

Upplag för jord- och bergmassor på Ön 1:1 - hydrogeologisk utredning

1 Introduktion

Denna PM är en bilaga till tillståndsansökan gällande upplag för jord- och bergmassor på fastigheten Ön 1:1. Den sökta verksamheten (11 kap miljöbalken) kommer att innefatta grundvattenbortledning under uppförandeskedet, i form av länshållning av schakt för anläggande av tätvallar längs verksamhetsområdets ytterkanter, samt schakt för anläggande av ledningar och pumpstation inom verksamhetsområdet. Dessa anläggningar behövs för kontrollerad uppsamling och bortledning av lakvatten. Därutöver beskrivs uppsamling och bortledning av lakvatten under driftskedet, och dess påverkan på grundvattenbildningen (grundvatten som bildas i deponerade bergmassor).

Syftet med denna PM är att utreda hydrologiska effekter av ovannämnda verksamheter. Strömningstider genom geologisk barriär eller andra krav enligt Förordning (2001:512) om deponering av avfall behandlas inte i denna PM. Eventuella åtgärdsbehov till följd av förändrade grundvattenförhållandens påverkan på naturmiljön behandlas heller inte.

2 Metodik och underlag

Detta kapitel ger en översikt över de underlag som använts i den hydrogeologiska utredningen och de tolkningar av hydrogeologiska förhållanden som kan göras utifrån detta underlag. Specifikt bedöms de hydrogeologiska förhållanden i och kring bergupplagets verksamhetsområde som är av relevans för frågor kopplade till vattenverksamhet, såsom grundvattennivåer och flödesriktningar i jord. Bedömningarna utgår från en kombination av SKB:s sedan tidigare befintliga underlag (höjdm modell, jordartskarta och jorddjupskarta för hela Forsmarksområdet) och resultat från inriktade geotekniska undersökningar och naturvärdesinventeringar i det aktuella området.

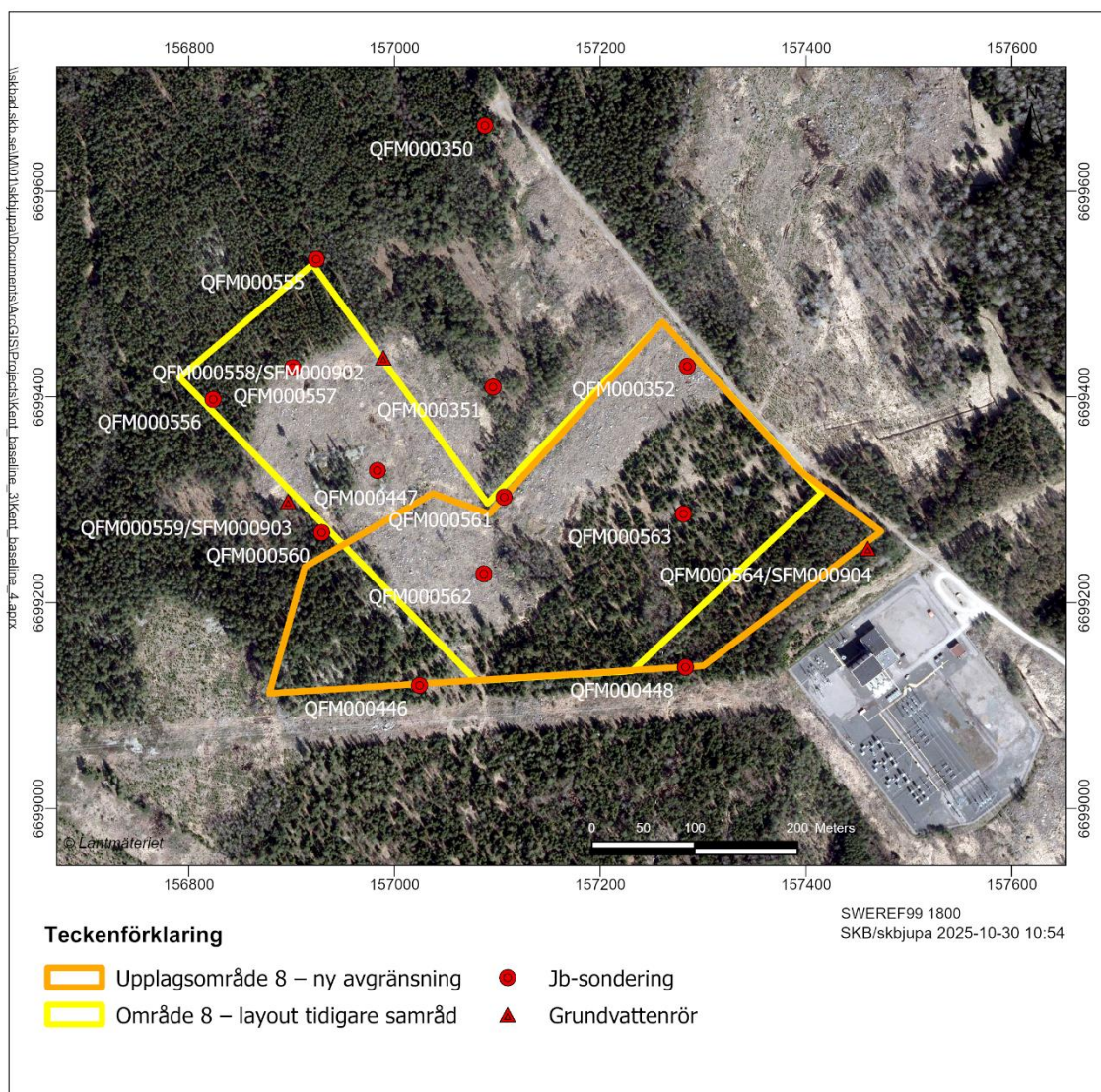
Utredningen som redovisas i denna bilaga utgår specifikt från följande underlag:

- SKB:s jordartskarta (SDEADM_SVE_FM_GEO_20164).
- SKB:s jorddjupskarta (SDEADM_SVE_FM_GEO_20162).
- SKB:s höjdm modell med 1 m upplösning i plan (hydroDEM_1m.tif, 2025-06-15).
- Verksamhetsområdets utformning enligt tidigare utformning (omrade_8.shp, 2025-03-27) respektive aktuell utformning (omrade_8.shp, 2025-09-18).
- Avgränsning, klassificering och beskrivning av naturvärdesobjekt (Ekologigruppen 2024; Naturvärdesobjekt_forsmark_sweref.shp, 2024-10-14).
- Geotekniska fält- och laboratorieundersökningar 2024 och 2025, sammanfattade i granskningsversioner av MUR (Bjerking 2024; 2025a) och Rapport Geoteknik (Bjerking 2025b).
- Slugtester i installerade grundvattenrör (Atmosudirdjo 2025).

Figur 1 visar en översiktskarta över bergupplagets verksamhetsområde enligt aktuell utformning (10,9 ha; yta avgränsad med orange linje). Kartan visar även lägen för sonderingsborrningar 2024–

Upplag för jord- och bergmassor på Ön 1:1 - hydrogeologisk utredning

2025 (QFM) i och kring verksamhetsområdet, samt de tre grundvattenrör (SFM) som 2025 installerades i olika lägen kring verksamhetsområdet. Som beskrivs närmare i avsnitt 3.1 har verksamhetsområdets utformning justerats, utifrån hydrologiska och ekologiska förhållanden, i relation till den utformning som presenterades vid tidigare samråd (11,9 ha; yta avgränsad med *gul* linje). Den tidigare utformningen visas i denna och i följande kartor endast för orientering; ansökan omfattar ett verksamhetsområde enligt *orange* linje i dessa kartor.

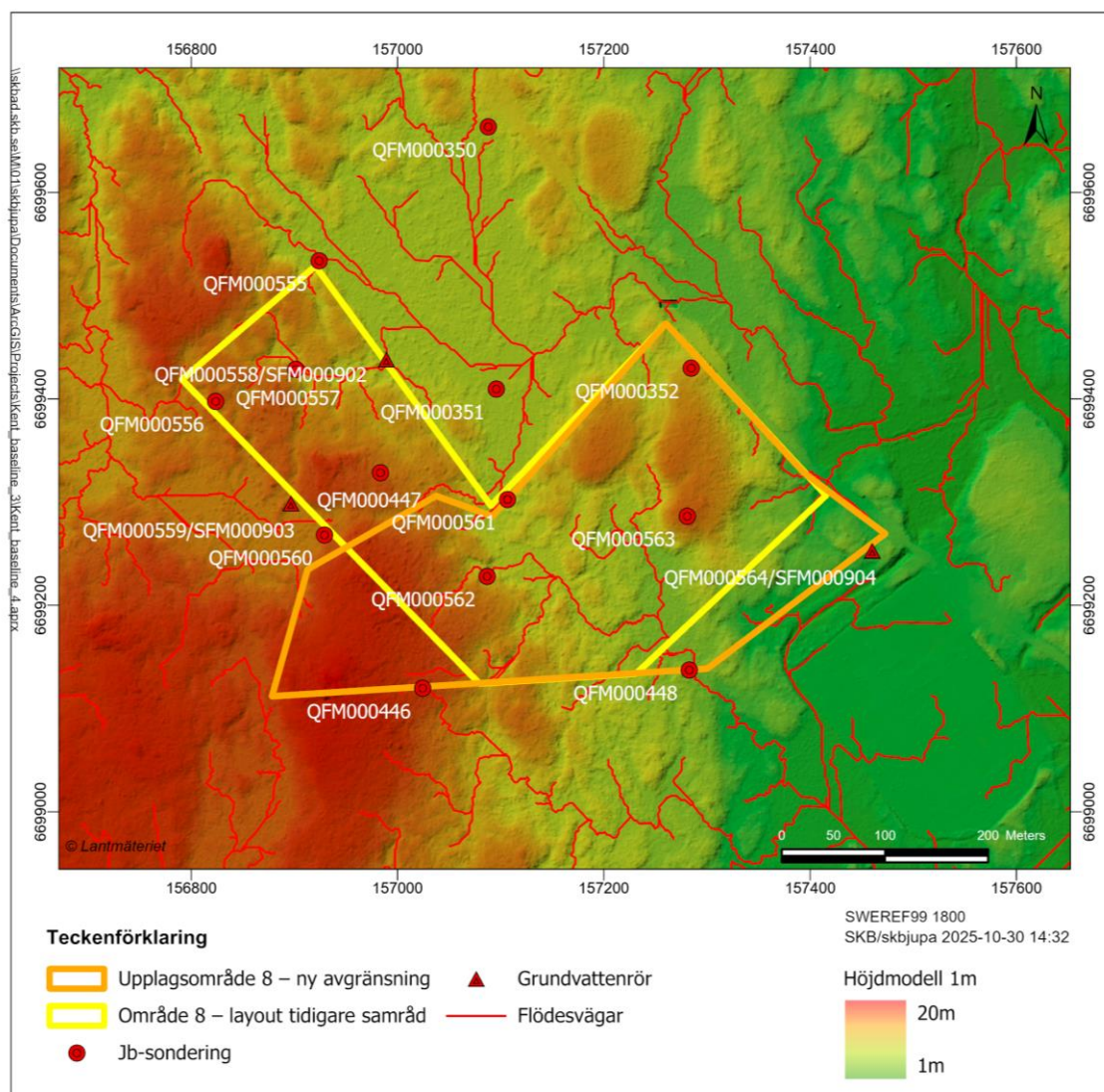


Figur 1. Karta som visar tidigare (*gul* linje) respektive aktuell utformning (*orange* linje) av bergupplagets verksamhetsområde, lägen för sonderingsborrningar (QFM) och installerade grundvattenrör (SFM), med flygbild som bakgrund. Tidigare utformning visas här endast för orientering; ansökan omfattar ett verksamhetsområde enligt *orange* linje.

