella differensen mellan simulerade och utvärderade medelgrundvattennivåer i grundvattenrör $\pm 0,3$ m och i kärnborrhål $\pm 0,4$ m.

Avvikelse mellan simulerade och uppmätta medelgrundvattennivåer kan bero på att uppmätta trycknivåer representerar ett mot spricktransmissiviteten viktat medelvärde av olika grundvattentryck i de sprickor som har kontakt med borrhålet och att det inte går att veta vilken trycknivå för kalibrering som ska ansättas vid respektive mätpunkt. Vidare utgör grundvattenmodellens beräknade grundvattentrycknivå en centrpunkt i ett beräkningslager, vilken inte med nödvändighet behöver representera det viktade medelvärdet för grundvattentrycknivån i mätpunkten i fråga.

I figur 31 innebär Residual Mean, det residuala medelvärdet, (0,11 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 (0,292 m) anger däremot den genomsnittliga storleken på avvikelsen för datapunkterna. Ju närmare noll dessa är desto bättre är passningen.

Korrelationskoefficienten (r) är 0,999. 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 flödesmönster i den numeriska grundvattenmodellen vara rimliga och korrelera väl med bedömda flödesmönster utifrån uppmätta grundvattennivåer och upprättad konceptuell modell.

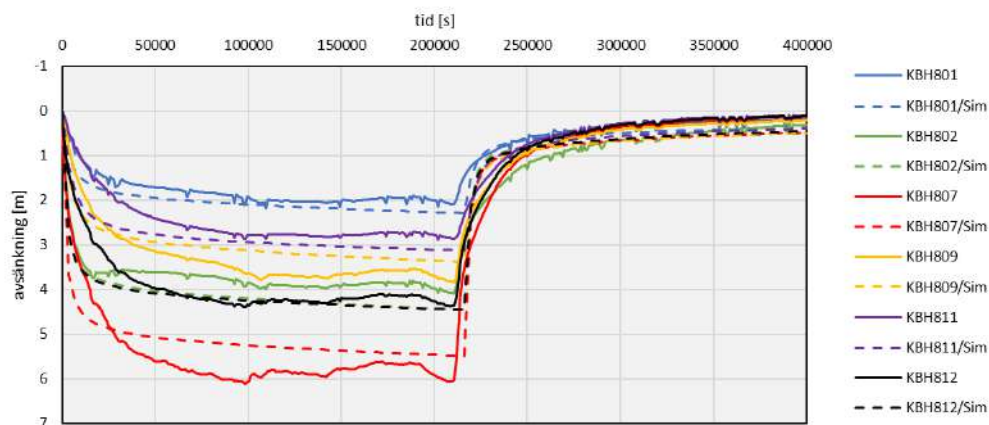
Transient kalibrering mot utförd provpumpning

Efter att modellen kalibrerades för stationära förhållanden simulerades utförd provpumpning (se *kapitel 6.2*) i grundvattenmodellen för vidare kalibrering och tolkning av hydraulisk konduktivitet i friktionsjord under lera och ytligt berg nära läget för ny sluss.

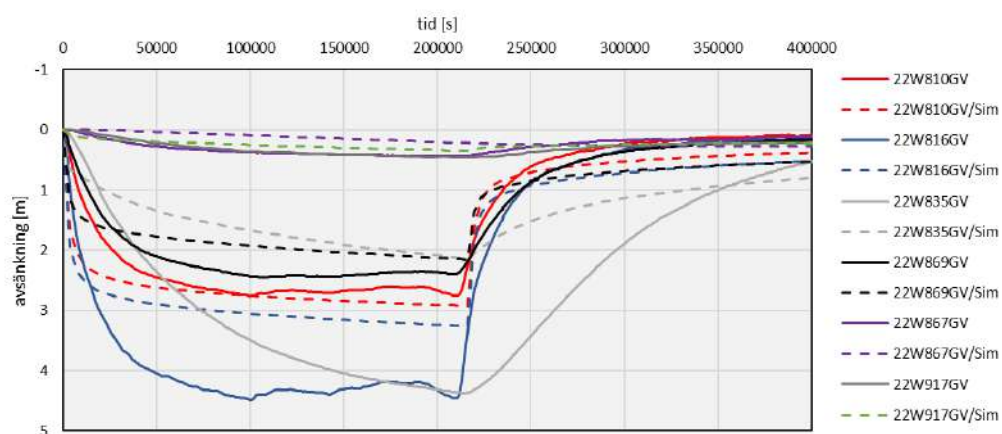
Vid simulering av en provpumpning i en numerisk grundvattenmodell i ett område med mycket komplexa hydrogeologiska förhållanden är det i första hand av vikt att uppnå en bra passning av avsänkingshastigheten samt återhämtningshastigheten. Detta för att verifiera att modellens parametrar med avseende på magasinskoefficient har en god korrelation mot uppmätta avsänkingsförlopp.

Det är även av vikt att den modellerade totala avsänkningen hamnar i ungefär samma storleksordning som den uppmätta totala avsänkningen för att ge en indikation på vattentillgången i de olika magasinerna i grundvattenmodellen kontra verkligheten.

Efter kalibrering mot utförd provpumpning har resultat erhållits enligt figur 32 och figur 33, representerat av en jämförelse mellan uppmätt respons i undre magasin respektive ytligt berg kontra simulerad dito.



Figur 32. Resultat av transient kalibrering i kärnborrhål mot provpumpning. Simulerade data med streckade linjer och uppmätta värden med heldragna.



Figur 33. Resultat av transient kalibrering i grundvattenrör mot provpumpning. Simulerade data med streckade linjer och uppmätta värden med heldragna.

Från simuleringsresultatet kan noteras att den maximala beräknade avsänkningen i kärnborrhål (vilka representerar ytligt berg) vid respektive mätpunkt avviker mellan 0,0 – 0,4 meter från uppmätt avsänkning, se figur 32. Om den beräknade avsänkningen är något mindre än den uppmätta, kan detta vara en indikation på en något för stor tillgång på vatten i berggrundvattenmagasinet i grundvattenmodellen. Likaså om den beräknade avsänkning är något större än uppmätt kan vattentillgången vara något för litet i grundvattenmodellen.

Avseende avsänkningen i undre magasin i morän, se figur 33, kan noteras att den totala avsänkningen i grundvattenrör belägna mycket nära pumpbrunnen är generellt mindre i modellen (ca 2 – 3 meter) än den uppmätta (ca 2 – 4 meter). Grundvattenrör belägna på något större avstånd från pumpbrunnen visar en total avsänkning i simuleringen med en mer liknande storleksordning jämfört uppmätt avsänkning (ca 0,1 – 1 meter).

Grundvattenrör 22W835GV visar ett avvikande avsänkingsförlopp jämte andra observationspunkter, med en fördröjd respons både i avsänkningsskedet och återhämtningsskedet. Att denna inte korrelerar med den simulerade avsänkningen kan tyda på att mycket lokala geologiska förhållanden vid grundvattenröret inte är så väl representerade i grundvattenmodellen, då modellen förutsätter en viss isotropi i egenskaperna i grundvattenmagasinet.

Simuleringsresultatet indikerar en något för stor tillgång på vatten i undre magasinet i modellen. Under kalibreringsprocessen har tillgång på vatten till undre magasin och ytligt berg funnits vara starkt kopplad till kontakten med Göta Älv, transmissiviteten i berget, och den hydrauliska konduktiviteten vid randzonen mellan jord och berg (nybildning av grundvatten). En trycksänkning i berggrundvattenmagasinet leder till en ökad gradient in från omgivande magasin i berg samt från ovanliggande magasin i jord. Detta leder i sin tur till en ökad tillströmning av grundvatten. Under kalibreringsprocessen visades även att den storskaliga hydrauliska konduktiviteten för det ytliga berget kring läge för ny sluss var signifikant lägre än först förväntad. Detta korrelerar väl med den observerade utbredningen av trycksänkningen i både jord och berg i utförd provpumpning. Zonen med högpermeabelt berg bedöms vara relativt koncentrerad runt läge för ny sluss, med viss accentuering mot väster längs med av SGU karterad deformationszon, samt norrut i förlängning med individuella vattenförande sprickor.

En möjlig förklaring till avvikelsen i total avsänkning är att kontakten med Göta älv, och därmed vattentillförseln från älven till undre magasinet i jord är överskattad, vilket dämmer avsänkningen i magasinet.

