

Ostlänken

Skiren samlad bedömning

Delområde Kolmårdstunneln

Norrköpings kommun, Östergötlands län

Bilaga D.2.3 till PM Yt- och grundvatten

2024-04-16



Dokumenttitel: Skiren samlad bedömning

Författare: Sweco

Dokumentdatum: 2024-04-16

Ärendenummer: TRV 2017/112658

Namn i PDBi: OLP2-04-025-21-0_0-7704

Version: _

Innehåll

1. Inledning	4
2. Områdesbeskrivning	4
2.1. Sjön Skiren	4
2.2. Miljökvalitetsnormer för vatten	8
2.3. Naturvärden	8
2.4. Jordlager	9
3. Berggrund	10
3.1. Övergripande geologi	11
3.2. Strukturgeologi	15
3.3. Bergets hydrauliska egenskaper	17
4. Vattenbalans	20
4.1. Avrinningsområde	20
4.2. Nederbörd	22
4.3. Evapotranspiration	23
4.4. Uttag	23
4.5. Vattenstånd och avrinning	24
4.6. Sammanfattning av nuvarande förhållanden	31
5. Tunnel vid Skiren	32
5.1. Anläggningen	32
5.2. Tätning och bedömt inläckage	32
5.2.1. Inläckagebedömning	35
5.2.2. Indata	36
5.2.3. Resultat Analytiska beräkningar	36
5.2.4. Modellerings	37
5.2.5. Sammanfattning av inläckageberäkningar	38
5.3. Vattenbalans med tunnel	38
6. Bedömd påverkan	39
6.1. Miljökvalitetsnormer för vatten	41
6.1.1. Påverkan på hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna	41
6.2. Riksintresse naturmiljö	42
6.3. Regeringens tillåtighetsvillkor	43
6.4. Samlad bedömning inklusive tillåtighetsfaktorer	44

1. Inledning

I denna PM beskrivs hur sjön Skiren bedöms komma att påverkas när Ostlänken utförs i bergtunnel nordväst om sjön. Dokumentet ingår som underlag i miljöprövningen och är en bilaga till PM Yt- och grundvatten. I *Skiren samlad bedömning* fokuseras främst på att beskriva själva sjön och bergtunnelns påverkan på hydrologin. I dokumentet beskrivs även konsekvenser för miljökvalitetsnormer och naturvärden samt en bedömning av uppfyllelsen av regeringens tillåtlighetsvillkor 5 och 6.

Byggandet av bergtunneln innebär att inläckande grundvatten leds bort i både bygg- och driftskede och leds bort från avrinningsområdet, vilket kan medföra påverkan på grundvattennivåerna i omgivningen liksom vattentillgången i och nedströms Skiren. Vilken effekt som grundvattenbortledningen får på omgivningen beror till stor del på vattenbalansen, dvs hur stor andel av tillgängligt vatten som leds bort via tunneln.

Inledningsvis i PM beskrivs sjön, berggrunden och avrinningsområdet. Därefter redovisas en vattenbalans för Skiren, för år med normal nederbörd och för torrår. Denna jämförs sedan med påverkan på vattenbalans efter inläckage av grundvatten till Kolmårdstunneln.