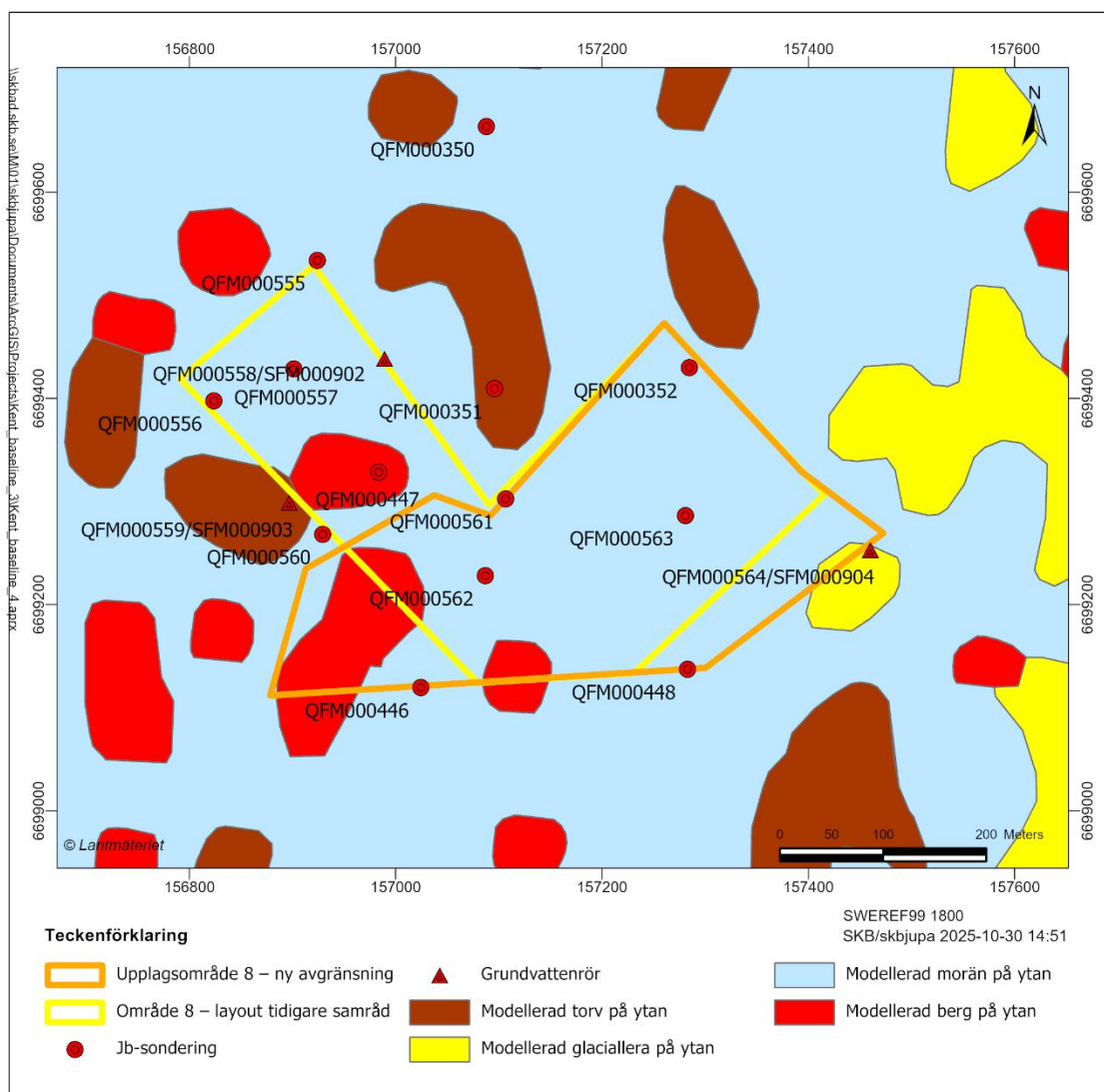
Översiktskartan i Figur 2 har SKB:s höjdmodell (upplösning i plan 1 m) som bakgrund. Som framgår av denna figur utgörs verksamhetsområdet av höjdområden som omgärdas av lågområden. Höjdmodellen är ett viktigt underlag för denna utredning, eftersom den ger information om topografiskt styrda flödesvägar i och kring bergupplagets verksamhetsområde (röda linjer i Figur 2).

Enligt SKB:s jordarts- respektive jorddjupskarta (Figur 3 och Figur 4) domineras området i och omkring bergupplagets verksamhetsområde av morän, med tunna jordlager eller berg i

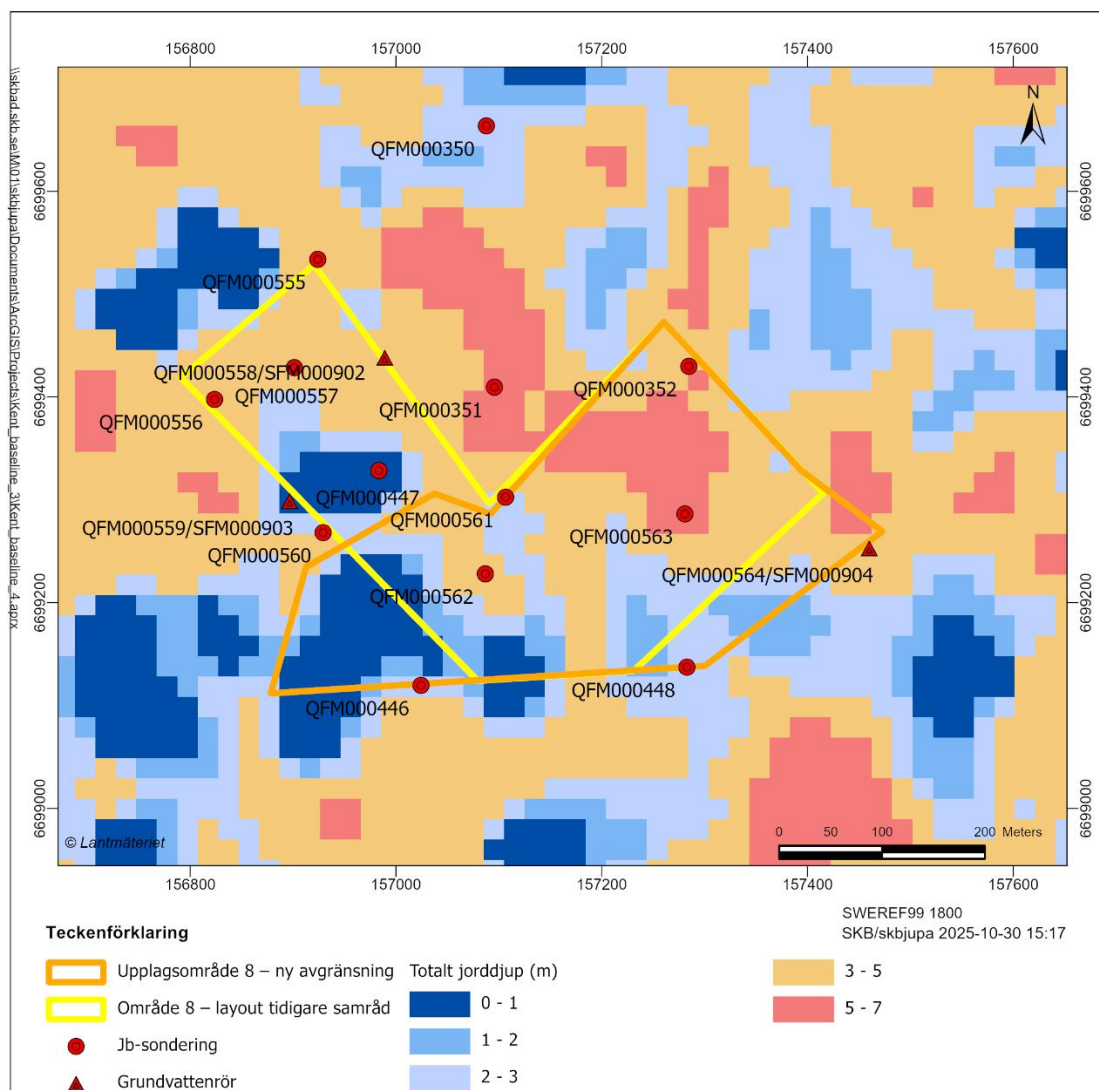
höjdområden och morän som överlagras av torv i lågområden. Enligt jorrdjupskartan är det totala jorddjupet inom större delen av verksamhetsområdet 2–5 m, med tunnare jordlager i höjdområden och mäktigare jordlager (5–10 m) i lågområden, särskilt i verksamhetsområdets norra del och norr därom.



Figur 2. Karta som visar tidigare (gul linje) respektive aktuell utformning (orange linje) av bergupplagets verksamhetsområde, lägen för sonderingsborrningar (QFM) och installerade grundvattenrör (SFM), med SKB:s höjdmodell (1 m upplösning i plan) som bakgrund. Kartan visar även topografiskt styrda flödesvägar (röda linjer). Tidigare utformning visas här endast för orientering; ansökan omfattar ett verksamhetsområde enligt orange linje.



Figur 3. Karta som visar tidigare (gul linje) respektive aktuell utformning (orange linje) av bergupplagets verksamhetsområde, lägen för sonderingsborrningar (QFM) och installerade grundvattenrör (SFM), med SKB:s jordartskarta som bakgrund. Blå är morän, brun är torv, gul är glacillera och röd är berg i dagen. Tidigare utformning visas här endast för orientering; ansökan omfattar ett verksamhetsområde enligt orange linje.



Figur 4. Karta som visar tidigare (gul linje) respektive aktuell utformning (orange linje) av bergupplagets verksamhetsområde, lägen för sonderingsborrningar (QFM) och installerade grundvattenrör (SFM), med SKB:s jorddjupskarta som bakgrund. Legendan avser modellerat totalt jorddjup i m. Tidigare utformning visas här endast för orientering; ansökan omfattar ett verksamhetsområde enligt orange linje.

De geotekniska fält- och laboratorieundersökningarna 2024 i och kring bergupplaget omfattade följande av relevans för denna utredning:

- Jord- och bergsonderingar (ger data på totalt jorddjup) i 6 sonderingspunkter: QFM000350–352 samt QFM000446–448 (se Figur 1).
- Störd jordprovtagning (ger information om jordarter och kornstorleksfördelningar) i 3 av ovanstående sonderingspunkter (QFM000351, QFM000352 och QFM000446), med skattning av hydraulisk konduktivitet utifrån kornstorleksfördelning för ett jordprov (QFM000351).

Vid undersökningarna 2024 installerades inga grundvattenrör. Enligt dagvattenutredningen rörande bergupplaget (WSP 2025) installerades totalt 10 grundvattenrör år 2022 inom ramen för ett annat projekt (HySkies), delvis i aktuellt område. Enligt WSP (2025) visade grundvattennivåmätningar en grundvattenyta som var 0,3–2,4 meter under markytan i dessa

Upplag för jord- och bergmassor på Ön 1:1 - hydrogeologisk utredning

grundvattenrör. Lägena för grundvattenrören anges inte, men mätningarna indikerar att djupet till grundvattenytan kan uppvisa relativt stora rumsliga variationer inom det aktuella området.

De geotekniska fält- och laboratorieundersökningarna 2025 omfattade följande av relevans för denna utredning:

- Jord- och bergsonderingar i 10 sonderingspunkter: QFM000555–564 (se Figur 1).
- Störd jordprovtagning i 5 av ovanstående sonderingspunkter (QFM000555, QFM000556, QFM000558, QFM000561 och QFM000562). Provmängden var tillräcklig för skattning av hydraulisk konduktivitet utifrån kornstorleksfördelning för endast ett jordprov (QFM000560). Provtagning var planerad men lyckades inte i ytterligare 4 sonderingspunkter. För fortsatta undersökningar rekommenderar Bjerking (2025) att istället provta jord i provgropar, eftersom provtagning på djupare nivåer via skruvborr försvåras av moränens lagringstäthet och moränens blockighet.
- Installation av tre grundvattenrör (SFM000902 i sonderingspunkt QFM000558, SFM000903 i sonderingspunkt QFM000559 och SFM000904 i sonderingspunkt QFM000564; se Figur 1).