Ovannämnda komplexitet i grundvattenhydrauliken inom aktuellt område belyser vikten av transienta simuleringar för aktuellt hydrauliskt system, då antal möjliga parameteruppsättningar för likvärdig stationär kalibrering i princip är oändlig. Detta då den anisotropa och tidsberoende responsen är en direkt spegling av vattentillströmningen till magasinet, vilket är av avgörande betydelse för hur stor påverkan som kan förväntas vid en viss grundvattenbortledning.

Trots ovannämnda avvikelser i total avsänkning vid simulering av utförd provpumpning bedöms att grundvattenmodellen predikterar grundvattensystemet i sin helhet med avseende på trycknivåer för grundvatten i både jord och berg på ett tillfredsställande sätt.

8.2.9 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.

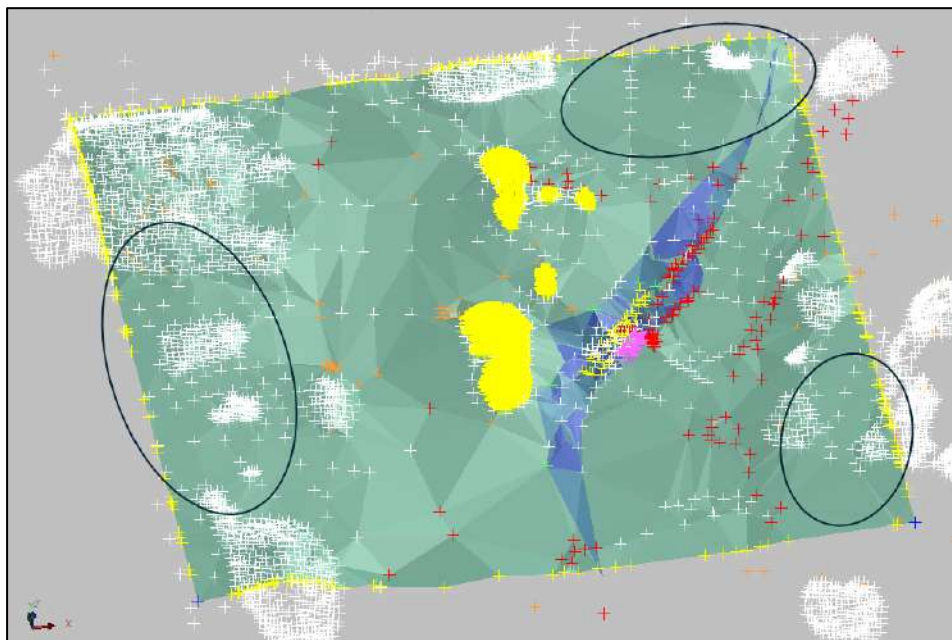
Värdena för konduktivitet är endast undersökta med hjälp av ett fåtal hydrauliska fältundersökningar utfört inom ett relativt begränsat område fokuserat kring läge för ny sluss. Antagna värden utanför de undersökta områdena kan därför avvika från verkligheten.

Avseende magasinskoefficient och vattenavgivningstal har dessa parametrar endast undersökts under modelleringsprocessen inom det område där respons från provpumpning mättes och simulerats. Värdena utanför dessa områden kan därför avvika från de antagna värden.

Under modelleringsprocessen utförs dock kontinuerliga känslighetsanalyser för att studera hur olika parametrar inverkar på simuleringsresultatet. Mot bakgrund av att grundvattenmodellen kan användas för att prediktera utvärderade medelgrundvattennivåer i både jord och berg och samtidigt simulera utförd provpumpning med tillfredställande passning bedöms att grundvattenmodellen har en tillfredställande prediktiv förmåga för aktuellt syfte.

Geometrier

Det förekommer osäkerheter i den utökade bergmodellens västra, nordöstra och sydöstra område, där ingen eller begränsat med borrhdata förekommer, se figur 34. Bergdjupen i dessa områden kan därför avvika väsentligt från verkligheten.



Figur 34. Bergmodell, vinklad vy mot NNO. Blått område motsvarar projektets bergmodell. Cirkelar markerar områden med större osäkerheter. Sprickdalarnas djup i nord-sydlig riktning är i modell generellt betydligt djupare än de som är orienterade i öst-västlig riktning, vilka till stor del saknar utförda sonderingar.

8.3 Hydrauliska gradienter

Den kumulativa förändringen i hydrauliska gradienter till följd av planerade dämmande konstruktioner och injekterad bergmassa har beräknats för området väster om den nya slusskammaren för studie av risk för markerosion.

Hydraulisk gradient beräknas enligt ekvation 3 nedan:

$$\text{hydraulisk gradient} = \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad (\text{ekv 3})$$

Där Δh är skillnaden i trycknivå mellan två beräkningspunkter och Δl är skillnaden i avståndet mellan punkterna. Avstånd i denna kontext avser längden på flödesvägen.

Tre flödesvägar har studerats:

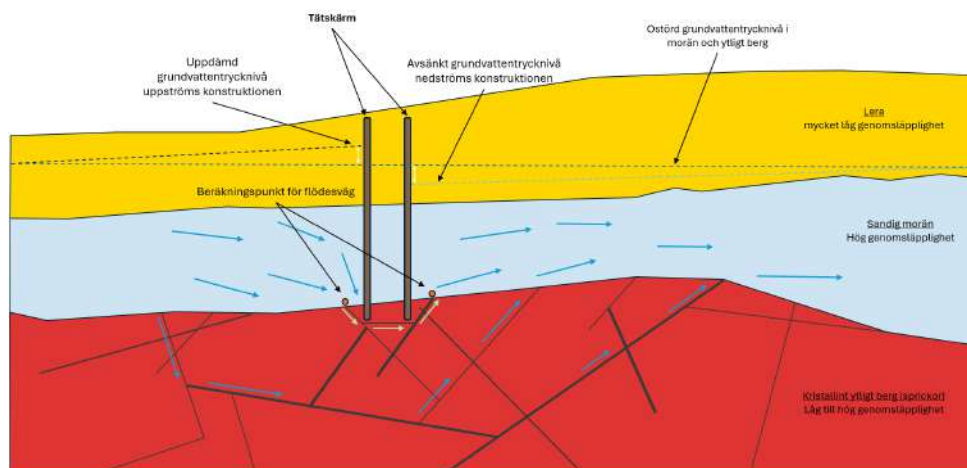
- Flödesväg 1: Från moränens underkant uppströms tätskärmen, under tätskärmen genom berget till moränens underkant nedströms tätskärmen, ca 6 meter.
- Flödesväg 2: Genom moränen nedströms tätskärmen parallellt med slusskammaren, ca 110 meter.
- Flödesväg 3: Genom moränen från slusskammarens västra hörn mot vattenytan vid justerad farled, ca 35 meter.

Flödesvägarna och de beräkningspunkter som använts för att beräkna hydrauliska gradienter redovisas i plan i figur 35.



Figur 35. Antagna flödesvägar i plan för beräkning av hydrauliska gradienter. Notera att flödesväg 1 (rött streck) avser en strömning under den dämmande konstruktionen, se även figur 36.

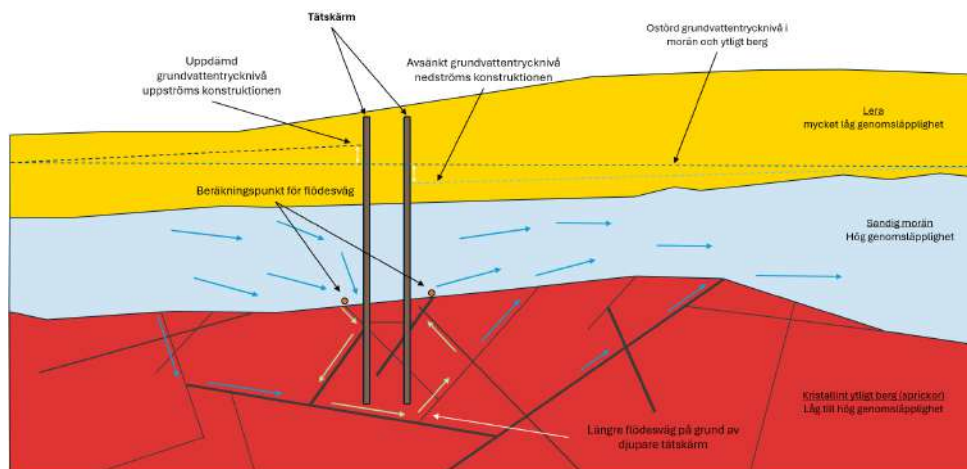
Gällande flödesväg 1 ska noteras att detta antagande förutsätter den kortaste tänkbara flödesvägen från underkanten av friktionsjorden (moränen) vid uppströms sidan av tätskärmen, runt underkanten av tätskärmen genom berget, och till underkant av moränen vid nedströms sidan av tätskärmen. Det förutsätts att berget är väldigt uppsprucket. Principskiss för flödesväg 1 framgår av figur 36.