2. Områdesbeskrivning

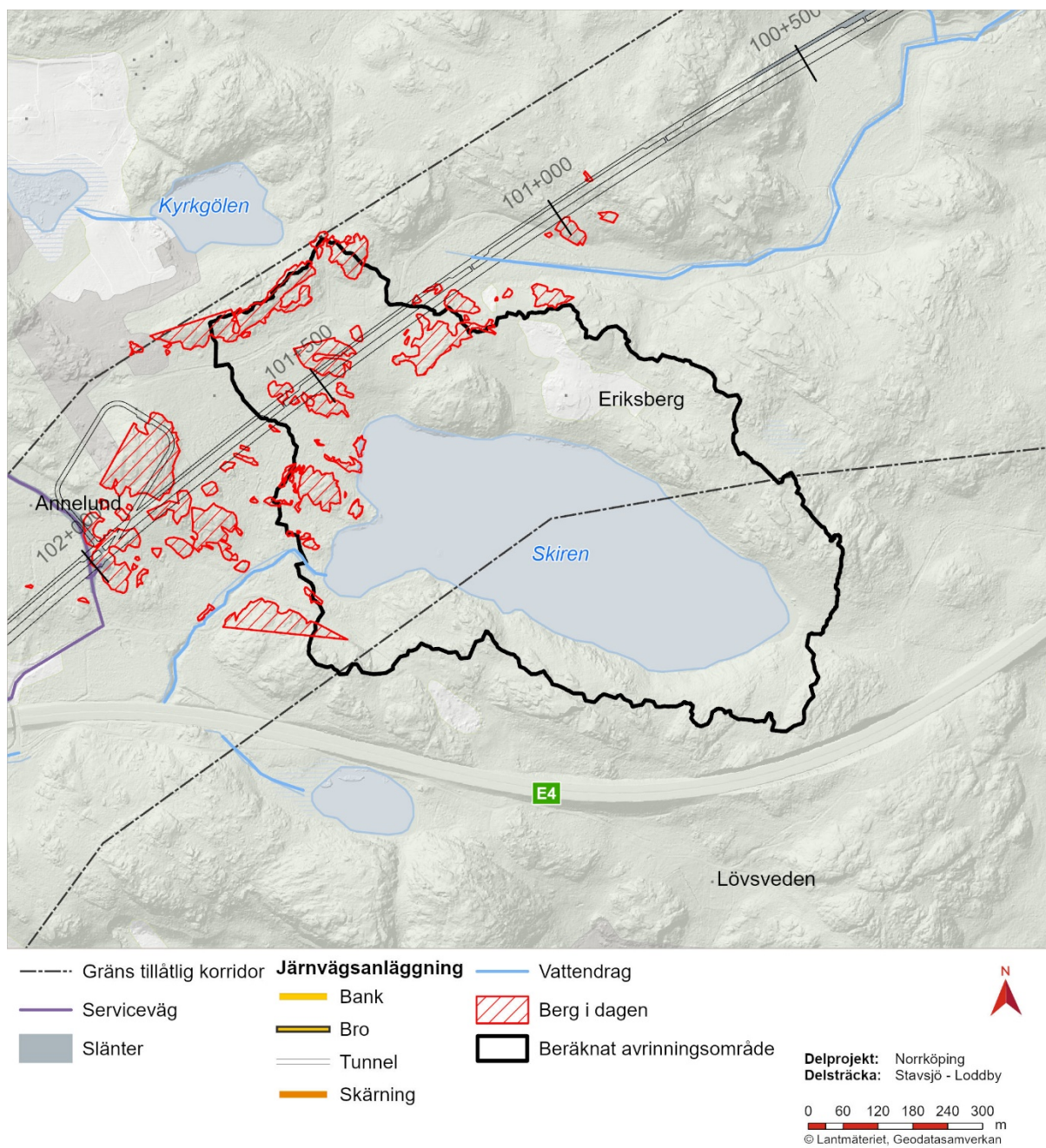
2.1. Sjön Skiren

Skiren ligger sju kilometer norr om Norrköping och är en högt belägen klarvattensjö med vattenytan på +85 meter. Sjön ligger på den södra randen av Kolmårdsmassivet och i anslutning till Bråviken. Området kring Skiren är kuperat och sjön har ett litet avrinningsområde (tillrinningsområde) se Figur 1. Sjön har bildats i en förkastning/spricka i berget vid randzonen till Bråviksförkastningen (SGU Serie Af Nr 123). Förkastningen har bildats genom stora rörelser i berget där rörelser och särskilt uttalade sprickgrupper delvis har legat till grund för bildandet av områdets dramatiska topografi – blockbildning av bergmassan med varierande hög- och lågområden. Att sjön ligger i en spricka/förkastning medför att den har ett relativt stort djup, med ett största djup på 46 meter.

Skirens avrinningsområde består av skogsmark med delvis tunn jord och kalt berg. Väster om sjön har avrinningsområdet en något större utbredning och här finns ett mindre grundvattenmagasin i jord. Avrinningsområdets storlek har karterats till cirka 0,55 km².

Kombination av ett litet tillrinningsområde och en stor sjövolym gör att vattenomsättningstiden är ovanligt lång, cirka 57 år. Det medför att näringsämnen som transporteras till sjön har mycket lång tid att avskiljas endera via växtupptag, sedimentering eller denitrifikation. Sammantaget med tillrinning från magra och näringsfattiga marker och en lång omsättningstid gör Skiren näringsfattig och den har klassats som ultraoligotrof och det medför i sin tur att sjön är ovanligt klar med ett stort siktdjup. I Tabell 1 nedan finns fakta om Skiren, se även profiler och volymberäkningar i Figur 2, Figur 3 och Figur 4.

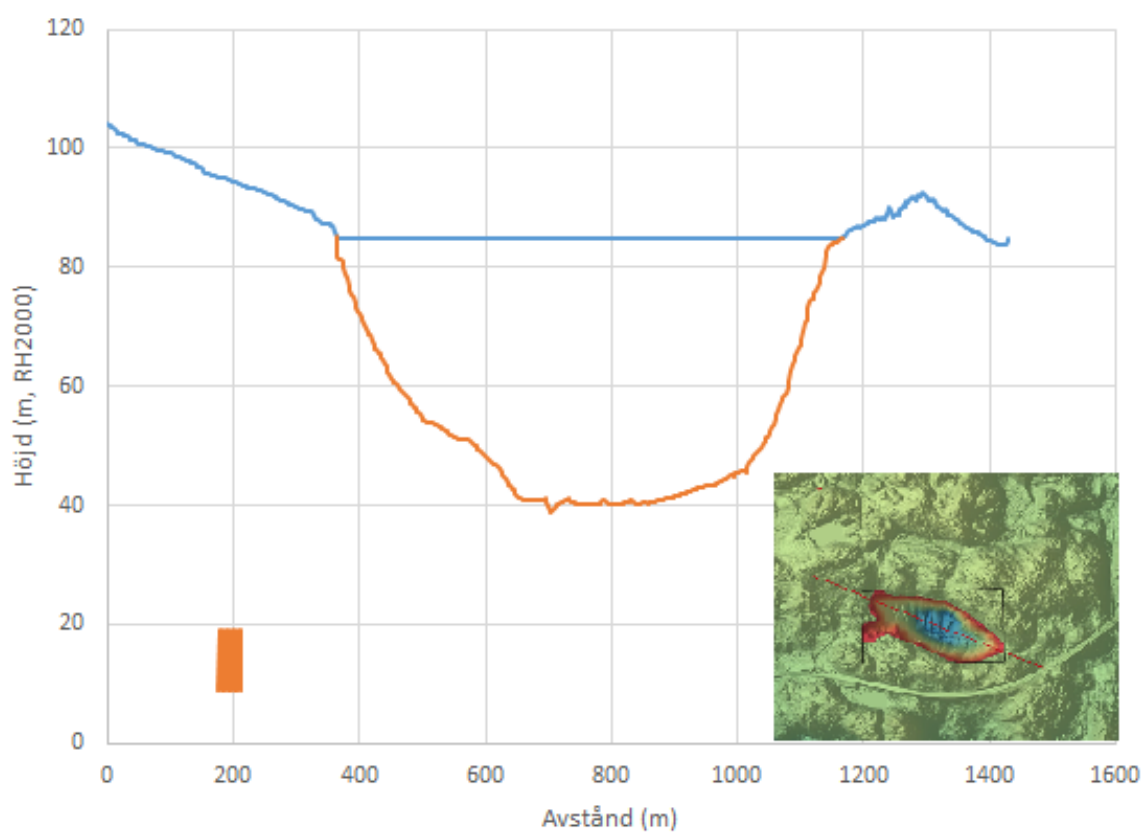
Skirens unika egenskaper är avhängiga främst två processer/parametrar, vattenbalansen och det tillrinnande vattnets kvalitet/näringsinnehåll.