Grundvattennivåmätningar i ovannämnda rör har utförts dels av Bjerking (2025) i samband med funktionskontroll efter rörinstallation (2025-06-27), dels av SKB (Atmosudirdjo 2025) i samband med hydrauliska enhålstester (slugtester) i grundvattenrören (2025-08-06 och 2025-08-13).

De genomförda sonderingsborrningarna ger överlag en bild av jordarts- och jorddjupsförhållandena i området som är i överensstämmelse med SKB:s jordarts- respektive jorddjupskarta (Figur 3 och Figur 4). I sonderingspunkterna är det totala jorddjupet mellan 0,8 och 7,8 m (tunnare i höjdområden och mäktigare i lågområden). I sonderingspunkterna förekommer generellt ett tunt lager med humusjord, underlagrat av upp till cirka 6 m friktionsjord på berg. I lågområden utgörs jordlagerföljden i sonderingspunkterna av upp till 1,1 m mäktig torv, humusmaterial eller fyllning, som överlagrar lera med en mäktighet på upp till 1,2 m. Lera överlagrar i sin tur friktionsjord på berg.

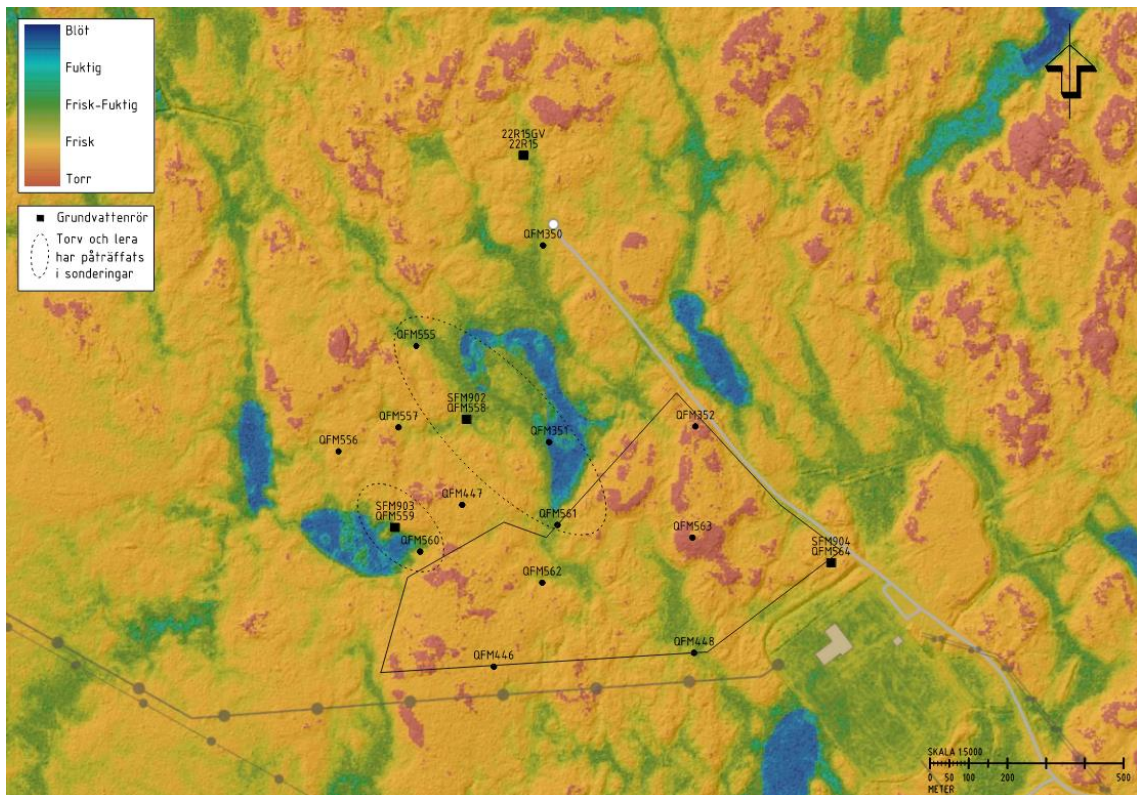
Friktionsjorden utgörs av morän med varierande sammansättning. I sonderingspunkterna i lågområden (våtmarker) utgörs friktionsjorden av något sulfidjordshaltig, sandig-siltig lermorän med gruskorn. Nära markytan utgörs friktionsjorden av något humushaltig grusig-sandig-siltig morän, något humushaltig grusig sandmorän, eller grå, något grusig sandig-siltig morän. Kring lågområdet norr om bergupplaget förekommer fyllning, bestående av sandigt grus, delvis krossat material och sand.

För närvarande finns endast en skattning av moränens hydrauliska konduktivitet ($1,5 \cdot 10^{-7}$ m/s) utifrån kornstorleksanalys för ett jordprov (QFM000560; grå något grusig-sandig siltig morän; provtagningsdjup 0,7 m). I 10 av de totalt 16 jord- och bergsonderingar som utförts 2024 och 2025 är friktionsjorden blockig. Detta innebär att kornstorleksanalyser av jordprov sannolikt ger en underskattning av moränens hydrauliska konduktivitet *in situ*. Det kan också noteras att i ungefär hälften av jord- och bergsonderingarna (7 av 16) är den övre delen av berget uppsprucket, till exempel i QFM000563 (sprickigt berg ned till 2 m under bergöverytan) och QFM000564 (sprickigt berg ned till 4,8 m under bergöverytan).

Som nämnts har slugtester genomförts i augusti 2025 i de installerade grundvattenrören SFM000902 och -903 (Atmosudirdjo 2025); test i SFM000904 var inte möjligt på grund av låg grundvattennivå. Även om dessa tester är relativt kortvariga (liten influensradie och därmed liten testvolym) så ger de värden på hydraulisk konduktivitet som är mer representativa för *in situ*-förhållanden jämfört med kornstorleksanalys.

Enligt geoteknisk redovisning i Bjerking (2025) är rörens intagsdel installerad närmast bergöverytan, vilket här tolkas som att rörens intagsdel i samtliga fall är installerad i friktionsjord (morän). Utvärdering av slugtesterna ger en hydraulisk konduktivitet på $8 \cdot 10^{-4}$ m/s för SFM000902 och $3 \cdot 10^{-4}$ m/s för SFM000903. Vid rörlägena har moränen närmast bergöverytan enligt slugtesterna därmed relativt hög *in situ* vattengenomsläpplighet (cirka 3 storleksordningar högre är skattningar från kornstorleksanalys).

Lerans sammansättning varierar, men domineras av rostfläckig lera med sandskikt och gruskorn. För närvarande finns endast en skattning av hydraulisk konduktivitet ($1,7 \cdot 10^{-10}$ m/s) utifrån kornstorleksanalys från ett jordprov (QFM000351; grå, något sulfidjordshaltig sandig-siltig lermorän med gruskorn; provtagningsdjup 1,7 m). Figur 5 visar de områden som enligt tolkning i Bjerking (2025) bedöms utgöras av torv på lera. Tolkningen här är att dessa områden lokalt sannolikt har slutna grundvattenförhållanden. Enligt Bjerking (2025) kan dessa områden vara problematiska ur geoteknisk synpunkt, vilket ställer krav på åtgärder bland annat för att minimera inflöde av grundvatten vid schaktarbeten. De geotekniska förutsättningarna är en motivering till justeringen av verksamhetsområdets utformning (avsnitt 3.1).

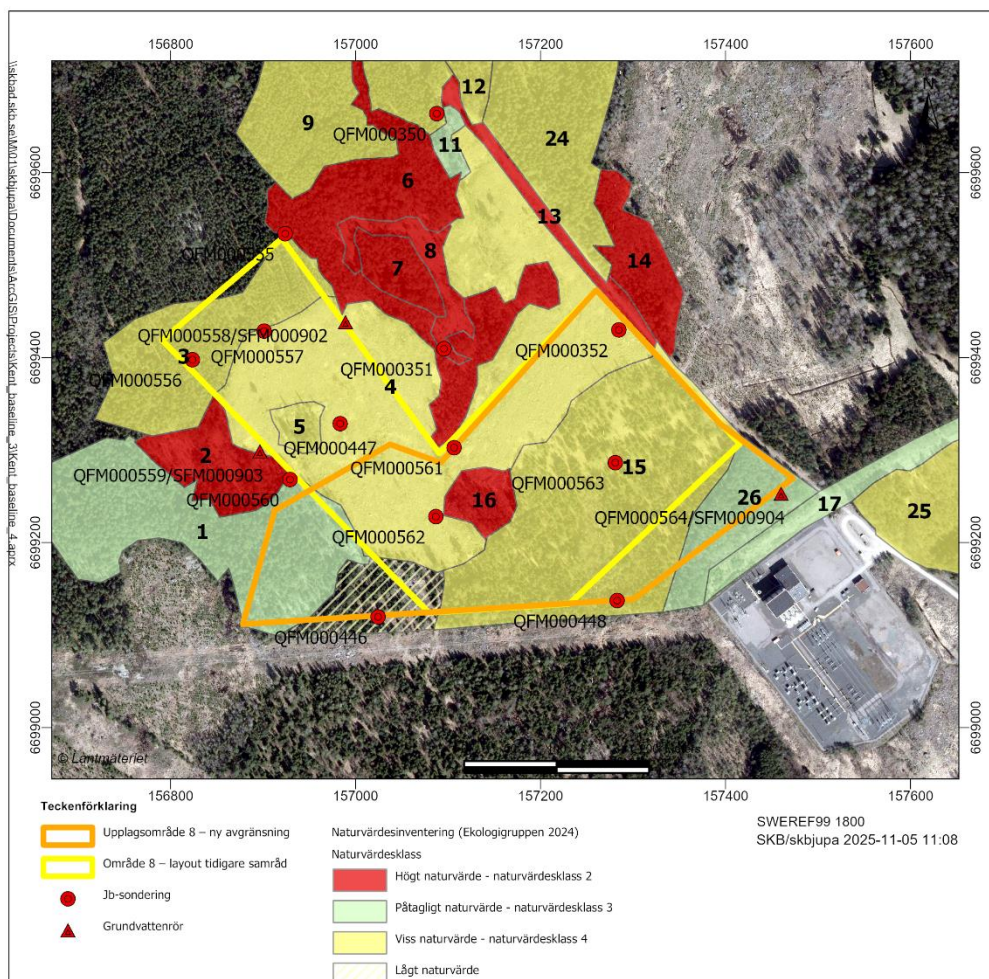


Figur 5. Karta som visar tolkade områden med torv på lera och markfuktighetsklasser enligt Skogsstyrelsen (Bjerking 2025b). Kartan visar även verksamhetsområdets aktuella utformning (jmf. Figur 1).

Figur 6 visar naturvärdesobjekt i och kring det planerade bergupplaget (Ekologigruppen 2024). Av de naturvärdesobjekt som visas i figuren, är bedömningen här att följande objekt i olika utsträckning är grundvattenberoende och därmed potentiellt känsliga för potentiell hydrologisk påverkan under uppförande och drift av bergupplaget (objekt som är inom och påverkas direkt av bergupplaget är inte medtagna):

- Objekt 2: Blandsumpskog (myrmark), naturvärdesklass 2.
- Objekt 6: Lövsumpskog/Fuktskog, naturvärdesklass 2.

- Objekt 7: Gammal tallskog/tallmosse, naturvärdesklass 2. Inkluderar lokala svackor med fuktgynnad vegetation.
- Objekt 8: Öppet kärr, naturvärdesklass 2.
- Objekt 10: Fattigkärr, naturvärdesklass 2 (utanför kartbilden i Figur 6, norr om naturvärdesobjekt 9).
- Objekt 14: Gransumpskog (med fuktiga områden i den västra delen), naturvärdesklass 2.



Figur 6. Karta som visar naturvärdesobjekt (Ekologigruppen 2024) i och kring bergupplagets verksamhetsområde enligt tidigare (gul linje) respektive aktuell utformning (orange linje).