Figur 36. Principskiss för flödesväg 1 (gröna pilar) som uppstår till följd av anläggande av dammande konstruktion (tätskärmar). Blåa pilar avser flödesriktning för grundvatten. Vattenflödet i kristallint berg sker genom spricksystem. Det ovannämnda antagandet förutsätter alltså att det finns vattenförande sprickor i direkt anslutning till tätskärmen som skapar god hydraulisk kontakt mellan moränen på ömse sidan av konstruktionen.

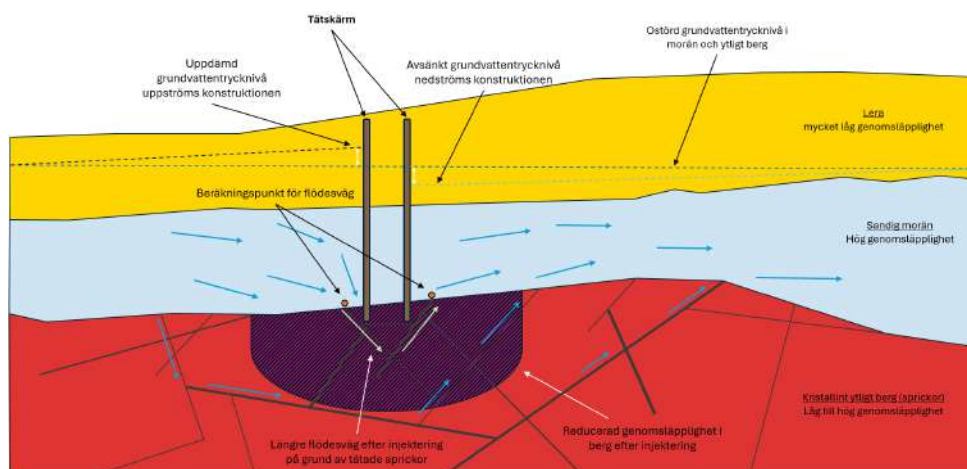
Utförd provpumpning och vattenförlustmätningar indikerar en högvattenförande zon i bergets övre skikt, sannolikt i form av en krosszon eller trasigt berg. Resultaten innebär att antagandet om en kort flödesväg i berget under spalten, se figur 36, bedöms vara ett realistiskt scenario.

Flödesvägens längd är också starkt beroende av hur djupt tätskärmen installeras ner i berget. En djupare tätskärm kan öka flödesvägens längd avsevärt, se figur 37. Principiellt kan förutsättas att för varje meter som tätskärmen drivs ner i berget ökar flödesvägen med som minst två meter.



Figur 37. Principskiss som illustrerar en längre flödesväg 1 (gröna pilar) genom berget jämfört med figur 36, till följd av djupare installerad tätskärm. Blåa pilar avser flödesriktning för grundvattenströmning.

Även injekteringsarbeten kan medföra att flödesvägens längd ökas något då vissa sprickor eller krosszoner stängs till följd av injekteringen, se figur 38. Hur stor denna effekt blir är dock inte möjligt att förutse på förhand.



Figur 38. Principskiss som illustrerar en något längre flödesväg 1 (gröna pilar) genom berget jämte figur 36 på grund av reducerad genomsläpplighet i berget som följd av injektering (tätade sprickor). Blåa pilar avser flödesriktning för grundvattenströmning.

I denna studie förutsattes att tätskärmen installeras ner till 1 meter under bergöverytan, och att avståndet mellan de två spontväggarna är 4 meter. Antagna parametrar för beräkning av hydraulisk gradient mellan beräkningspunkterna framgår av tabell 13.

Tabell 13. Antagna parametrar för beräkning av hydraulisk gradient mellan beräkningspunkterna (se figur 35).

	Grundvattenyttrycksnivå dagsläget [möh]	Grundvattenyttrycksnivå driftskede med tätskärm [möh]	Avstånd från föregående punkt (flödesväg) [m]
Punkt 1	+5,5	+5,9	-
Punkt 2	+5,3	+5,0	6
Punkt 3	+4,0	+3,0	110
Punkt 4	+3,2	+0,8	35

9 Resultat

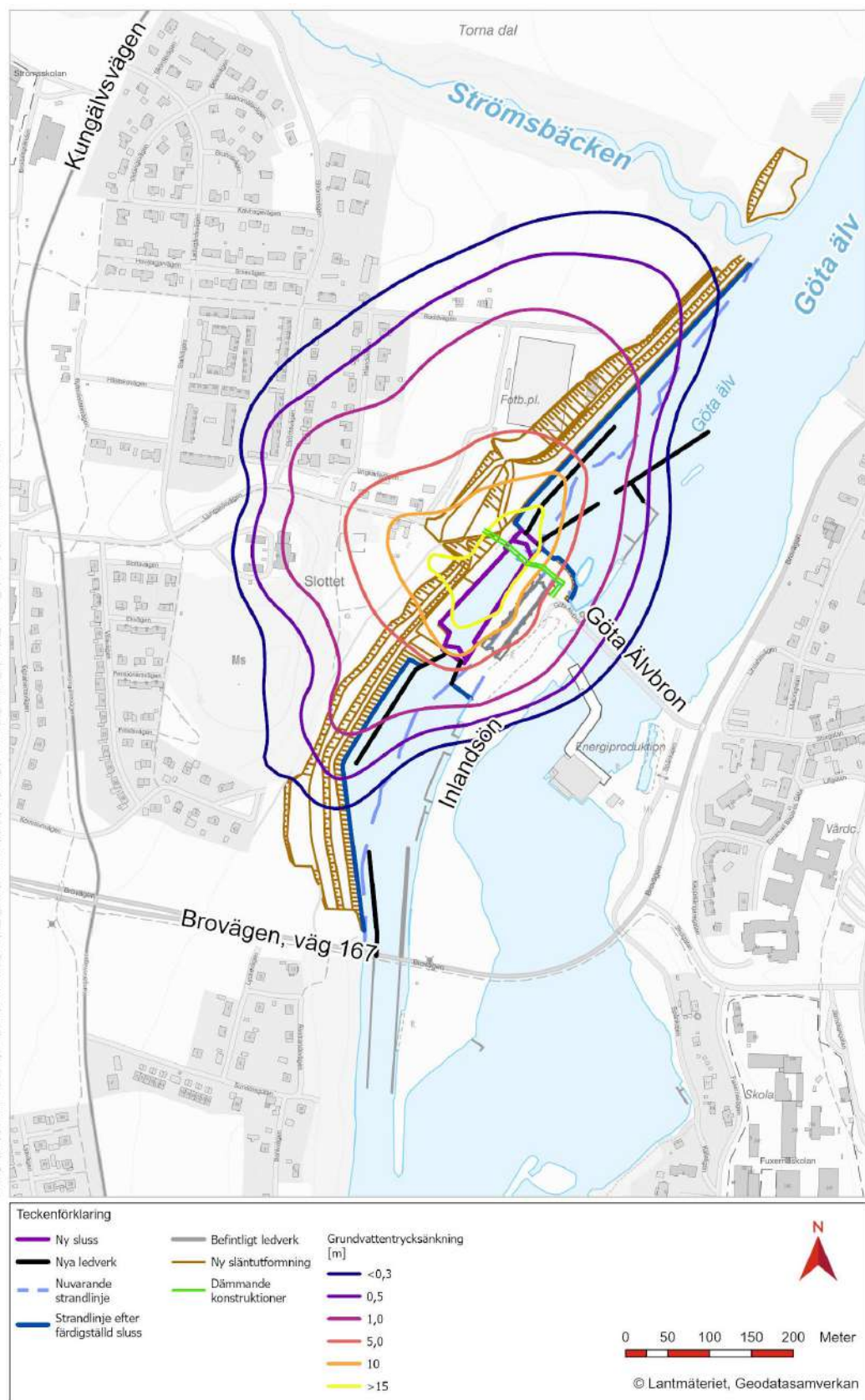
9.1 Grundvattennivåförändringar

9.1.1 Anläggningsskede

Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen vid anläggande av ny sluss och övriga planerade anläggningar i anläggningsskedet framgår av tabell 14 och figur 39. Maximal avsänkning i anläggningsskedet, ca 15 – 20 meter, sker i direkt anslutning till planerat läge för ny sluss, varefter avsänkningen snabbt avtar med ökat avstånd från området där grundvattenbortledningen sker.