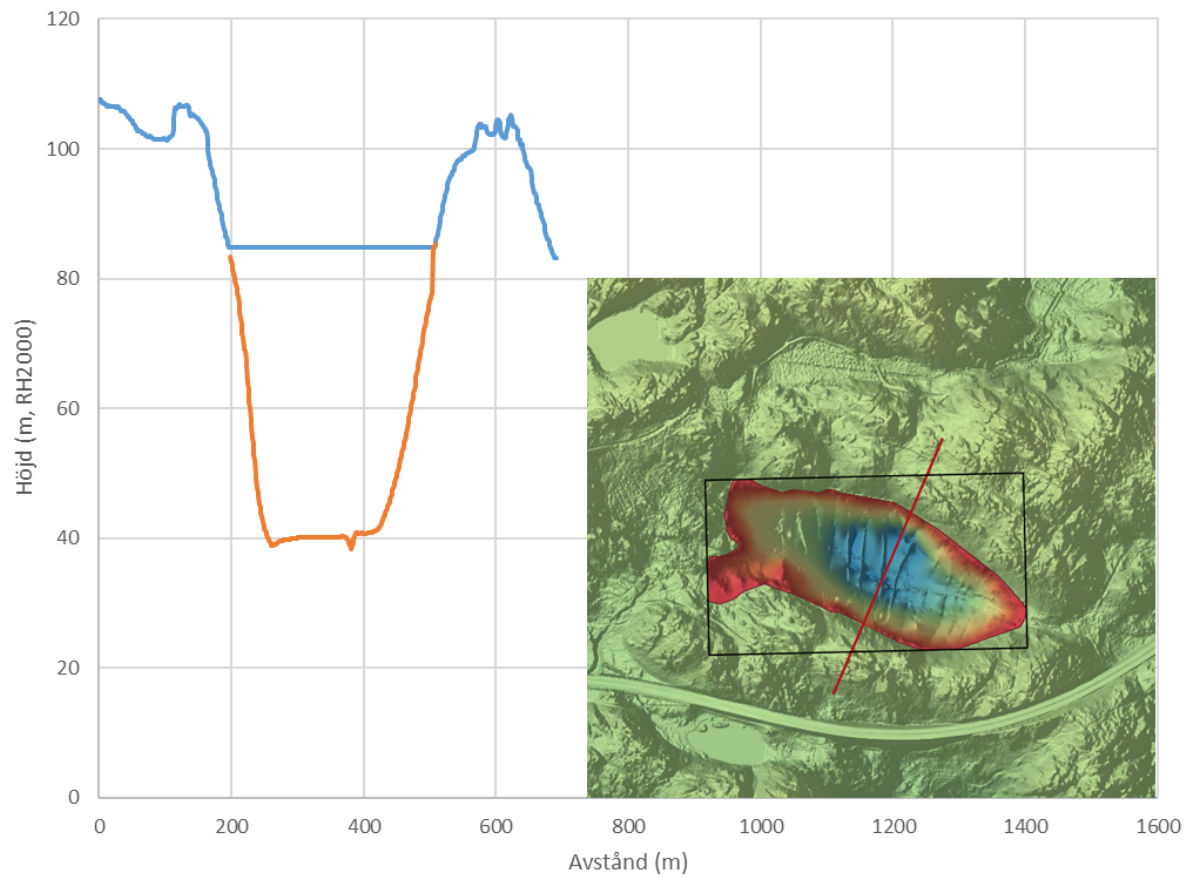
Figur 1. Skirens avrinningsområde (tillrinningsområde) visas med svart markering.

Tabell 1. Sammanställning av fakta om Skiren

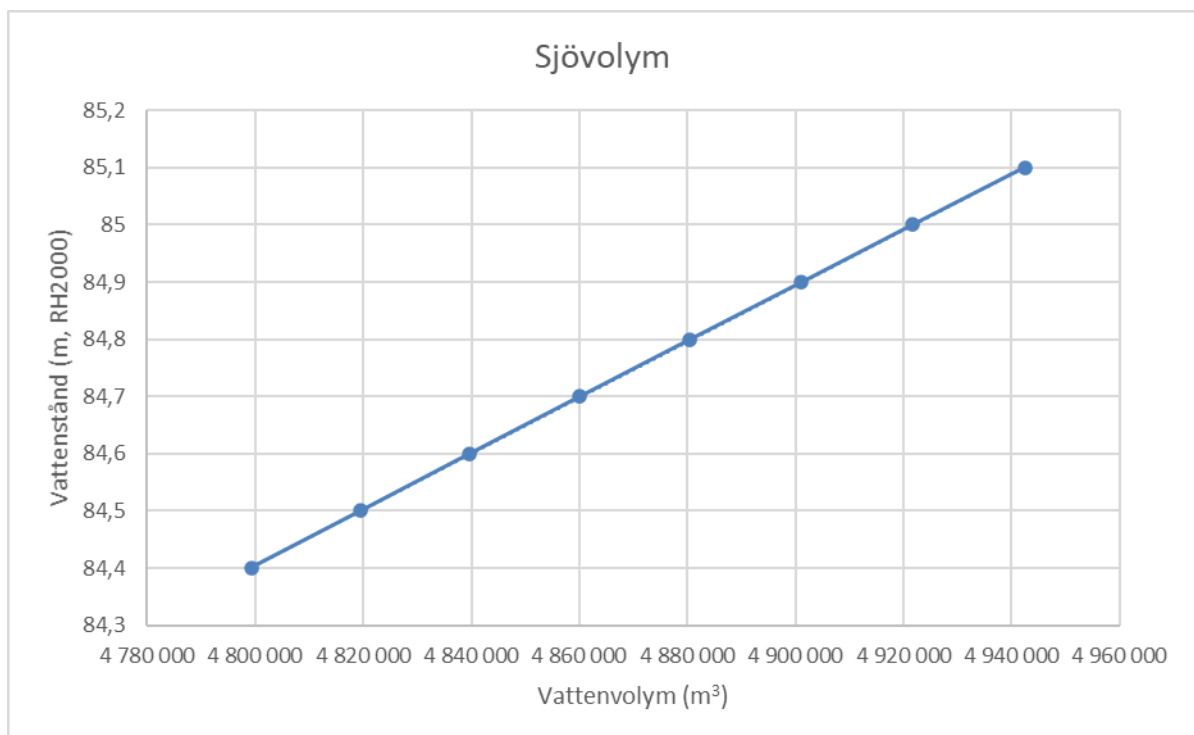
Parameter	Värde
Area	0,17 km ²
Största djup	46 meter
Volym	4,9 miljoner m ³ (vid medelvattenståndet)
Omsättningstid	Ca 57 år
Siktdjup	>10 meter



Figur 2. Profil över Skiren från nordväst till sydöst . Blå linje är markyta/sjöyta. Orange linje är sjöbotten. Orange markering nere till vänster är ungefärlig placering av tunnelanläggningen. Observera att längdskalan är 10 gånger höjdskalet.



Figur 3. Profil över Skiren från norr till söder. Blå linje är markyta/sjöyta. Orange linje är sjöbotten. Observera att längdskalan är 10 gånger höjdskalet.



Figur 4. Skirens vattenvolym vid olika vattenstånd.