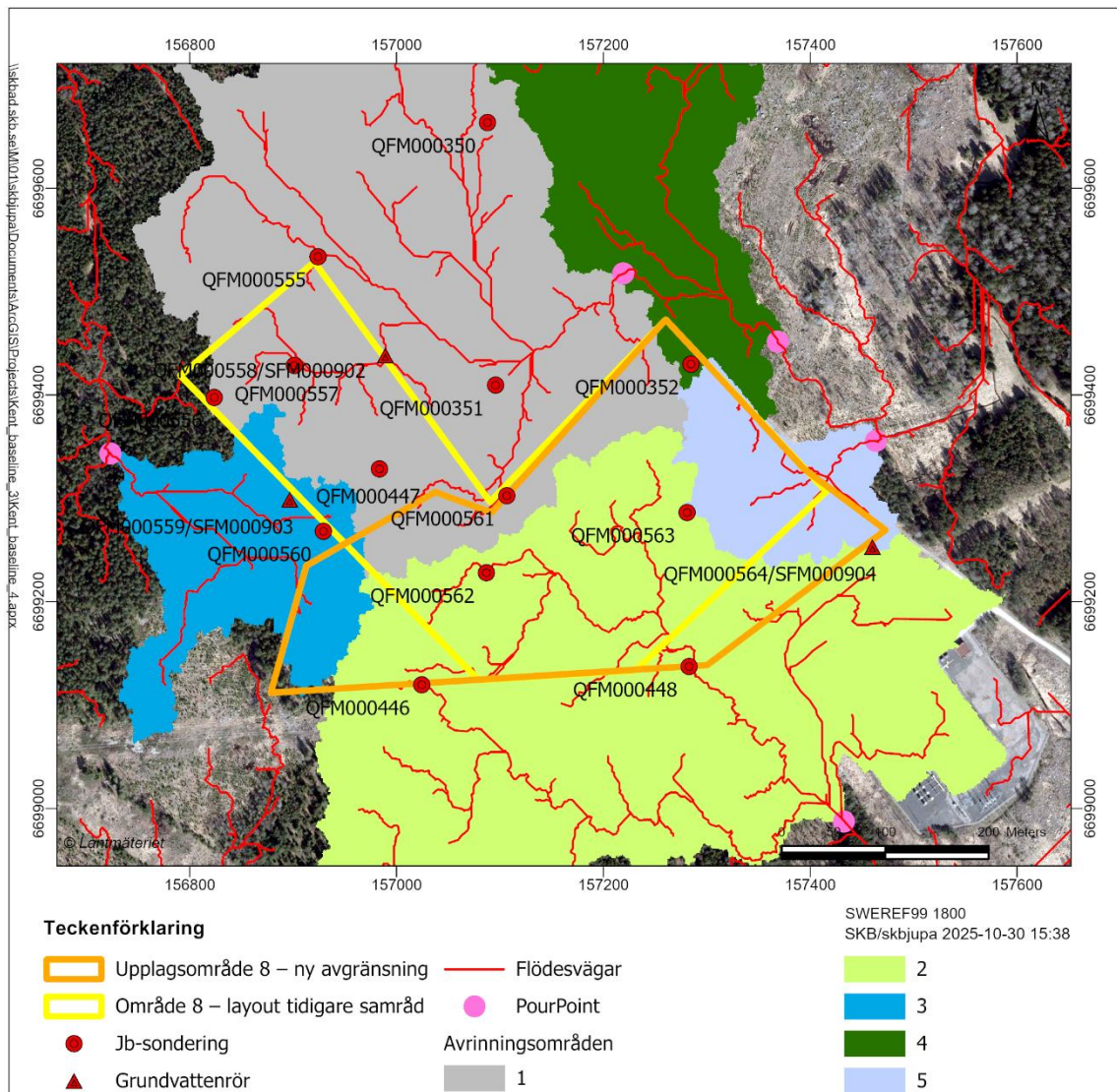
3 Bedömningar avseende vattenverksamhet

3.1 Justering av verksamhetsområdets utformning utifrån hydrologiska, ekologiska och geotekniska förhållanden

Som nämns ovan har de undersökningar och utredningar som genomförts sedan det ursprungliga samrådet lett till en justering av verksamhetsområdets utformning utifrån hydrologiska, ekologiska och geotekniska förhållanden. Vad gäller vattenverksamhet i form av grundvattenbortledning under uppförandeskedet innebär den tidigare utformningen mer omfattande schaktarbeten, med tillhörande länshållning, i närhet till grundvattenberoende naturvärdesobjekt som är potentiellt känsliga för potentiell hydrologisk påverkan, specifikt med avseende på naturvärdesobjekt 6 och 7 (se Figur 6). Vidare innebär den tidigare utformningen mer omfattande schaktarbeten i områden

med mäktiga jordlager. Enligt tolkning i Bjerking (2025) utgörs dessa till stor del av torv på lera och som kan vara problematiska ur geoteknisk synpunkt (se Figur 5).

Gällande driftskedet (uppsamling och bortledning av lakvatten) omfattade den tidigare utformningen av verksamhetsområdet cirka 25 % av avrinningsområdet för en avrinningspunkt för naturvärdesobjekten 6–8 (se Figur 7). Avrinningsområdet för naturvärdesobjekt 14 (öster om verksamhetsområdet och vägen) är utanför verksamhetsområdet i både tidigare och aktuell utformning. Avrinningen förbi vägen som löper längs verksamhetsområdets östra del och avrinner vidare mot naturvärdesobjekt 14 är, med undantag för en liten del, utanför verksamhetsområdet i både tidigare och aktuell utformning. Det ska därför påpekas att det är viktigt för bevarandet av naturvärdesobjekt 14 att avrinningen förbi vägen bibehålls.



Figur 7. Tidigare (gul linje) och aktuell utformning (orange linje) av bergupplagets verksamhetsområde. Kartan visar även avrinningsområden för naturvärdesobjekt 2 (avrinningsområde 3), naturvärdesobjekt 6–8 (avrinningsområde 1), avrinningsområdet för den största delen av bergupplagets verksamhetsområde (avrinningsområde 2) och avrinningsområdet för naturvärdesobjekt 14 (avrinningsområde 4). Notera att avrinningen förbi vägen och mot naturvärdesobjekt 14 är utanför verksamhetsområdet i både tidigare och aktuell utformning. "PourPoint" är de lågpunkter i landskapet som definierats som avrinningspunkter för avgränsning av respektive avrinningsområde.

Den justering som genomförts innebär konkret följande:

- Den nordvästra ”kilen” av verksamhetsområdet har tagits bort, med viss kompensande utökning i den södra delen. Borttagningen av den nordvästra delen innebär att verksamhetsområdet omfattar en mindre andel (8 % mot tidigare 25 %) av avrinningsområdet för naturvärdesobjekten 6–8 jämfört med tidigare utformning.
- I den södra delen har verksamhetsområdet utökats något genom att ansluta dess yttre kant till höjdområden med berg i dagen i väster och till befintliga sonderingspunkter. Verksamhetsområdet sydöstra gräns har vidare justerats något för att följa vägen.
- Den justerade utformningen innebär mindre omfattande schaktarbeten under uppförandeskedet: Tidigare utformning omfattade totalt 1 750 m tätvallar, medan den justerade utformningen omfattar totalt 1 500 m tätvallar (en minskning med 250 m).
- Minskat verksamhetsområde för bergupplaget från tidigare cirka 12 ha till cirka 11 ha, vilket minskar hydrologisk påverkan på avrinningsområdena i sin helhet.

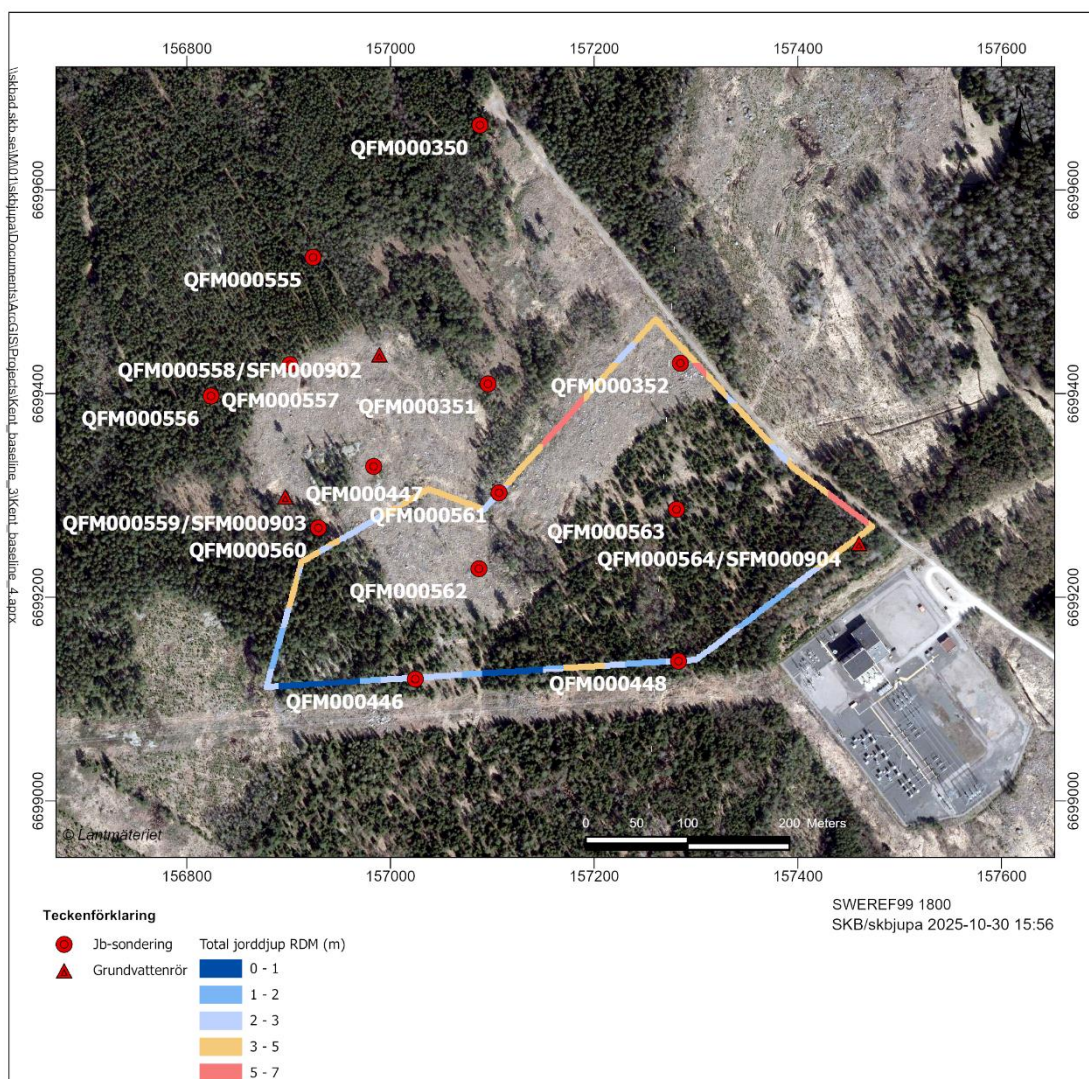
Bedömningarna avseende vattenverksamhet under uppförandeskedet (avsnitt 3.2) och hydrologiska effekter under driftskedet (kapitel 4) utgår från den justerade utformningen av bergupplagets verksamhetsområde, avgränsat med orange linje i Figur 7.

3.2 Grundvattenbortledning under uppförandeskedet

3.2.1 Planerad vattenverksamhet i relation till hydrogeologiska förhållanden

Vattenverksamhet under uppförandeskedet omfattar länshållning av schakt för anläggande av tätvallar längs verksamhetsområdets ytterkanter, samt schakt för anläggande av ledningar och pumpstation inom verksamhetsområdet. Figur 8 visar totalt jorddjup längs planerade tätvallar enligt SKB:s jorddjupsmodell samt lägen för sonderingsborrningar (QFM) och installerade grundvattenrör (SFM). Enligt jorddjupsmodellen är det totala jorddjupet som störst (6,4 m) i den norra delen av tätvallen, och upp till 5 m i övriga delar. Längs den södra och västra delen av tätvallen är det totala jorddjupet lägre, med berg i dagen eller endast tunna jordlager (0–1 m).