Tabell 14. Beräknad omfattning på grundvattensänkningen i anläggningsskedet

Ungefärligt avstånd från schakt för ny sluss [m]	Grundvattensänkning under anläggningsskede [m]
0 – 50	15 – 20
120	10
180	5
260	1
350	0,5
400	0,3



Figur 39. Utbredning av beräknad grundvattensänkning för anläggningsskede.

9.1.2 Driftskede

Beräknad omfattning och utbredning av grundvattensänkningen i driftskede framgår av tabell 15 och figur 40. Maximal avsänkning, ca 2 meter, sker i direkt anslutning till den nya älvstranden som följd av justerad farledssträckning. Avsänkningen avtar snabbt med ökat avstånd från området där den passiva grundvattenbortledningen sker (läckage av grundvatten ut till älven).

Tabell 15. Beräknad omfattning på grundvattensänkningen i driftskedet

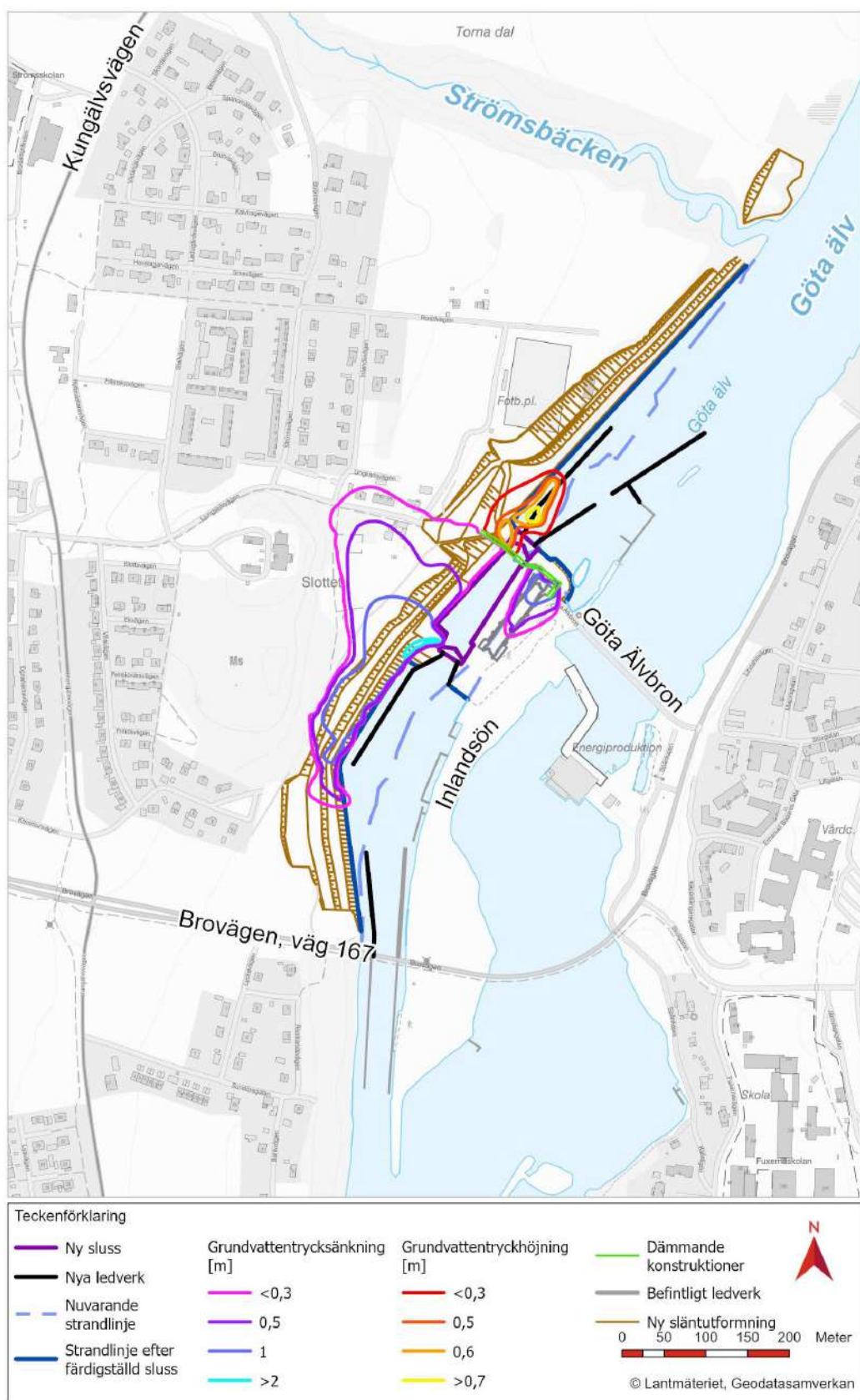
Ungefärligt avstånd från ny strandlinje [m]	Grundvattensänkning under driftskede [m]
0 – 30	2
80	1
175	0,5
215	0,3

I driftskede kan det uppstå en höjning av grundvattentrycknivån. Denna höjning uppstår dels till följd av tätning av berget som utförs vid anläggande av den nya slussen, dels vid omarbetning av angränsande vatten- och dammanläggningar. Tryckhöjningar kan ske inom ett område uppströms från dessa anläggningar.

Beräknad omfattning på grundvattenhöjning i driftskede framgår av tabell 16 och figur 40. Maximal tryckhöjning (uppdämning), ca 0,7 meter, sker direkt uppströms från den dämmande konstruktionen. Tryckhöjningen avtar snabbt med ökat avstånd från konstruktionen.

Tabell 16. Beräknad omfattning på grundvattenhöjningen i driftskedet

Ungefärligt avstånd från dämmande konstruktion [m]	Grundvattenhöjning under driftskede [m]
0 – 60	0,7
90	0,6
100	0,5
110	0,3



Figur 40. Utbredning av beräknad grundvattensänkning samt grundvattentryckshöjning (uppdämning) i driftskede.

9.2 Påverkansområde

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

Storleken på en grundvattennivåförändring styrs av ett flertal olika faktorer, bland annat grundvattennivån, nybildning av grundvatten, förekommande jordlager och deras mäktighet, sammansättning och täthet, jorddjup, topografi samt grundvattenbortledningens flöde och konstruktionens täthet. 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 urgrävd och att maximal grundvattensänkning sker.

Grundvattennivåförändringens storlek illustreras som avsänkning eller höjning gentemot ostörda grundvattenförhållanden. De ostörda grundvattenförhållandena utgör ett medelvärde beräknat på hittills uppmätta grundvattennivåer eller grundvattentrycknivåer i respektive mätpunkt.

Den grundvattensänkning som uppstår till följd av grundvattenbortledning medför att grundvattennivån eller grundvattentrycknivån sjunker i området runt där grundvattenbortledningen utförs. För en grundvattenhöjning till följd av en uppdämning vid spontkonstruktion eller injekterad jord eller bergmassa höjs i stället grundvattennivån eller grundvattentrycknivån. Det område där grundvattennivån eller grundvattentrycknivån förändras mer än 0,0 meter jämfört med ostörda 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 tillgänglig 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 kopplat till hur mätning av grundvattennivå utförs, där olika mätutrustning kan ge olika mätnoggrannhet.

I tillståndsprocesser används ofta 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 grundvattennivå, 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. Om 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 borrhälsbrunnar som utgör objekt som kan påverkas av en nivåförändring. Dessa kan generellt omfattas av relativt större 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 den dämmande konstruktionen. Enligt utförd naturvärdesinventering (Naturcentrum AB, 2022) saknas det grundvattenberoende ekosystem i området. Det finns enskilda brunnar både i berg och jord, 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 sättningsskänkliga jordarter. För dessa har beräkningar utförts av sättningens storlek, där resultatet visar att sättningen blir minimal för de ledningar och hus som inte ska rivas (WSP, 2024a).