Avrinningen, dvs utflödet från sjön, sker längs en jordfylld svacka i sjöns västra del, dels som ytvatten i en bäck centralt i svackan, dels som grundvatten i jord och berg, se Figur 1. Bäckens rinner söderut under E4, längs Nyköpingsvägen och mynnar slutligen i Bråviken.

Skiren nyttjas som vattentäkt för ett antal enskilda fastigheter, konferens- och hotellanläggning samt för jordbruk och bevattning.

2.2. Miljökvalitetsnormer för vatten

Beslutad miljökvalitetsnorm för vattenförekomsten Skiren är god ekologisk status 2027 och god kemisk ytvattenstatus, med undantag för kvicksilver och difenyleter (enligt den tredje förvaltningscykeln i VISS 2023-05-02).

Sjöns ekologiska status har bedömts som måttlig (tredje förvaltningscykel, VISS 2019-08-30). Vattenförekomsten bedöms i huvudsak påverkas av övergödning. Kvalitetsfaktorn fisk bedöms vara måttlig (tredje förvaltningscykel VISS 2019-05-15) baserat på ett provfiske. Kvalitetsfaktorn hydrologisk regim och parametrarna som ingår är ej klassade i VISS.

Skiren uppnår inte god kemisk status med avseende på Bromerade difenyletrar (PBDE) samt kvicksilver (Hg), liksom för kvicksilverföreningar som överskrider gränsvärdena i alla Sveriges undersökta ytvattenförekomster: sjöar, vattendrag och kustvatten.

2.3. Naturvärden

Skiren (N21-0060) bedöms ha högsta naturvärde (naturvärdesklass 1). De höga naturvärdena är kopplade till sjöns klara och näringsfattiga vatten, sjön har ett siktdjup på mer än 10 meter. Sjöns bildande har medfört förutsättningar för en förekomst av glacialmarina relikter såsom nors, sjösyrsa, vitmärta och pungräka. Här finns även de rödlistade arterna flodkräfta och lake vars förekomst kunde konstateras vid det provfiske som genomfördes 2017.

Skiren är sedan 1980-talet klassad som Riksintresse för naturvård (NRO 05057). Värdeomdöme för riksintresset är, "Skiren med dess rödingbestånd och glacialrelikta kräftdjur utgör en utomordentligt värdefull och skyddsvärd naturmiljö", (NRO 050 57). Rödingsbeståndet bedöms idag vara utdött, till följd av ett hårt nätfiske under 1960- och 1970-talet. Skiren ingår i Norrköpings kommuns naturvårdsprogram och omfattas även av ett fiskevårdsområde. Sjöns vattenvegetation undersöktes 2017 och inventeringsresultaten visade på hög ekologisk status avseende makrofyter med bland annat fynd av sjöhjorttron.

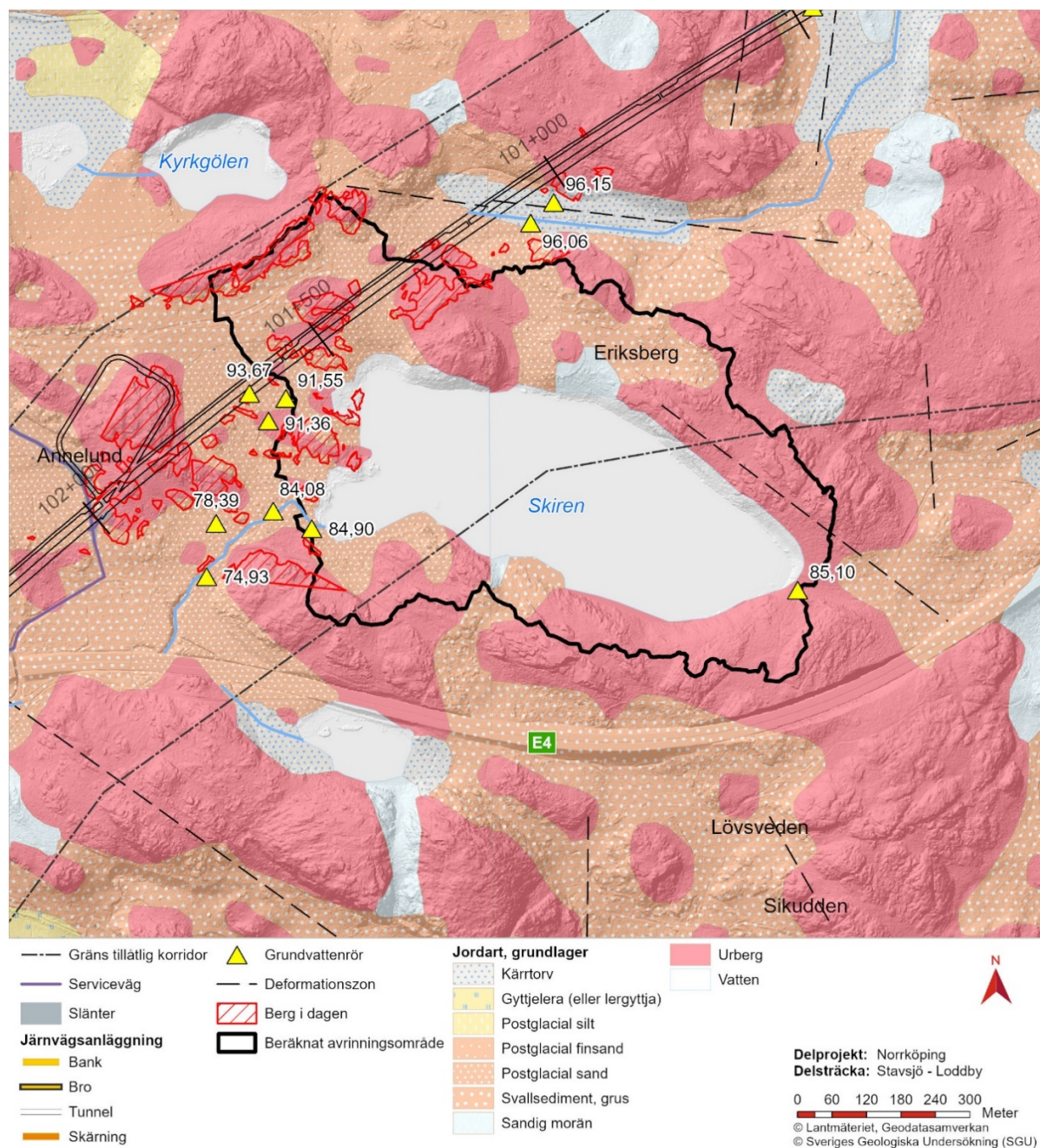
Skiren har även ett stort rekreativvärde och används bland annat som utflyktsmål för skogspromenader och bad.