Enligt preliminära bedömningar (Ibrahim Al-Zubaidi, Bjerking, pers. komm. 2025) anläggs tätvallarna med tillhörande tätmembran till erforderligt djup under markytan; överslagsmässigt kan schaktdjup på 1–2 m bli aktuella för tätvallarna, medan schaktdjup på 1,5–2 m kan bli aktuellt för ledningar och pumpstation. Eventuell injektering av ytberg kan utföras från frilagd schaktbotten eller via foderrör genom jord. Schakt kommer att utföras etappvis under sammanlagt cirka 6–12 månader. Med en total arbetstid på 6 månader blir då takten för uppförande av tätvallar i genomsnitt 8 m/dag, och i genomsnitt 4 m/dag vid en total arbetstid på 12 månader. Vatten som bortleds vid länshållning av schakt kommer att återledas till omgivande mark om det bedöms lämpligt med hänsyn till vattenkvalitet.



Figur 8. Totalt jorddjup längs planerade tätvallar enligt SKB:s jorddjupsmodell samt lägen för sonderingsborrningar (QFM) och installerade grundvattenrör (SFM), med flygbild som bakgrund.

Utifrån befintligt underlag ges i det följande en bedömning av rådande djup från markytan till grundvattenytan i de områden som kan bli aktuella för schaktarbeten. De grundvattennivåmätningar som tidigare utfördes 2022 inom ramen för ”HySkies”-projektet (se ovan) indikerar att djupet till grundvattenytan kan uppvisa relativt stora rumsliga variationer inom det aktuella området. Rörande bergupplaget har djupet till grundvattenytan hittills endast mätts i tre grundvattenrör inom ett relativt stort område, och vid endast två tillfällen (uppmätta grundvattennivåer, meter under markytan):

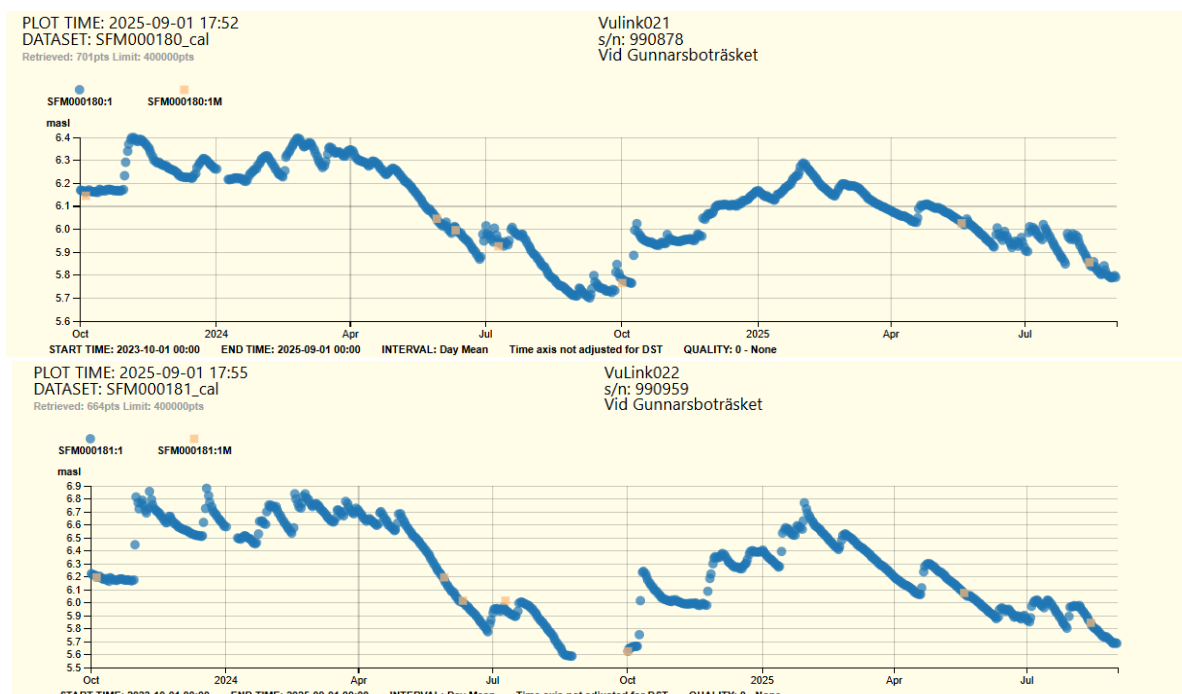
- SFM000902:
 - 0,12 m (funktionskontroll, 2025-06-27)
 - -0,2 m (slugtest, 2025-08-06)
- SFM000903:
 - 0,36 m (funktionskontroll, 2025-06-27)
 - 0,24 m (slugtest, 2025-08-06)

Upplag för jord- och bergmassor på Ön 1:1 - hydrogeologisk utredning

- SFM000904:
 - 2,85 m (funktionskontroll, 2025-06-27)
 - 2,99 m (slugtest, 2025-08-13)

Även ovanstående mätningar visar på relativt stora rumsliga variationer av djupet till grundvattenytan inom det aktuella området; grundvattenytan är belägen nära eller strax under markytan i två av de tre grundvattenrören, men på större djup i ett av rören (SFM000904). Det ska dock påpekas att SFM000904 är beläget nära ett djupt dike, som sannolikt har en dränerande effekt och sänker av grundvattennivån där röret är beläget.

Det ska vidare påpekas att grundvattennivåmätningarna ovan utfördes under en torrperiod på sommaren (juni–augusti 2025). Figur 9 visar tidserier på grundvattennivån i grundvattenrör SFM000180 och SFM000181 för perioden 2023-10-01–2025-09-01. Båda dessa grundvattenrör är belägna i Gunnarsboträskets avrinningsområde, nära sjön Gunnarsboträsket (SFM000180 i morän under en våtmark och SFM000181 i morän). Som framgår av bilden är grundvattennivån i SFM000902–904 sannolikt högre under andra delar av året, jämfört med de grundvattennivåer som uppmättes juni–augusti 2025.

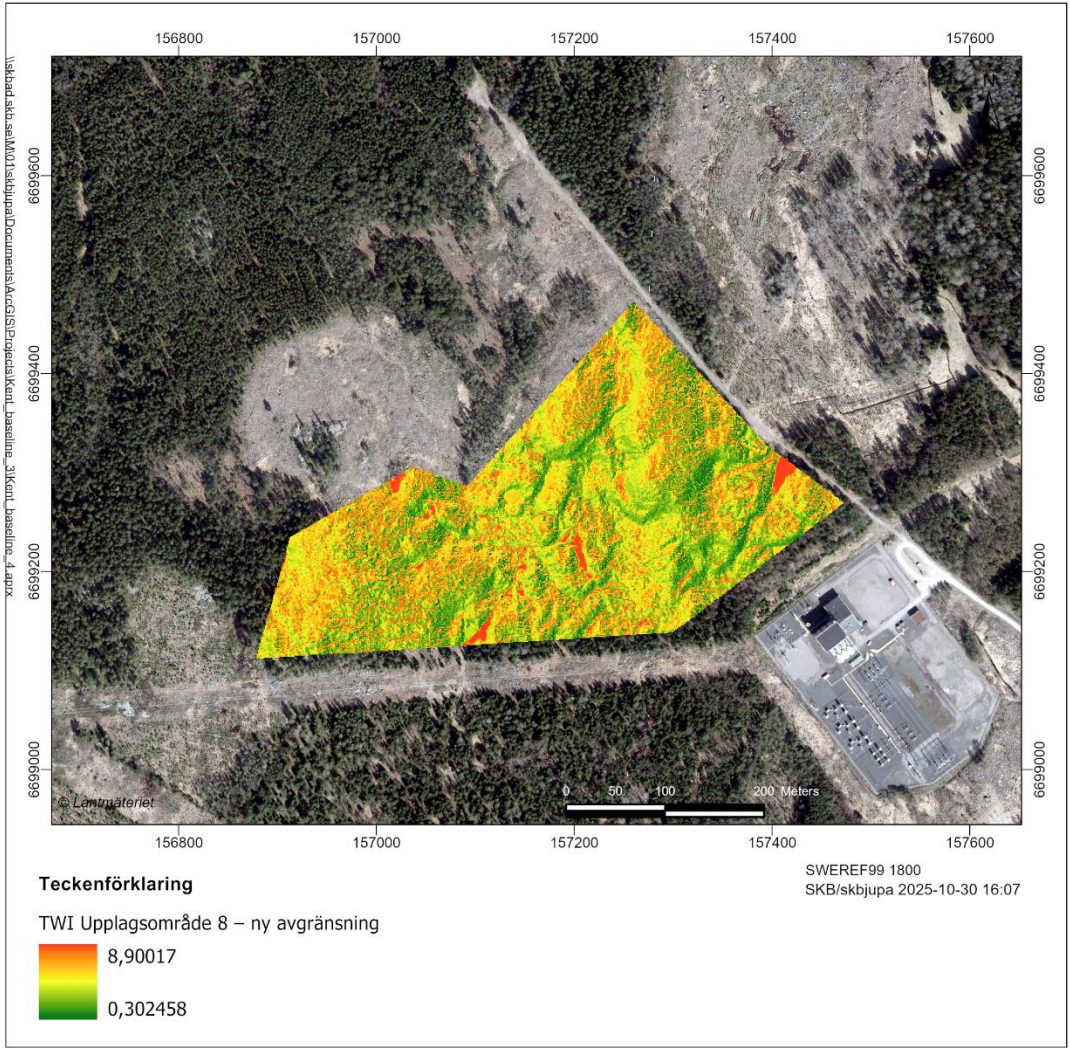


Figur 9. Tidserier på grundvattennivå i grundvattenrör SFM000180 (övre bilden) och SFM000181 (nedre bilden). SFM000180 är beläget i morän under en våtmark och SFM000181 i morän.

I syfte att ge en mer heltäckande bild av djupet till grundvattenytan längs tätvallarna och inom verksamhetsområdet, har en karta på s.k. TWI (topographical wetness index) tagits fram utifrån SKB:s höjdmodell med 1 m upplösning i plan. TWI är ett dimensionslöst index som beräknas per rastercell i höjdmodellen utifrån uppströmsarea och lokal topografisk gradient. Generellt innebär ett högt TWI ”blöta” förhållanden (litet djup till grundvattenytan) och tvärtom för ett lågt TWI. Analysen visar att beräknat TWI är enligt följande vid respektive grundvattenrör:

- SFM000902: TWI = 7,4
- SFM000903: TWI = 5.0
- SFM000904: TWI = 3.2 (se not ovan rörande det närliggande diket)