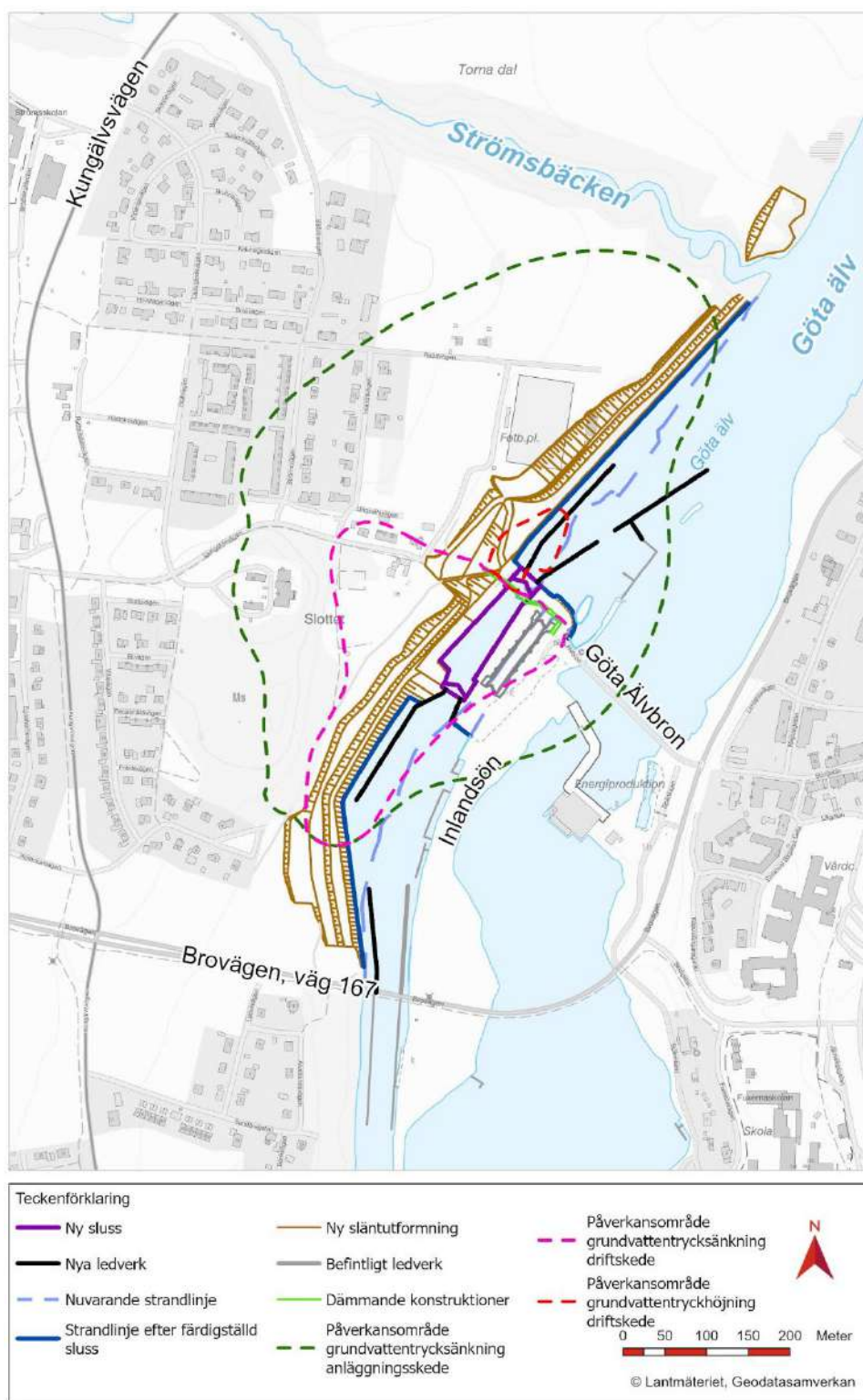
Baserat på inventeringen av objekten har det bedömts att det är de enskilda grävda brunnarna som är de känsligaste objekten. Då de oftast har en mindre tillgänglig vattenpelare kan en även en mindre avsänkning medföra en negativ påverkan för dem.

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. Eftersom det är de grävda brunnarna som bedöms vara de känsligaste objekten har det lägre värdet, 0,3 meter avsänkning, valts för att avgränsa påverkansområdet för grundvattensänkning.

En höjning av grundvattentrycknivå på 0,3 meter har använts för att avgränsa påverkansområdet för grundvattenhöjning.

För berg är det de borrhälsbrunnarna som utgör de känsliga objekten. De har en stor tillgänglig vattenpelare där en relativt stor avsänkning av vattennivån inte ger någon negativ påverkan. I berg bedöms det därför vara möjligt att använda det högre värdet, 1,0 m avsänkning. Däremot har det lägre värdet, 0,3 meter avsänkning, valts även för berg för att förenkla resonemang som förs i tillståndsansökans övriga delar.

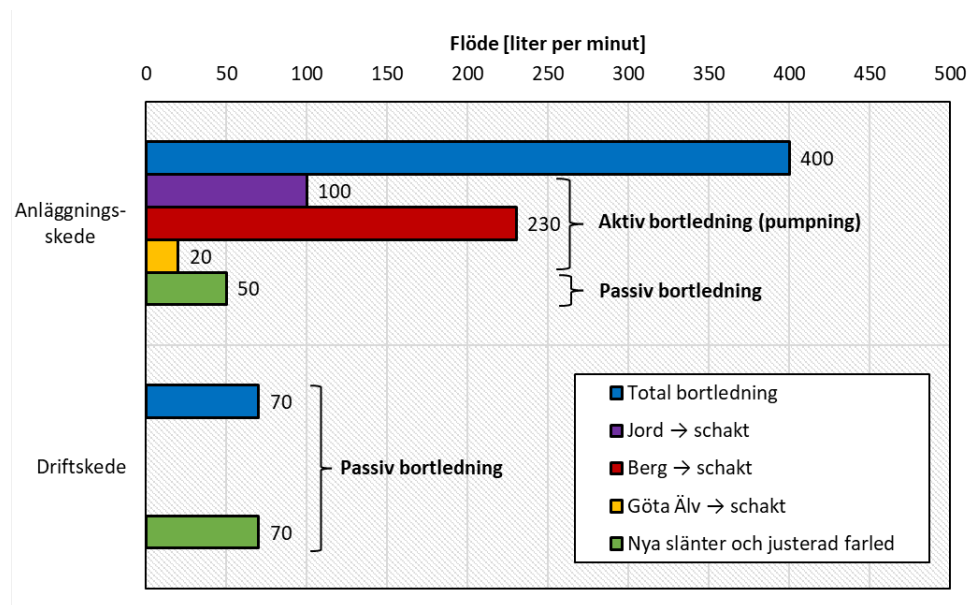
Påverkansområde för anläggningsskede respektive driftskede, avgränsat som 0,3 meter förändring (avsänkning eller höjning) av grundvattennivå eller grundvattentrycknivå jämfört med opåverkade medelgrundvattennivåer, framgår av figur 41.



Figur 41. Påverkansområden för grundvattentryckförändringar för anläggningsskede respektive driftskede.

9.3 Grund- och ytvattenbortledning

Mängden vattenbortledning har beräknats för anläggningsskede och driftskede. Beräkningen av grundvattenbortledning har utförts med samma grundvattenmodell som använts för att beräkna påverkansområdet, inkluderande inverkan av tätspont och injektering, och utgör ett konservativt resultat enligt gängse metodik för beräkning av grundvattenpåverkan. Beräknade mängder vattenbortledning för anläggningsskede och driftskede redovisas i figur 42 både som total volym och uppdelat på de olika delflödena för respektive skede. Nederbörd som faller över schakten och eventuellt processvatten ingår inte i volymerna, eftersom det inte går att beräkna med en grundvattenmodell.



Figur 42. Beräknade mängder vattenbortledning för anläggningsskede och driftskede. Anläggningsskede avser aktiv bortledning genom pumpning av inläckande vatten till schakten för ny sluss för de tre komponenterna; jord, berg och ytvatten (Göta Älv), samt mängden passiv bortledning från nya slänter och justerad farled. I driftskedet sker det enbart passiv bortledning av vatten som avrinner till Göta älv till följd av nya slänter och justerad farled.

9.3.1 Anläggningsskede

Mängden vattenbortledning under anläggningsskede avser grundvattnet som leds bort från områden med nya slänter och den justerade sträckningen av farleden, samt läns hållning av inläckage till schakt för ny sluss. Inläckage till schakt har delats in i tre komponenter baserat på var inläckaget kommer från:

- Grundvatten från jordlager avser inläckage huvudsakligen från moränen, men även från fyllnadsmassor, lera, och bottensediment under Göta älv;
- Grundvatten från berg omfattar inläckage från berg under och runt schakt;
- Ytvatten (Göta älv) omfattar inläckage från vattenvolymen i älven mot tätsponden vid respektive slushuvud

För anläggningsskedet beräknas mängden vattenbortledning uppgå till ca 580 m³/d (400 l/min), varav cirka 100 liter per minut kommer från jordlagren, cirka 210 liter per minut kommer från berggrunden och cirka 40 liter per minut kommer från Göta Älv. Cirka 50 liter per minut läcker passivt ut till Göta älv till följd av att den justerade farleden är belägen längre västerut än den befintliga farleden.

9.3.2 Driftskede

Storleken på den passiva grundvattenbortledningen för driftskedet avser grundvatten läcker ut till älven vid den justerade farledssträckningen och från de nya slänterna på västra älvstranden.