Övre delen av bäcken från Skiren (N21-0114) bedöms ha högt naturvärde (naturvärdesklass 2) och avvattnar sjön i dess sydvästra del. Den norra delen av bäcken, från Skiren och norr om E4, är flack och relativt grund och är ofta torr sommartid. Söder om E4 rinner bäcken genom Norrvikenravinen (N21-0069) som har högt naturvärde och omfattas av skogligt biotopskydd (SK826-2006).

Nedre delen av bäcken från Skiren (N21-0115) tar vid söder om Norrvikenravinen och bedöms ha påtagligt naturvärde (naturvärdesklass 3) fram till utloppet i Norrviken, Inre Bråviken.

2.4. Jordlager

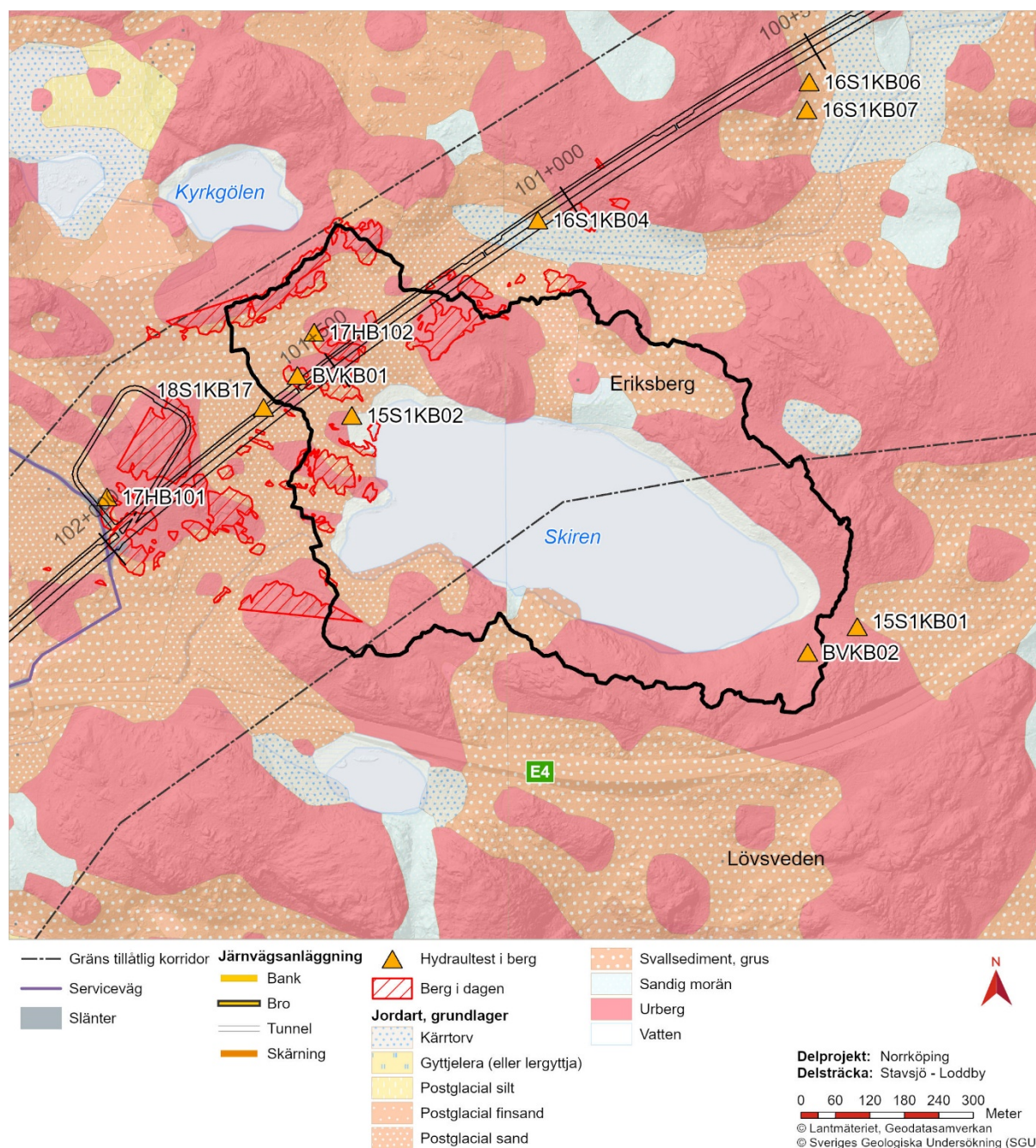
Undersökningar inom projektet visar att direkt öster och väster om Skiren förekommer vanligen silt och sand med inslag av grus ner till cirka 2–3 meter under markytan, se Figur 5. Lagret bedöms vara underlagrat av morän på berg. Enligt jord-bergsonderingar påträffas bergytan här 0,6-7,3 meter under markytan.



Figur 5. Skirens avrinningsområde med jordartskarta från SGU. Vita trianglar är grundvattenrör med uppmätt medelnivå.

3. Berggrund

Berggrunden i området har undersökts i fält genom ytkartering av exponerade hällar, genom kärnbörning, hammarbörning (Figur 6) och jord-bergsondering. Upptagna borrkärnor har karterats med avseende på bergartssammansättning och strukturella egenskaper för bestämmande av bland annat Q, RQD och GI. Vattenförlustmätning och borrhålsfilmning (BIPS) har skett i samtliga borrhål utom 16S1KB06 och 16S1KB07. Syftet med undersökningarna har främst varit att bedöma bergets hydrauliska konduktivitet och möjlighet till tätning.



Figur 6. Placering av undersökningspunkter i berg.

3.1. Övergripande geologi

Bergmassan är till stor del av god kvalitet (avseende tekniska egenskaper och byggbarhet) och med låg vattengenomsläpplighet. Fem kärnborrhål och två hammarborrningar är utförda runt Skiren, två kärnborrhål på den östra sidan och resterande på den västra. Utförda borrningar på den västra sidan har inte visat några större vattenförande zoner. På den östra sidan finns indikationer på en mindre svaghetszon alternativt kraftigt uppsprucket ytberg ned till cirka 10 meter i berg.