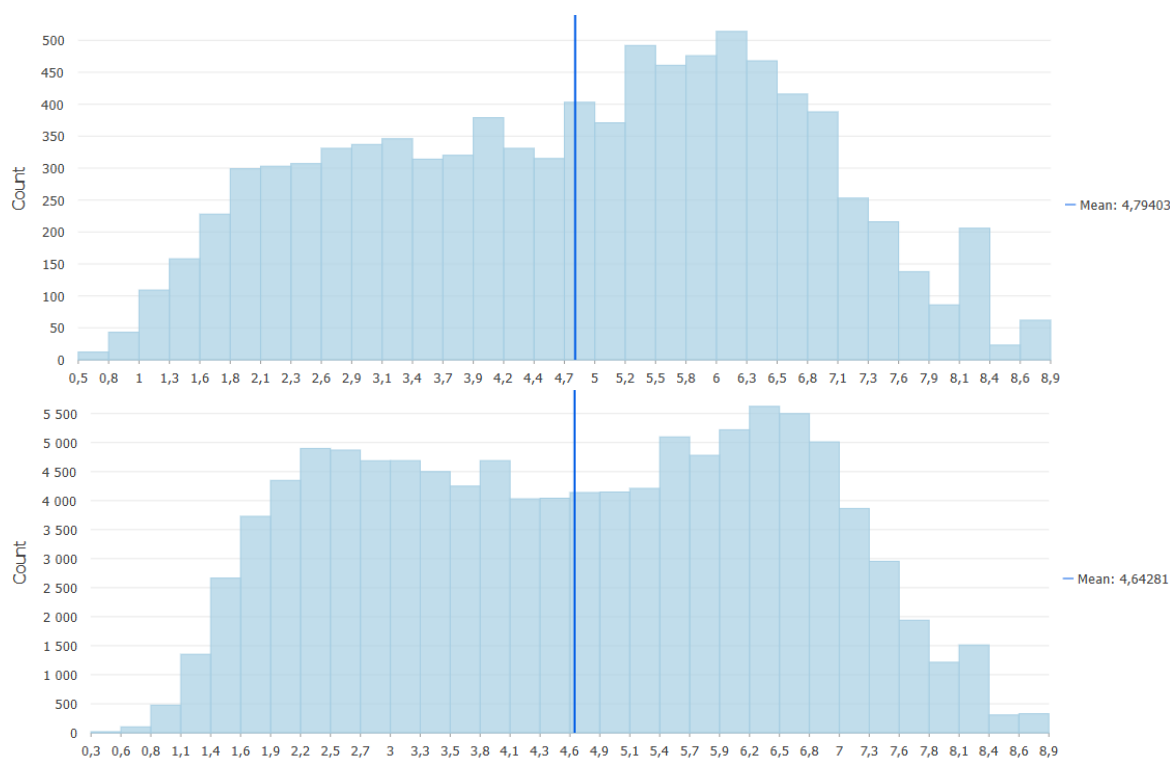
Denna analys visar att TWI (Figur 10) ger ett användbart mått på fördelningen av djupet till grundvattenytan i de områden där schaktarbeten kan bli aktuella, det vill säga längs tätvallarna och inom verksamhetsområdet. Statistik för TWI längs tätvallarna samt inom verksamhetsområdet visas i Tabell 1 och som histogram i Figur 11. Som framgår av tabell och histogram kan grundvattenytan i medeltal bedömas vara belägen inom cirka 0,5–1 m från befintlig markyta längs tätvallarna och inom verksamhetsområdet. Det finns dock områden längs tätvallarna och inom verksamhetsområdet där grundvattenytan åtminstone periodvis är i eller ovan markytan. Utifrån denna analys och tänkbara schaktdjup (avsnitt 3.2.1) är bedömningen att grundvattenbortledning genom länshållning inte kan uteslutas vid schaktarbeten längs med tätvallarna och inom verksamhetsområdet.



Figur 10. Beräknade TWI (topographical wetness index) inom bergupplagets verksamhetsområde.

Tabell 1. Statistik för TWI (topographical wetness index) längs bergupplagets yttre gräns (schaktarbeten för anläggande av tätvall) och inom hela bergupplaget (schaktarbeten för anläggande av bottenfästning).

TWI	Längs verksamhetsområdets kanter	Inom hela verksamhetsområdet
Medel	4,79	4,64
Min	0,50	0,30
Max	8,90	8,90



Figur 11. Fördelning av beräknade TWI (topographical wetness index) längs verksamhetsområdets kanter (övre bilden) och inom hela verksamhetsområdet (nedre bilden).

3.2.2 Överslagsberäkningar av hydrologiska effekter

I detta avsnitt presenteras överslagsberäkningar avseende inflöde av grundvatten vid länshållning av schakt under grundvattenytan. Vidare redovisas överslagsberäkningar av tillhörande påverkansavstånd, det vill säga radiella avstånd från respektive schakt bortom vilka länshållningen inte har någon praktisk mätbar effekt på grundvattenytans läge. Dessa överslagsberäkningar är underlag för att bedöma länshållningens eventuella konsekvenser i omgivningarna. De beräkningar som redovisas förutsätter att schaktarbeten och länshållning sker med en öppen schakt i taget.

Överslagsberäkningarna har gjorts i två steg. I det första steget beräknas inflödet Q (L/s) med en stationär lösning (Kresic 1997)

$$Q = \frac{\pi K(h_0^2 - h_w^2)}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

där K (m/s) är jordens vattengenomsläpplighet, h_0 och h_w (m) är grundvattenytans opåverkade nivå respektive avsänkta nivå i schaktet och R (m) är influensavståndet, det vill säga det radiella avståndet från schaktet (med radien r_w) där avsänkningen är noll. I de aktuella beräkningarna har R satts till 100 m vid beräkning av inflöde. I ett andra steg beräknas med en transient lösning påverkansavståndet, det vill säga det radiella avståndet r från schaktet vid tiden t där avsänkningen är s (m)

$$r = \sqrt{\frac{2,25Tt}{s} \left[\exp\left(\frac{s4\pi T}{Q}\right) \right]^{-1}}$$

där T (m²/s) och S (-) är jordlagrens transmissivitet (vattengenomsläpplighet gånger jordens mättade mäktighet) respektive magasinskoefficient (i princip motsvarande vattenavgivningstalet vid öppna grundvattenförhållanden).

Som nämns i avsnitt 3.2.1 anläggs enligt preliminär projektering tätvallarna på schaktdjup 1–2 m och på schaktdjup på 1,5–2 m vad gäller ledningar och pumpstation. Utgående från en total arbetstid på 6 månader uppförs i genomsnitt 8 m tätvallar/dag och i genomsnitt 4 m tätvallar/dag vid en total arbetstid på 12 månader. Figur 12 till Figur 14 visar beräknat inflöde (L/min) som funktion av schaktarea samt schaktdjup under grundvattenytan i grovkornig morän ($K = 7,5 \cdot 10^{-6}$ m/s), finkornig morän ($K = 5 \cdot 10^{-7}$ m/s) respektive blockig morän ($K = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s). Värden för grov- och finkornig morän är hämtade från Werner et al. (2013); skattning av moränens hydrauliska konduktivitet i det aktuella området utifrån kornstorleksanalys finns för endast ett jordprov. Värdet för blockig morän baseras på genomförda slugtester (kapitel 2). Beräknat inflöde visas för olika schaktareor (5, 10, 20 respektive 40 m²); 40 och 20 m² motsvarar ett 5 m brett och 8 respektive 4 m långt schakt (utifrån etappvis utbyggnadstakt ovan). I beräkningarna har rektangulära schakt approximerats med en ekvivalent cirkel med radien r_{ekv} ($= r_w$).

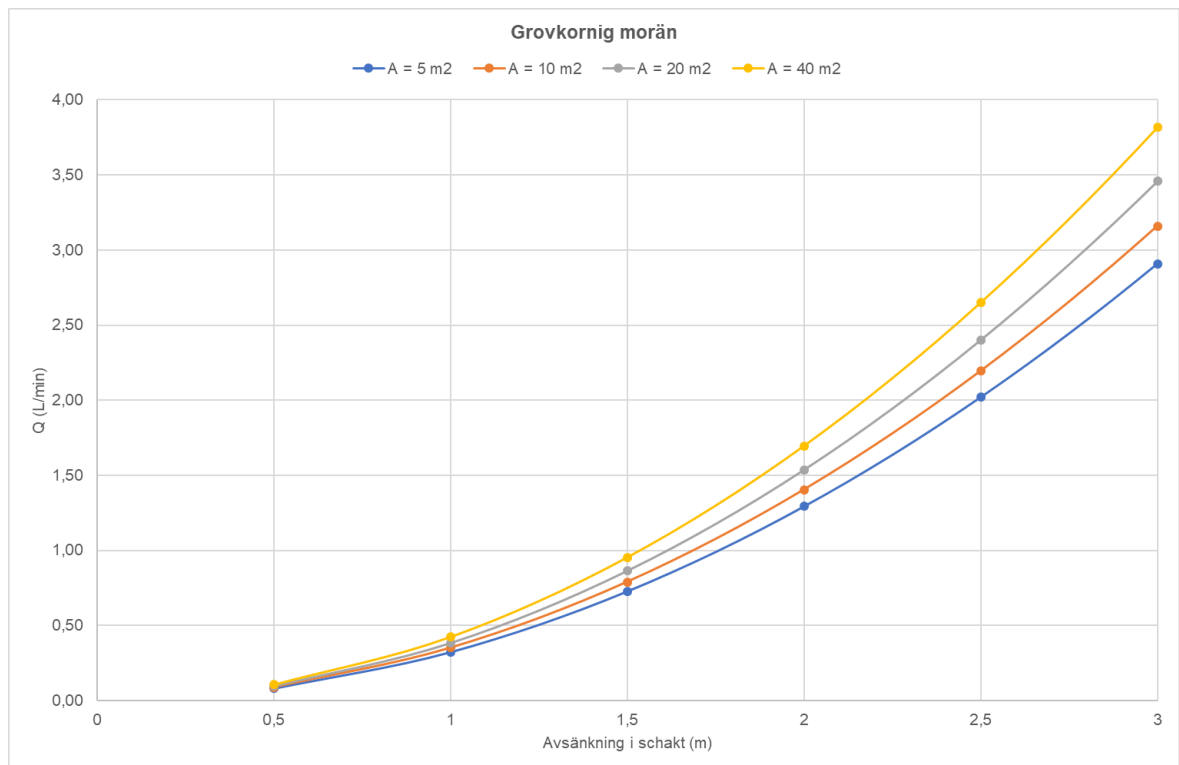
Som framgår av Figur 12 till Figur 14 styrs inflödet främst av schaktdjupet under grundvattenytan och jordart där schaktarbeten utförs. Schaktets area är av underordnad betydelse (dess inverkan ökar dock med schaktdjupet). För aktuella schaktdjup (här konservativt antaget som maximalt 3 m under grundvattenytan) är det beräknade inflödet till ett schakt i grovkornig morän cirka 3 L/min. För ett schakt i finkornig morän är motsvarande cirka 0,2 L/min och cirka 40 L/min för ett schakt i blockig morän.

Figur 15 visar beräknat påverkansavstånd från schakt som funktion av länshållningstid (h) vid ovannämnda inflöden (0,2 L/min, 3 L/min respektive 40 L/min). Påverkansavståndet är här definierad som det radiella avståndet r från ett länshållet schakt där avsänkningen $s = 0,1$ m. Vid beräkningarna antas slutna grundvattenförhållanden (motsvarande avsänkning i områden med torv och lera). Det ska påpekas att påverkansområdets utsträckning som funktion av tid även beror på magasinskoefficienten S ; vid beräkningarna antas $S = 0,05$.