För driftskedet beräknas denna volym uppgå till ca 100 m³/d (70 l/min).

Flöde från nya slänter och justerad farled skiljer sig mellan anläggningsskede och driftskede till följd av att delar av flödet länshålls via schakt för ny sluss under anläggningsskedet. Volymen för den passiva bortledningen är större i driftskedet än i anläggningsskedet, vilket beror på att en del av den passiva bortledningen i anläggningsskedet länshålls via schakt för ny sluss i anläggningsskedet. I driftskedet läcker den delen i stället ut till älven.

9.4 Förändrade hydrauliska gradienter

Flödesvägarna har studerats både för dagens situation och för driftskede med installerat tätskärm ner till 1 meter under bergöverytan. Resultaten från beräkningen av de hydrauliska gradienterna för de tre flödesvägarna framgår av tabell 17.

Tabell 17. Beräknade hydrauliska gradienter.

	Hydraulisk gradient Dagsläget	Hydraulisk gradient Driftskede med tätskärm
Flödesväg 1 (Punkt 1 – Punkt 2)	0,03	0,15
Flödesväg 2 (Punkt 2 – Punkt 3)	0,01	0,02
Flödesväg 3 (Punkt 3 – Punkt 4)	0,02	0,06

Från resultaten kan konstateras att den hydrauliska gradienten ökar för respektive studerade flödesväg. Mellan punkterna uppströms respektive nedströms den dämmande konstruktionen (flödesväg 1) förändras gradienten från 0,03 till 0,15. För området parallellt med den nya slusskammaren (flödesväg 2) förändras gradienten från 0,01 till 0,02. För stråket mellan slusskammarens västra hörn mot vattenytan vid justerad farled (flödesväg 3) förändras denna från 0,02 till 0,06.

10 Motstående intressen

Allmänna och enskilda intressen som eventuellt kan riskera att påverkas negativt av en grundvattennivåförändring är normalt 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 43:

- Grävda och borrade brunnar
- Biotoper med naturvärden
- Byggnader och anläggningar på sättningskänslig mark

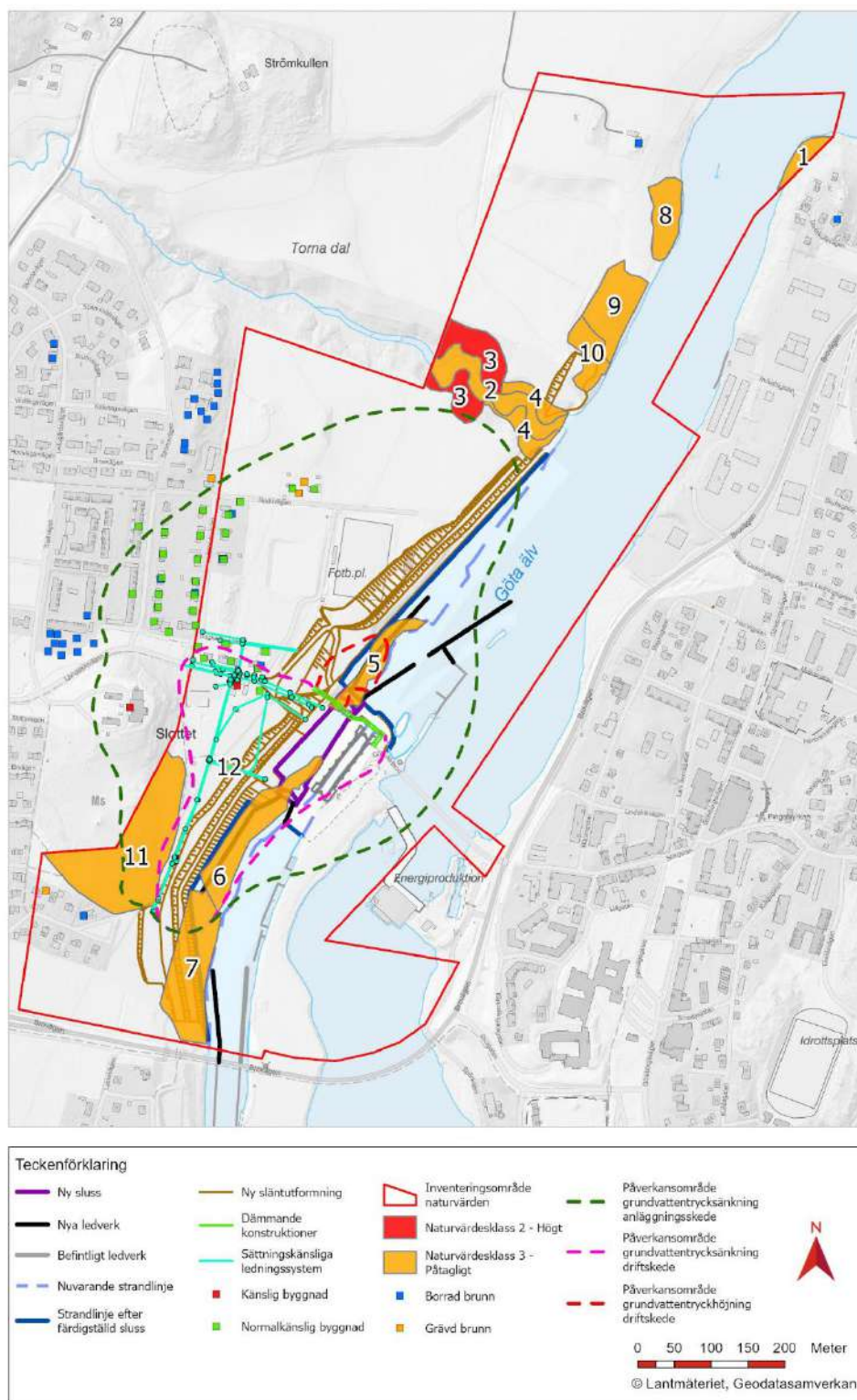
10.1 Enskilda brunnar

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 område. I nästa steg utfördes en fysisk inventering av de brunnar där det bedömdes vara möjligt att mäta grundvattennivå.

Samtliga identifierade brunnar redovisas i figur 43.

I anläggningsskedet omfattas sju enskilda brunnar av påverkansområde för grundvattensänkning. Fyra av brunnarna är borrade ner i berggrunden och används som energibrunnar, en brunn är borrad ner i berggrunden och har okänd användning, två brunnar är grävda, det vill säga anlagda i jord, och används för dricksvatten och/eller bevattning.

I driftskedet omfattas en enskild brunn av påverkansområde för grundvattensänkning.



Figur 43. Identifierade motstående intressen som eventuellt riskerar att påverkas av en grundvattennivåförändring.

10.2 Naturvärden

Enligt naturvärdesinventering som utförts av Naturcentrum AB under 2021 och 2022 har ett antal biotoper av skog, träd och vatten med naturvärden identifierats (Naturcentrum AB, 2022), se figur 43. Majoriteten av områdena med naturvärden är belägna intill Göta älv eller Strömsbäcken. Objekt ID 11 och 12 hänger samman med Ströms slottspark och är således belägna topografiskt högre och på längre avstånd från Göta älv.

De naturvärden som helt eller delvis omfattas av beräknade påverkansområden för anläggningsskede och driftskede, är objekt ID 5, 6, 7, 11 och 12. Samtliga naturvärden har naturvärdesklass 3. Naturområdena närmast älven, objekt ID 5, 6 och 7 kommer försvinna i och med anläggandet av den nya slussen och släntutformningen för den justerade farleden.

Objekt ID 12 utgörs av en anlagd damm i Ströms slottspark medan de övriga objekten utgörs av olika typer av trädmiljöer med gamla och grova träd samt död ved. Den nordöstra delen av Ströms slottspark är belägen inom påverkansområde för anläggningsskedet men utanför inventeringsområdet för utförd naturvärdesinventering. Detta område bedöms dock vara likvärdigt med objekt ID 11, det vill säga i huvudsak ädellövträd med naturvärdesklass 3.

I den anlagda dammen i Ströms slottspark, Objekt ID 12, har det identifierats salamandrar och grodor.

10.3 Sättningskänsliga objekt

I området väster om Göta älv finns objekt i form av byggnader och ledningsnät som enligt tillgängligt underlag och utförda undersökningar ställvis är grundlagda på lera, en jordart som generellt klassas som sättningskänslig.