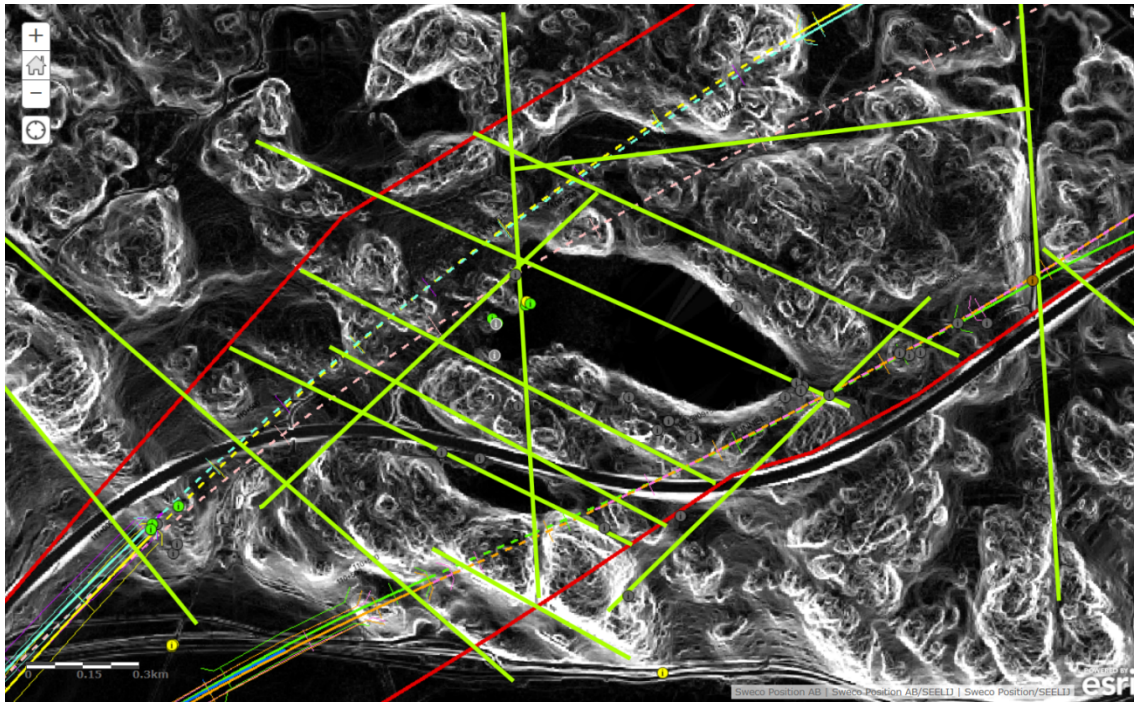
Undersökningar av Kolmårdsmassivet tyder på att bergmassan är relativt odeformerad och homogen inom undersökningsområdet väster om sjön Skiren, förutom de översta 10 metrarna. Inga omfattande deformationszoner har identifierats på djupet i någon av borrkärnorna. Deformationen som har setts har uteslutande förekommit i de cirka 10 översta metrarna och kan tillskrivas glaciotektoniska rörelser i samband med den senaste istiden samt djupvittning av berggrunden.

Omvandling av bergmassan är vanligen låg med lokala alterationer av hydrotermala strömningar och gångbergarter. Viss svag alteration av främst kalifältspater har identifierats längs tidigare sprickplan där viss upplösning, utfällning och färgförändring har skett. Små partier med breccierad, men omkristalliserad, bergmassa har identifierats i ett kärnborrhål (18S1KB17). Sprickplan uppvisar begränsad tillväxt av sprickfyllnadsmaterial.

Gångar av främst diabas har setts i samtliga borrkärnor. Omfattningen varierar från några centimeter till som mest en halvmeter. Svag kontaktmetamorfos, så som färgförändringar, har identifierats i kontakten mellan omkringliggande berg och gångbergarten. En viss antydning till partiell smälta har identifierats i fåtalet kontakter, som annars vanligtvis är skarp och ovittrad.

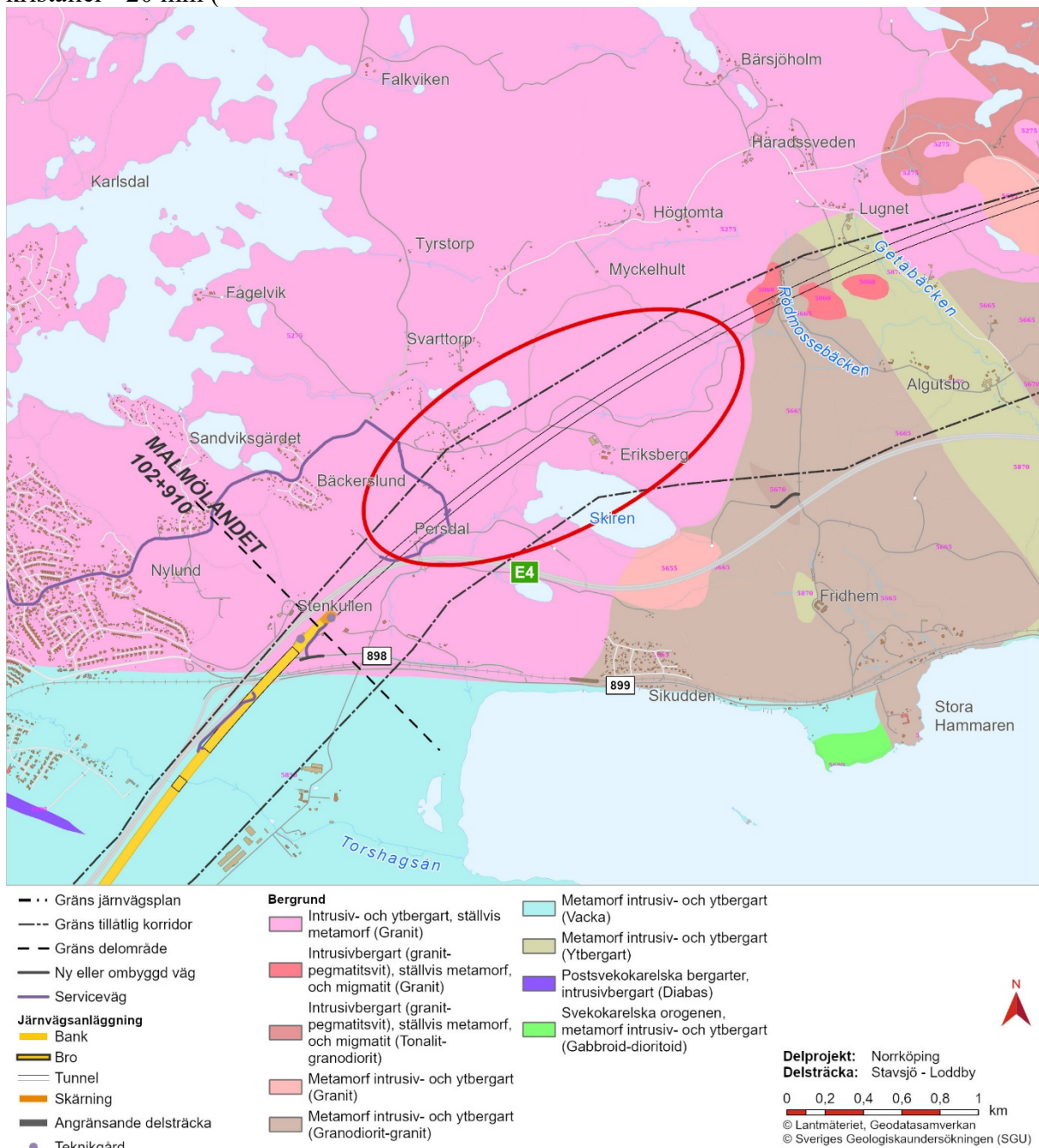
Området kring Skiren präglas av två graniter av olika åldrar och med skillnad i mineralogisk sammansättning och struktur. Från sjöns sydöstra hörn och österut dominerar en finkornig, porfyrisk granit som stundtals övergår i en något rödare, ögonförande granit. Nordväst om sjön är graniten grå till rödgrå, grovkornig och homogen (SGU Serie Af Nr 116 och Nr 123).