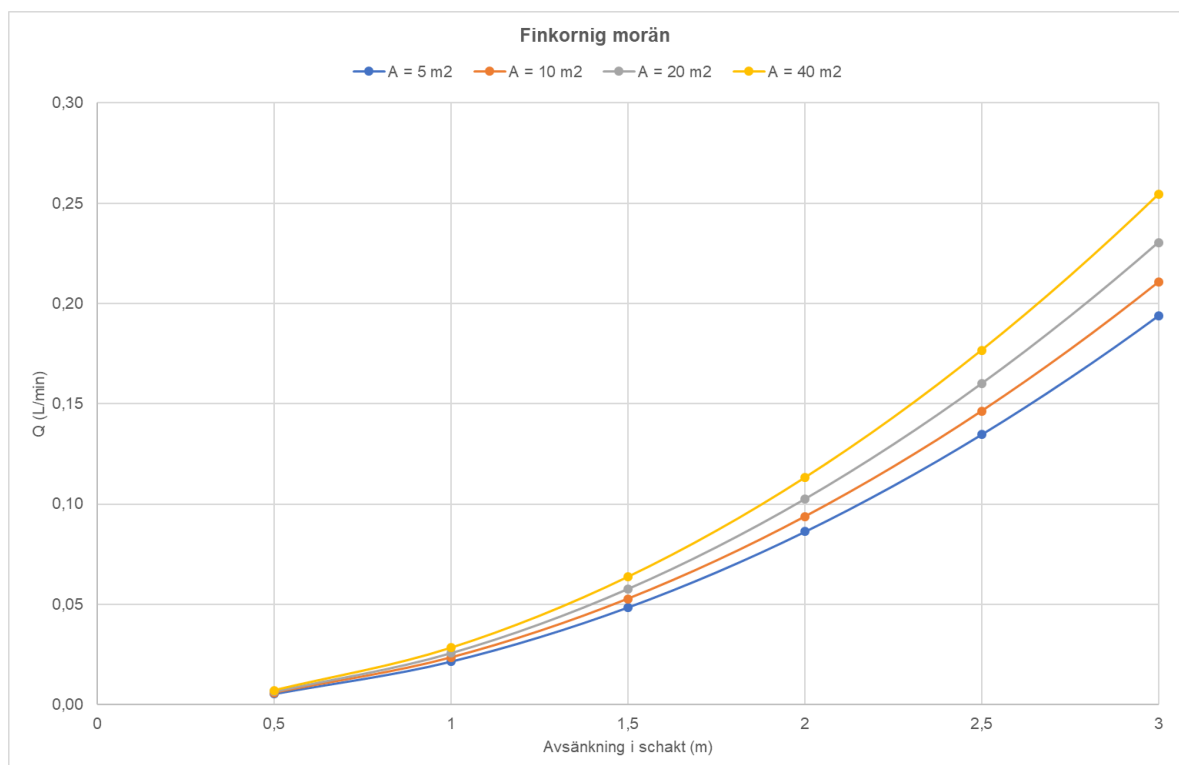
Som framgår av figuren sträcker sig det beräknade påverkansavståndet i storleksordningen 5 m radiellt från ett schakt efter cirka tre dygns länshållning om inflödet endast är 0,2 L/min. Påverkansavståndet är i storleksordningen 10–20 m om inflödet är 3 L/min, och något tiotal m om inflödet är 40 L/min. Som framgår av Figur 15 ökar påverkansavståndet med länshållningstiden, vilket är viktigt att beakta vid planering av schaktarbeten och tillhörande tid som länshållning per schakt pågår.

Figur 16 illustrerar exempel på påverkansområdets beräknade utsträckning vid etappvis utbyggnad av tätvallarna och ett inflöde på 40 L/min per schakt. Exemplet i figuren avser schakt för uppförande av tätvallar i anslutning till kringliggande naturvärdesobjekt (2, 6 och 14). I figuren antas påverkansavståndet vara 50 m, det vill säga påverkansavståndet efter cirka 3 dygns länshållning per schakt (se Figur 15). Som framgår av figuren innebär etappvis utbyggnad att temporära påverkansområden uppstår i takt med utbyggnaden, vilket också innebär att avsänkningen kring respektive schakt upphör då länshållningen avslutas.

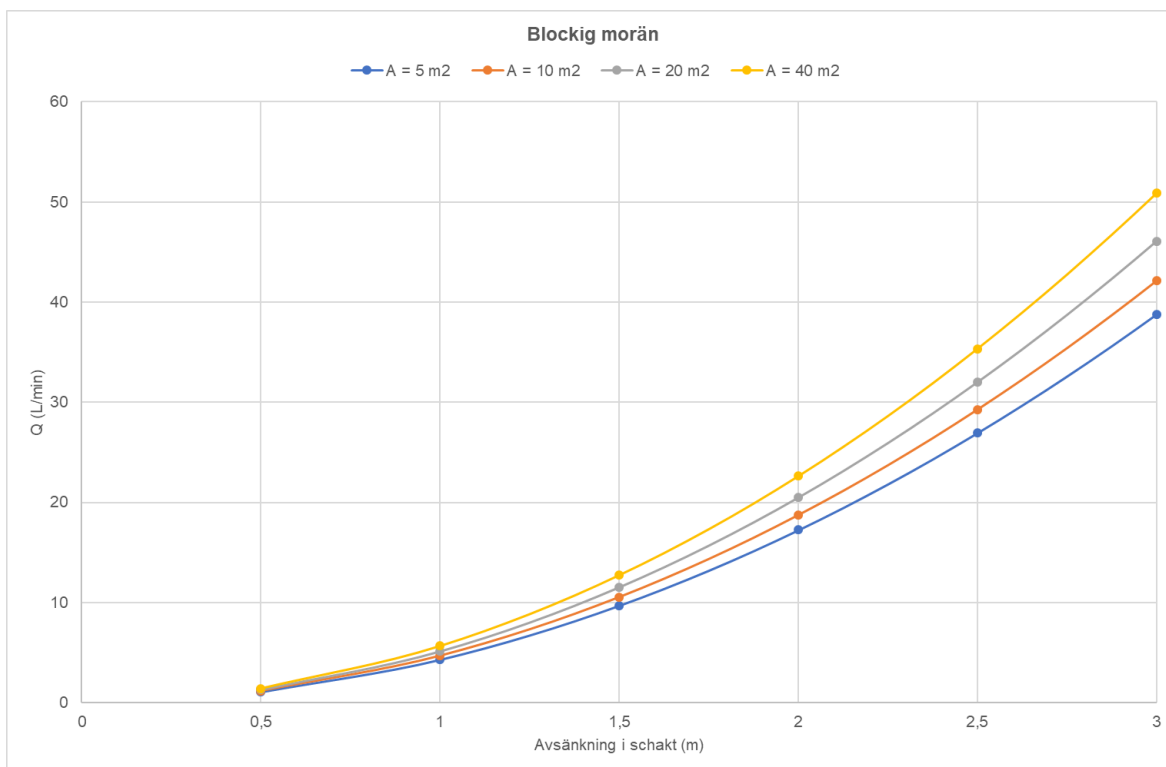
Upplag för jord- och bergmassor på Ön 1:1 - hydrogeologisk utredning



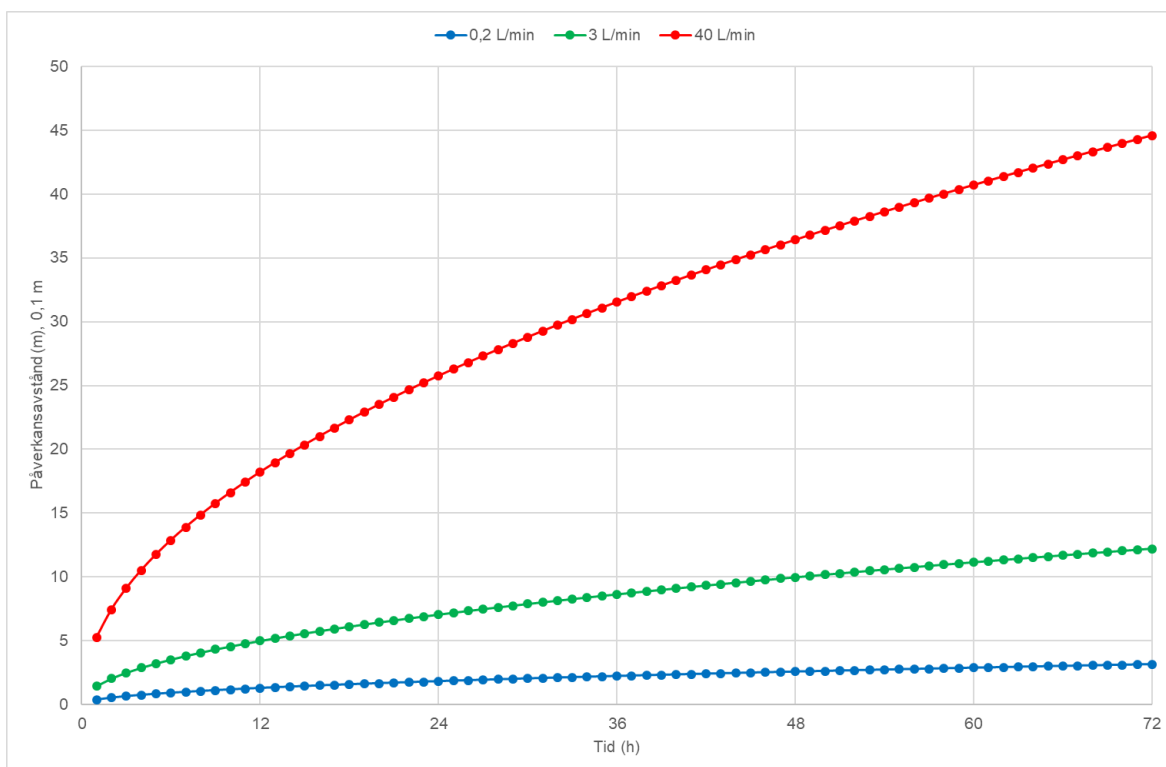
Figur 12. Beräknat inflöde (L/min) som funktion av schaktarea samt schaktdjup under grundvattenytan i grovkornig morän.



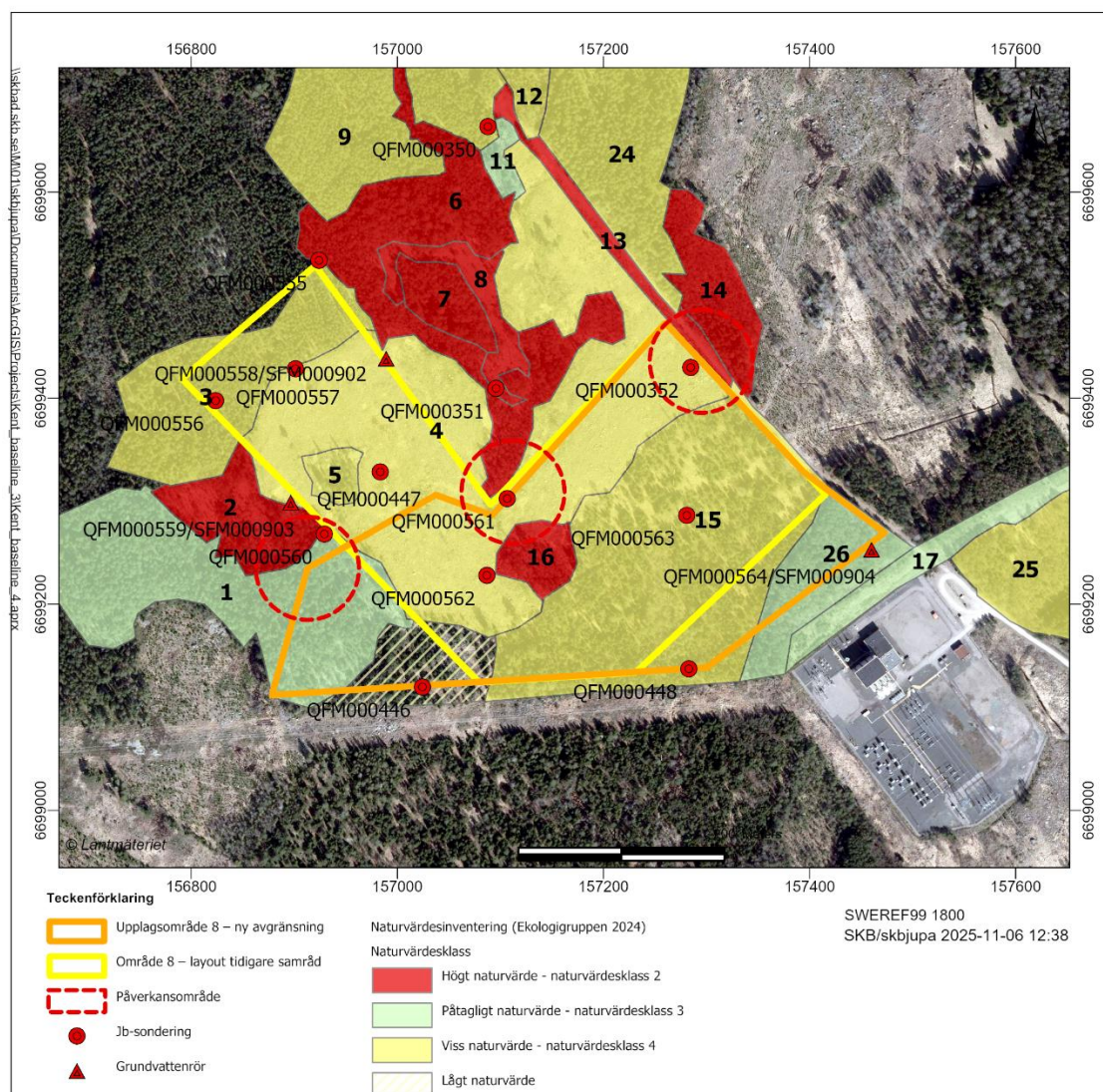
Figur 13. Beräknat inflöde (L/min) som funktion av schaktarea samt schaktdjup under grundvattenytan i finkornig morän.