Byggnader som befinner sig inom påverkansområdet för grundvattensänkning kan påverkas av sättningar i lerlagret. Byggnaderna utgörs av bostadshus, komplementbyggnader samt en lokal som innehåller en pizzeria. En av byggnaderna har bedömts vara kulturhistoriskt värdefull. De byggnader som befinner sig inom påverkansområdet har synats med avseende på bland annat grundläggning, med undantag för byggnader som löses in och rivs i anläggningsskedet, se figur 43. Byggnaderna är enligt utförd syn grundlagda med platta på mark, på betongplintar, mur/kallmur med eventuell trärust, krypgrund eller timmer mot makadam. Samtliga dessa grundläggningar vilar på lera. Ströms slott skiljer sig mot övriga byggnader och är grundlagt på kallmur på berg.

Befintliga ledningar i området har inventerats. Alla ledningar som ligger inom arbetsområdet på den västra älvstranden blir påverkade av byggnationen, vilket inkluderar Sjöfartsverkets serviser samt kommunala distributionsledningar och serviser till fastigheter. Dessa ledningar kommer läggas om eller rivas. Utanför arbetsområdet finns inom påverkansområde för grundvatten befintliga ledningar som fortsatt kommer vara i drift under och efter anläggningsskedet. Ledningarna utgörs av vatten- och VA-ledningar samt el- och telekablar, framför allt i Ljungskilevägen och norrut samt inom Slottsparken. För dessa ledningar finns en risk för påverkan till följd av sättningar i leran.

11 Bedömda konsekvenser

11.1 Enskilda brunnar

11.1.1 Anläggningsskede

Avsänkningen av grundvattennivåerna i grundvattenmagasinet kan innebära att de enskilda brunnarna får försämrade magasinshållande förmåga eller förändrad vattenkvalitet under den tid som avsänkningen pågår.

I anläggningsskedet omfattas sju enskilda brunnar av påverkansområdet för grundvattensänkning, se Figur 43 och Tabell 18.

Tabell 18. Information om de identifierade enskilda brunnar som omfattas av beräknat påverkansområde för grundvatten under anläggningsskedet.

Fastighet	Brunns- typ	Använd- ning	Tillgänglig vattenpelare	Tillgänglig vattenpelare vid grundvattensänkning
Ström 2:23	Grävd	Bevattning	ca 3,5 m	ca 2,5 m
Ström 2:24	Grävd	Dricksvatten, bevattning	ca 3,5 m	ca 2,5 m
Ström 2:35	Borrad	Energibrunn	ca 146 m	ca 145 m
Ström 2:37	Borrad	Energibrunn	ca 119 m	ca 118 m
Ström 2:44	Borrad	Okänd	ca 179 m	ca 178 m
Ström 2:47	Borrad	Energibrunn	ca 129 m	ca 127 m
Ström 2:8	Borrad	Energibrunn	ca 192 m	ca 183 m

Energibrunnen på fastigheten Ström 2:8 är belägen närmst ny sluss. Brunnen är cirka 200 m djup och har en tillgänglig vattenpelare på cirka 192 meter. Vid brunnen bedöms grundvattensänkningen i anläggningsskedet bli cirka 9 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 183 meter. Den kvarvarande vattenpelaren i brunnen är stor och borrhålet är relativt nytt, från 2015, vilket bedöms göra att eventuell effektminskning i borrhålet inte medför att den uttagbara energin från borrhålet är för liten för att värma fastigheten.

Energibrunnen på fastigheten Ström 2:47 är belägen ca 230 meter nordväst om ny sluss. Brunnen är cirka 130 meter djup och har en tillgänglig vattenpelare på cirka 129 meter. Vid brunnen bedöms grundvattensänkningen bli cirka 2 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 127 meter. Minskningen av den tillgängliga vattenpelare bedöms vara obetydlig, vilket gör att det inte förväntas uppstå någon effektminskning i borrhålet.

Energibrunnen på fastigheten Ström 2:35 är belägen ca 230 meter nordväst om ny sluss. Brunnen är cirka 148 meter djup och har en tillgänglig vattenpelare på cirka 146 meter i brunnen. Vid brunnen bedöms grundvattensänkningen bli cirka 1 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 145 meter. Minskningen av den tillgängliga vattenpelare bedöms vara obetydlig, vilket gör att det inte förväntas uppstå någon effektminskning i borrhålet.

Energibrunnen på fastigheten Ström 2:37 är belägen ca 280 meter nordväst om ny sluss. Brunnen är cirka 121 meter djup och har en tillgänglig vattenpelare på cirka 119 meter i brunnen. Vid brunnen bedöms grundvattensänkningen bli cirka 1 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 118 meter. Minskningen av den tillgängliga vattenpelare bedöms vara obetydlig, vilket gör att det inte förväntas uppstå någon effektminskning i borrhålet.

Den borrhade brunnen på fastigheten Ström 2:44 är belägen ca 275 meter nordväst från ny sluss. Brunnens användningsområde är okänt. Brunnen är cirka 180 meter djup och har en tillgänglig vattenpelare på 179 meter. Vid brunnen bedöms grundvattensänkningen bli cirka 1 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 178 meter.

Den grävda brunnen på fastigheten Ström 2:23 används för bevattning och är belägen cirka 290 meter norr om ny sluss. Brunnen är cirka 5 meter djup och den tillgängliga vattenpelaren är cirka 3,5 meter. Vid brunnen bedöms grundvattensänkningen bli cirka 1 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 2,5 meter. Grundvattensänkningen i brunnen motsvarar cirka 30 % av den tillgängliga vattenpelaren. Brunnen används för vattenuttag i grundvattenmagasinet i moränen i området, vilket bedömts vara genomsläppligt. Tillrinningen av grundvatten in till brunnen vid användning bedöms därmed vara god. Även om tillgänglig vattenpelare är mindre så bedöms den goda tillrinningen göra att vattenuttaget för normal husbehovsbevattning fortfarande kan utföras. Vid grundvattensänkning kan förändringar i redoxförhållanden innebära att metaller, huvudsakligen järn och mangan, kan falla ut i brunnen. Eftersom grundvattenmagasinet som den grävda brunnen är installerad i är ganska genomsläppligt bedöms känsligheten för att redoxförhållandena ska förändras i större utsträckning vara låg, även om det kan förekomma utfällning av järn och mangan tillfälligt vid stort uttag ur brunnen. För normal husbehovsbevattning bedöms risken för utfällning vara liten.

Den grävda brunnen på fastigheten Ström 2:24 används för bevattning och dricksvatten och är belägen cirka 280 meter norr om ny sluss. Brunnen är cirka 6 meter djup och den tillgängliga vattenpelaren är cirka 3,5 meter. Vid brunnen bedöms grundvattensänkningen bli cirka 1 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 2,5 meter. Grundvattensänkningen i brunnen motsvarar cirka 30 % av den tillgängliga vattenpelaren. Brunnen används för vattenuttag i grundvattenmagasinet i moränen i området, vilket bedömts vara genomsläppligt. Tillrinningen av grundvatten in till brunnen vid användning bedöms därmed vara god. Även om tillgänglig vattenpelare är mindre så bedöms den goda tillrinningen göra att vattenuttaget för normalt husbehov fortfarande kan utföras. Vid grundvattensänkning kan förändringar i redoxförhållanden innebära att metaller, huvudsakligen järn och mangan, kan falla ut i brunnen. Eftersom grundvattenmagasinet som den grävda brunnen är installerad i är ganska genomsläppligt bedöms känsligheten för att redoxförhållandena ska förändras i större utsträckning vara låg, även om det kan förekomma utfällning av järn och mangan tillfälligt vid stort uttag ur brunnen. För normalt husbehovsuttag bedöms risken för utfällning vara liten.

11.1.2 Driftskede

I driftskedet omfattas enbart den borrhålets energibrunnen på fastigheten Ström 2:8 av grundvattenssänkning, se Figur 43.

Vid brunnen bedöms grundvattenssänkningen i driftskedet bli cirka 5 meter, vilket ger en kvarvarande tillgänglig vattenpelare på cirka 187 meter. Den kvarvarande vattenpelaren i brunnen är stor och borrhålet är relativt nytt, från 2015, vilket bedöms göra att eventuell effektminskning i borrhålet inte ska medföra att den uttagbara energin från borrhålet ger problem att värma fastigheten.

11.2 Naturvärden

Den naturvärdesinventering som har utförts har visat att det inte förekommer några grundvattenberoende ekosystem inom påverkansområdet för grundvatten (Naturcentrum AB, 2022).