Som tidigare nämnts är bildningen av Skiren tektoniskt relaterad och antas ha bildats genom en samverkan av storskaliga strukturer. I Figur 7 ses en tolkning av olika storskaliga, lokala, geologiska strukturer som även sammanfaller med Skiren (observera att dessa inte ingår i den hydrogeologiska tolkningen, det vill säga att de skulle vara hydrauliskt aktiva).

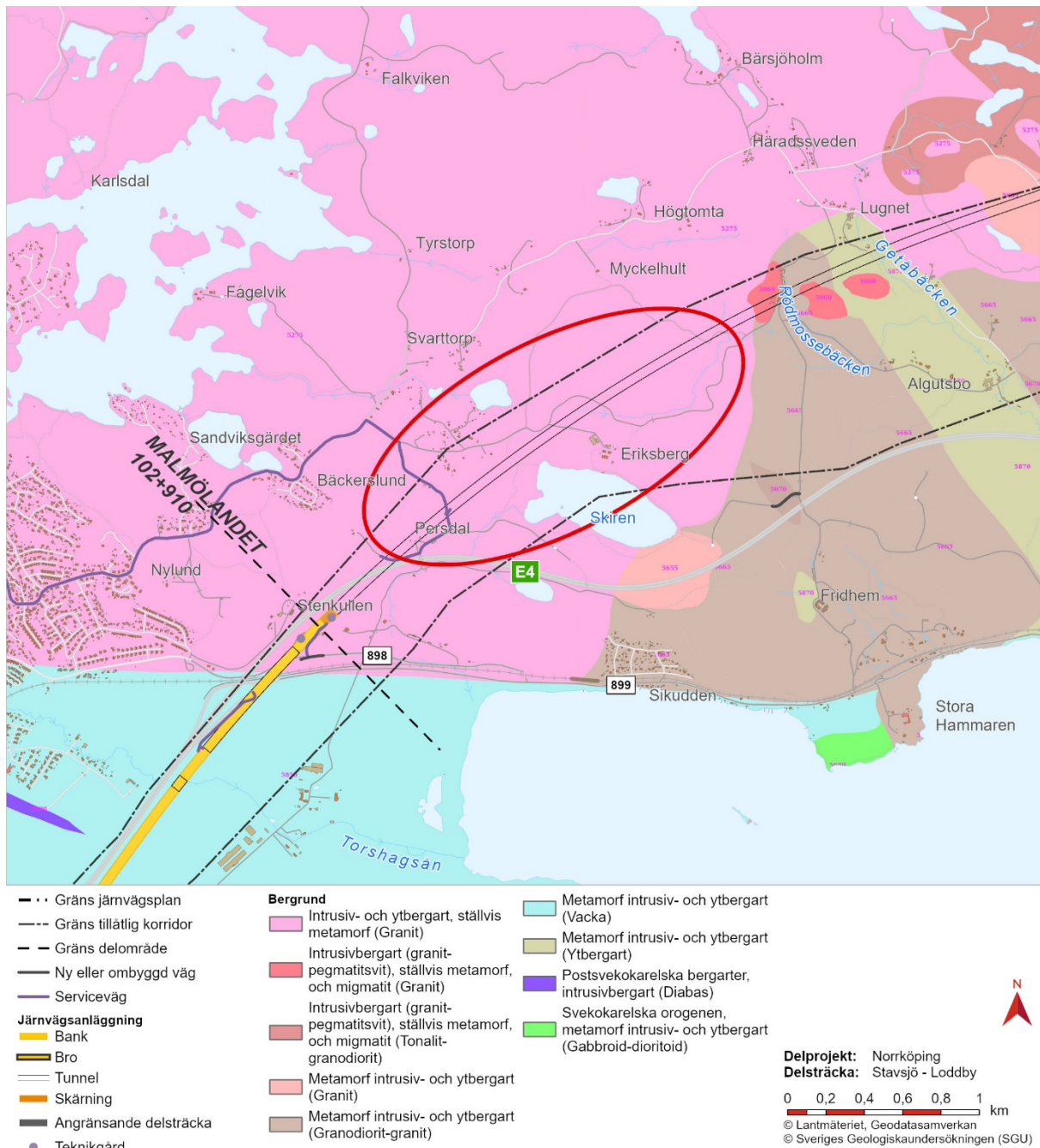


Figur 7. Bilden visar Skiren med tolkade lokala geologiska strukturer och studerade linjealternativ. I de svackor som utgör en förlängning av Skiren i nordvästlig och sydöstlig riktning förekommer företrädesvis siltiga och sandiga sediment.