Figur 14. Beräknat inflöde (L/min) som funktion av schaktarea samt schaktdjup under grundvattenytan i blockig morän.



Figur 15. Beräknat påverkansavstånd (avsänkning = 0,1 m) från schakt som funktion av länshållningstid (h) vid inflöde 0,2 L/min, 3 L/min respektive 40 L/min.



Figur 16. Exempel på påverkansområdets beräknade utsträckning vid etappvis utbyggnad av tätvallarna och ett inflöde på 40 L/min per schakt. Vid etappvis utbyggnad är påverkansområdet kring respektive schakt temporärt och avsänkning upphör då länshållningen avslutas.

Utifrån ovanstående överslagsberäkningar kan det alltså konstateras att länshållning vid schaktarbeten under grundvattenytan kan ge upphov till en temporär avsänkning vars påverkansområde omfattar delar av kringliggande naturvärdesobjekt. Försiktighetsåtgärder, såsom planering av schaktarbeten och så kort tid för länshållning per schakt som möjligt, kommer därför att vidtas särskilt vid anläggande av tätvallar längs sträckor längs de grundvattenberoende naturvärdesobjekten 2, 6 och 14. Det kontrollprogram som nämns i kapitel 4 kommer att upprättas i god tid för att följa upp eventuell påverkan även under uppförandeskedet.

Verksamhetsområdet är i nära anslutning till Svenska Kraftnäts anläggningar Dannebo strömriktarstation samt 400 kV kraftledning. Som framgår av Figur 2 kringgärdas strömriktarstationen i norr och väster av ett djupt dike som håller stationsområdet dränerat. Dikets dränerande effekt kan även noteras för grundvattenröret SFM000904, som är beläget nära diket (avsnitt 3.2.1). Det finns därför god marginal till rådande dräneringsnivå, och stationen bedöms inte vara känslig för sättningar till följd av grundvattenbortledning vid schaktarbeten. Gällande de geotekniska förhållandena längs

kraftledningsstråken är bedömningen att dessa är grundlagda på så sätt att de heller inte är sättningskänsliga.

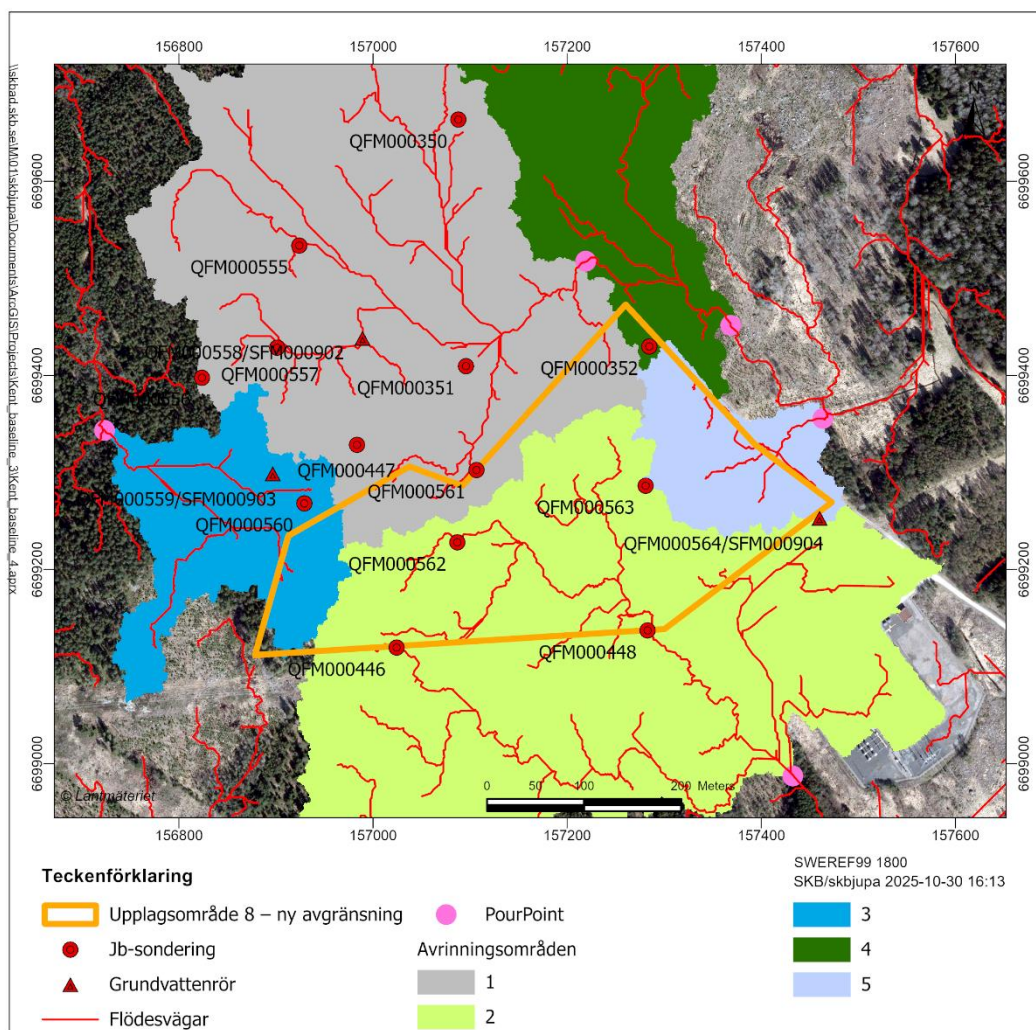
4 Hydrologiska effekter under driftskedet

Som redan nämnts är moränen i området genom sin blockighet vattengenomsläpplig *in situ*. Detta i kombination med uppsprucket ytberg och närheten till känsliga naturvärdesobjekt innebär att uppsamling och bortledning av lakvatten, förutom tätvallar, sannolikt även förutsätter anläggande av botten tätning. Även om det inte utretts här, behövs sannolikt sådana åtgärder även med avseende på deponiförordningens krav på geologisk barriär.

Sådana skyddsåtgärder kopplade till uppsamling av lakvatten innebär en reduktion av grundvattenbildningen i verksamhetsområdet och som bidrar till grundvattenutströmningen i kringliggande naturvärdesobjekt. Bedömningen avseende hydrologiska effekter under driftskedet utgår från topografiskt styrda flödesvägar, samt avrinningsområden för de naturvärdesobjekt nära verksamhetsområdet som bedöms vara grundvattenberoende och därmed potentiellt känsliga för potentiell hydrologisk påverkan.

Figur 17 visar topografiskt styrda flödesvägar (röda linjer) samt avrinningsområden för avrinningspunkterna ("PourPoint") som definierats för naturvärdesobjekten 2, 6–8 och 14. Med den justerade utformningen av verksamhetsområdet (se även avsnitt 3.1) omfattar detta område cirka 8 % (mot tidigare 25 %) av avrinningsområdet för naturvärdesobjekten 6–8, samt 18 % av avrinningsområdet för naturvärdesobjekt 2. Som nämnts är avrinningen förbi vägen som löper längs verksamhetsområdets östra del och avrinner vidare mot naturvärdesobjekt 14 är utanför verksamhetsområdet (0,5 % är inom verksamhetsområdet).

Utifrån ovanstående kan det alltså konstateras att en minskning av grundvattenbildningen inom verksamhetsområdet under driftskedet kan medföra viss hydrologisk påverkan, i första hand för naturvärdesobjekt 2 och eventuellt också naturvärdesobjekten 6–8. SKB kommer därför att upprätta ett hydrologiskt och ekologiskt kontrollprogram som omfattar dessa naturvärdesobjekt. För hydrologisk uppföljning kommer grundvattenrör att installeras i naturvärdesobjekt 2 (myrmark) och 8 (öppet kärr). Som framgått ovan bedöms Dannebo strömriktarstation och kraftledningsstråken ur geoteknisk synpunkt inte vara känsliga för hydrologisk påverkan.



Figur 17. Aktuell utformning av verksamhetsområdet (orange linje), samt avrinningsområden för naturvärdesobjekt 2 (avrinningsområde 3), naturvärdesobjekt 6–8 (avrinningsområde 1), avrinningsområdet för den största delen av verksamhetsområdet (avrinningsområde 2) och avrinningsområdet för naturvärdesobjekt 14 (avrinningsområde 4).

5 Slutsatser

- Länshållning vid etappvisa schaktarbeten under grundvattenytan kan ge upphov till en temporär avsänkning vars påverkansområde omfattar delar av kringliggande naturvärdesobjekt. Försiktighetsåtgärder, såsom planering av etappvisa schaktarbeten och korta tider för länshållning per schakt (i syfte att minimera påverkansområdets utsträckning), kommer därför att vidtas särskilt vid anläggande av tätvallar längs sträckor vid de grundvattenberoende naturvärdesobjekten 2, 6 och 14. Behov av försiktighetsåtgärder kommer att utvärderas vidare under detaljprojekteringen. Vatten som bortleds vid länshållning av schakt kommer att återledas till omgivande mark om det bedöms lämpligt med hänsyn till vattenkvalitet.
- En minskning av grundvattenbildningen inom verksamhetsområdet under driftskedet kan medföra viss hydrologisk påverkan, i första hand för naturvärdesobjekt 2 och eventuellt också naturvärdesobjekten 6–8. SKB kommer därför att upprätta ett hydrologiskt och ekologiskt kontrollprogram som omfattar dessa naturvärdesobjekt, och förbereda åtgärder om påverkan

Upplag för jord- och bergmassor på Ön 1:1 - hydrogeologisk utredning

uppstår. För hydrologisk uppföljning kommer grundvattenrör att installeras i naturvärdesobjekt 2 (myrmark) och 8 (öppet kärr).

- Dannebo strömriktarstation och kraftledningsstråken bedöms ur geoteknisk synpunkt inte vara känsliga för hydrologisk påverkan.

Referenser

Atmosudirdjo A, 2025. Slug tests in groundwater wells in Gunnarsbo area, Forsmark in 2025. SKBdoc 2093778 ver. 0.2, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bjerking, 2024. Markteknisk undersökningsrapport (MUR). Extern inert deponi. SKBdoc 2066681 ver. 0.3, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Bjerking, 2025a. Markteknisk undersökningsrapport (MUR) – bergupplag inom Ön 1:1, område 8 (ver. 2025-10-06).

Bjerking, 2025b. PM Geoteknik – bergupplag inom Ön 1:1, område 8 (ver. 2025-10-03).

Ekologigruppen, 2024. Deponiytor Forsmark. Naturvärdesinventering enligt SIS-standard 199000:2023, samt inventering av groddjur och fladdermöss i två områden inför planerad deponi i Forsmark. SKBdoc 2058735 ver. 1.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kresic N, 1997. Quantitative solutions in hydrogeology and groundwater modeling. Lewis Publishers, Boca Raton, N.Y., USA.

Werner K, Sassner M, Johansson E, 2013. Hydrology and near-surface hydrogeology at Forsmark – synthesis for the SR-PSU project. SR-PSU Biosphere. SKB R-13-19, Svensk Kärnbränslehantering AB.

WSP, 2025. Dagvattenutredning Forsmark, bergupplag. SKBdoc 2069061 ver 2.0, Svensk Kärnbränslehantering AB.