Grundvattentrycknivån i skogsområdet i Ströms slottspark, vid naturvärdesobjekt 11, bedöms naturligt stå långt under markvattenzonen där trädens rötter hämtar sitt vatten. Det indikerar att området inte är grundvattenberoende utan det marknära och växttillgängliga vattnet bedöms främst vara beroende av tillförsel av nederbörd. Den typen av bokskog som finns inom påverkansområdet för anläggningsskede på bergshöjden vid Ströms slott är normalt inte heller grundvattenberoende. Vidare bedöms grundvattentrycknivån i bergshöjden befinna sig nere i berget och därmed inte vara tillgängligt för trädens rötter. Dessa naturvärden bedöms därmed inte riskera att påverkas av en sänkning av grundvattentrycknivån.

I ett mindre anlagt småvatten, naturvärdesobjekt 12, i Ströms slottspark har det identifierats salamandrar och grodor. Småvattnet har bedömts ha ett påtagligt naturvärde. Det är i nuläget troligt att småvattnet kommer försvinna i samband med anläggandet av nya slussområdet med ny släntutformning, och ett nytt småvatten planeras anläggas som skyddsåtgärd. I händelse av att småvattnet kan lämnas vara kvar bedöms småvattnet ändå inte ha kontakt med grundvattnet i moränlagret, då den är ytligt grävd i de leriga jordlagren ovan moränen samt anlagd med tät duk. Småvattnet bedöms vara uttorkningskänslig och starkt ytvattenberoende och riskerar därmed inte att påverkas negativt av eventuell grundvattennivåförändring.

11.3 Sättningskänsliga objekt

Sättningar kan utbildas av flera olika orsaker, exempelvis vid en grundvattennivåsänkning. En sänkning av grundvattentrycknivån kan ske både i övre och undre grundvattenmagasin, där det i undre magasin motsvarar en sänkning av trycknivån under det lågpermeabla ovanliggande jordlagret. För anläggandet av ny sluss bedöms effekten bli en grundvattentrycksänkning i undre grundvattenmagasin, det vill säga i moränen, som vidareutbildas till ovanliggande lerlager och orsakar marksättningar.

Marksättningarna har beräknats uppgå till mellan 0 och 3 centimeter i området kring Ljungskilevägen och norrut samt till mellan 0 och 6 centimeter i området söder om Ljungskilevägen inom Slottsparken (WSP, 2024a). Sättningarna beräknas generellt vara som störst nära den nya slussen för att med lerans minskande mäktighet och avstånd till slussen avta av mot noll i nordväst. De

beräknade sättningarnas storlek varierar dock lokalt, främst på grund av lerlagrets varierande tjocklek. Sättningar i lera sker inte momentant utan kräver en viss tid för att utbildas. De beräknade sättningarna på grund av grundvattentrycksänkning bedöms ha utbildats inom ca 1 - 3 år (det vill säga under anläggningsskedet) och kommer att vara bestående.

De objekt som är grundlagda på lera där sättningar beräknas ske utgörs av byggnader samt ledningsnät, se Figur 43.

Byggnadernas känslighet för sättning har bedömts och klassificerats utifrån både grundläggningens art och husets kulturhistoriska värde. De sättningar som beräknas utbildas är små och bedöms ske uniformt i undergrunden. Detta innebär att differenssättningar inte bedöms uppkomma för respektive byggnad utan om sättning sker så sker den jämnt under byggnaden. Ett hus som sätter sig jämnt skadas normalt inte, utan det är differenssättningen som kan skada grundläggningen för ett hus. Vidare är definierade gränsvärden för sättningar i absoluta tal och den lutning och skevhet som kan uppstå i grundkonstruktionen genom differenssättningar ansatta på säker sida för de rörelser en byggnad normalt kan utsättas för. Eftersom beräknad sättning är liten och det inte bedöms ske differentialsättning har påverkan på byggnaderna till följd av beräknade marksättningar bedömts som liten.

För de ledningar som inte läggs om i samband med anläggningsskedet bedöms ledningar i Ljungskilevägen och norrut bedöms dock inte påverkas av de beräknade sättningarna. Inom Slottsparken finns en spillvattenledning samt en vattenledning och dess anslutningar. Vattenledningen utgörs av polyeten-plast (PE) som är flexibel för markrörelser, vilket innebär att beräknade marksättningar vid vattenledningen inte bedöms påverka dess funktion. Spillvattenledningen är i betong och riskerar försämrad funktion om dess dimensionerade lutning ändras, om ledningen i sig skadas eller knäcks till följd av sättningar och/eller att tätning mellan ledningsrör och anslutningspunkter skadas. Eftersom de beräknade sättningarna i området där spillvattenledningen är belägen är små bedöms påverkan på spillvattenledningen bli liten.

12 Klimatanpassning

Grundvattenbildningen förväntas att förändras i framtiden till följd av klimatförändringar. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har genomfört en klimatmodellering 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 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 Lilla Edet visar 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 ca 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 Lilla Edet 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.

Utifrån ett klimatanpassningsperspektiv för slusskonstruktionen är förändringar i grundvattennivå till följd av klimatförändringar framför allt kopplat till stabilitet för dels slussanläggningen, dels de lerområden som finns väster om den justerade farleden. Minskad grundvattenbildning till följd av minskad nederbörd kan leda till sänkningar av grundvattennivån risk för sättningar, medan större höjningar av grundvattennivån till följd av ökad nederbörd kan leda till risk för hydrauliskt upplyft för planerad slusskonstruktion.

Baserat på de hydrogeologiska undersökningar som utförts är kontakten väldigt god mellan Göta älv och grundvattenmagasin i berg samt i morän, vilket innebär att grundvattennivåerna vid den västra stranden där ny sluss ska uppföras huvudsakligen styrs av vattennivån i älven.

Den goda kontakten mellan Göta älv och grundvattenmagasinen i berg och morän bedöms medföra att ökad nederbörd under vinterhalvåret inte ger en höjning av grundvattennivån i området väster om älven. Detta beror på att grundvatten som

bildas till följd av den ökade nederbörden snabbt transporteras ut till älven utan att en reell höjning av grundvattennivån uppstår. Vid en situation med grundvattentorka under sommarhalvåret innebär den goda kontakten mellan älv och grundvattenmagasinen även att grundvattennivån inte sjunker vid älven, eftersom älven fyller på grundvattenmagasinen i berg och morän. Grundvattennivån kan däremot sänkas av något längre västerut där bergytan går upp genom jordlagren, eftersom grundvattenflödet västerifrån mot älven bedöms minska till följd av lägre grundvattennivåer i området väster om Ströms slott.

Eftersom grundvattennivån närmast den västra älvstranden huvudsakligen styrs av vattennivåerna i älven innebär det att eventuella förändringar i älvens vattennivå till följd av klimatförändringar bedöms få en större påverkan på grundvattennivåerna vid den nya slussanläggningen än vad förändringar i grundvattenbildningen får. En höjning av havsnivån som fortplantar sig upp i Göta älv innebär att grundvattennivån höjs till samma nivå nedströms den nya slussen. Detta inträffar både vid permanent höjning och vid kortvariga höjningar, exempelvis till följd av stormar.

En höjning av älvens vattennivå nedströms ny sluss kan även medföra att tappningen sänks vid Lilla Edet till följd av gällande vattendomar. Detta kan vid extrema tillfällen med stor nederbörd uppströms Lilla Edet i älven och Vänern leda till att älvens nivå höjs även uppströms ny sluss, vilket gör att grundvattennivån höjs vid den västra älvstranden höjs även uppströms ny sluss.

13 Referenser

- Gustafson, G. (2009). *Hydrogeologi för bergbyggare*. Formas.
- Hjerne, C., Retzner, A., Hellstrand, E. & Thunholm, B., 2024: Klimatmodellering av grundvatten – grundläggande analys. *SGU-rapport 2024:04*. Sveriges geologiska undersökning.
- McDonald, M. G., & Harbaugh, A. W. (1988). *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. US Geological Survey.
- Naturcentrum AB. (2022). *Naturvärdesinventering inför nya slussar i Göta älv vid Lilla Edet*. Handlingsnr. S.14+TK.T.A00-VFB.T.003.
- Naturvårdsverket. (1997). *Grundvattenströmning i kristallint berg*. Rapport 4818.
- 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.
- Ryd, E. (2017). *Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg*.
- WSP. (2024a). *Beräknings-PM Sättningar inom påverkansområde grundvatten*. Handlingsnr. S.14+TK.T.A00-UGB.T.006.
- WSP. (2024b). *PM Kontroll markmodell*. Handlingnr. S.14+TK.T.A00-UDA.T.001.
- WSP. (2024c). *Beräknings-PM Släntstabilitet ny sluss och farled*. Handlingnr. S.14+TK.T.A00-UGB.T.001.
- WSP. (2024d) *PM Bergteknik*. Handlingnr. S.14+TK.T.A00-UBA.T.003.