Enligt berggrundskartan från SGU består berggrunden i sin helhet av en porfyrisk granit med kristaller >20 mm (



Figur 8). Berggrunden är åldersbestämd till mellan 1,87 – 1,84 miljarder år. Berggrunden i området är bildad i samband med den Svekofenniska orogenesen där bergskedjebildningen begravnade nu exponerade bergarter djupt ner i jordskorpan. Omfattande bildning och omkristallisering av graniter skedde under episoden, och den grova kristallstrukturen som idag kan ses i dagen inom området tyder på att dagens bergöveryta var begravnad djupt under en lång tid.



Figur 8. Berggrundskarta från SGU. Aktuellt område är markerat i rött.

Exponerade berghällar och samtliga upptagna borrhälskärnor har karterats med avseende på bergartssammansättning. Generellt uppvisar samtliga kärnor en grovkristallin granit med porfyrisk struktur. Sammansättningen varierar över kärnornas längd där ömsom kvarts, fältspat eller biotit är den dominerande mineralen. Färgen varierar mellan mörkgrå-grå-rödrosa beroende på sammansättning och eventuell omvandling (Figur 9).



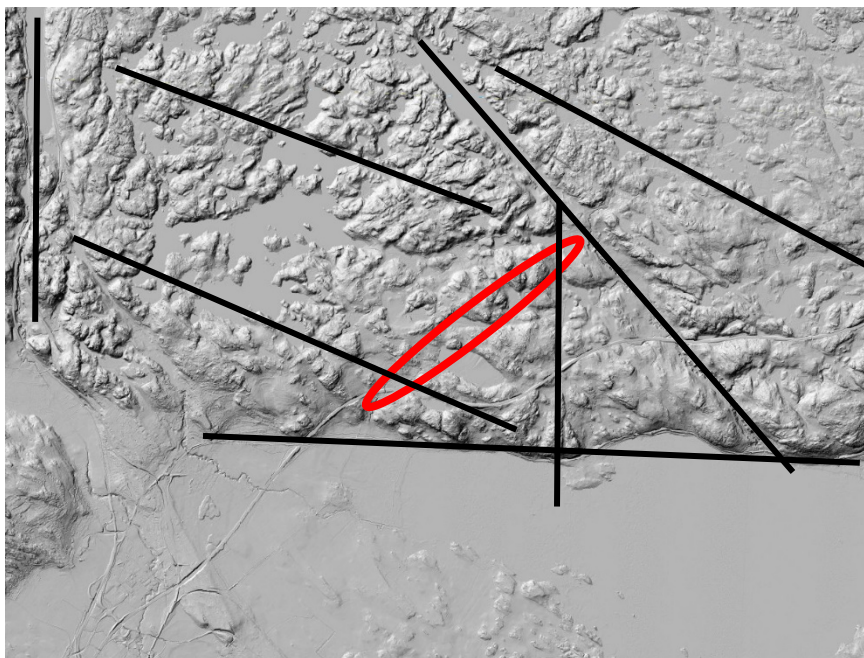
Figur 9. Representativt exempel på graniten inom aktuellt område. Sammansättningen av den porfyrisk graniten varierar över kärnans längd. Kärnan innehåller kristaller >5 centimeter. Fotot är hämtat från kärna 18S1KB17.

Mindre gångar finns i form av diabas och aplit. Gångarna är begränsade och överstiger sällan en bredd av några centimeter till maximalt en halvmeter. Kontakten mellan gångbergarter och omkringliggande bergmassa är generellt skarp utan vittrade partier och det kan ofta urskiljas en svag kontaktmetamorfos med missfärgade kristaller och i vissa, sällsynta, fall lågradig partiell smälta.

Generellt finns det få tecken på hydrotermala strömningar och omvandlingar i bergmassan. Viss omvandling kan antydats kring nu läkta spricksystem med färgförändring av kalifältspat och utfällning av sprickfyllnadsmaterial så som kvarts, kalcit, epidot, klorit, limonit och muskovit. På fåtalet ställen har sprickor med tunnare lerfyllning påträffats i borrhärlor (fåtalet centimeter tjocka lager).

3.2. Strukturgeologi

Storskaliga strukturer i norra Östergötland följer en generell N/NE - S/SW, W/NW – E/SE och N-S trend vilket tydligt kan uttydas ifrån identifierade lineationer på satellitfoton (Figur 10). Tydliga exempel på lineationer är Kolmårdsbranten och Getåravinen. Dessa överensstämmer även med den lokala karteringen över strukturer, tolkade från lineament, i Figur 7.



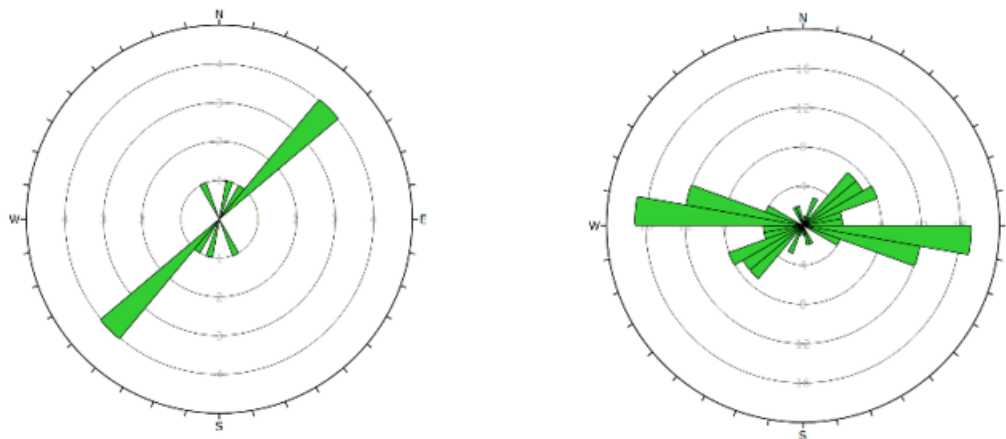
Figur 10. Hill shade karta över Kolmården. Aktuellt tunnelområde är markerat i rött. Dominerande regionala strukturer är markerade med svarta streck.

Regionala strukturer härstammar från en komplicerad tektonisk utveckling som har skett under flera episoder under Östergötlands geologiska historia. De tektoniska trenderna återfinns på alla skalor, och har observerats vid både hållkartering och i borrhälsborrningar. Åldersbestämning av rörelserna har inte utförts.

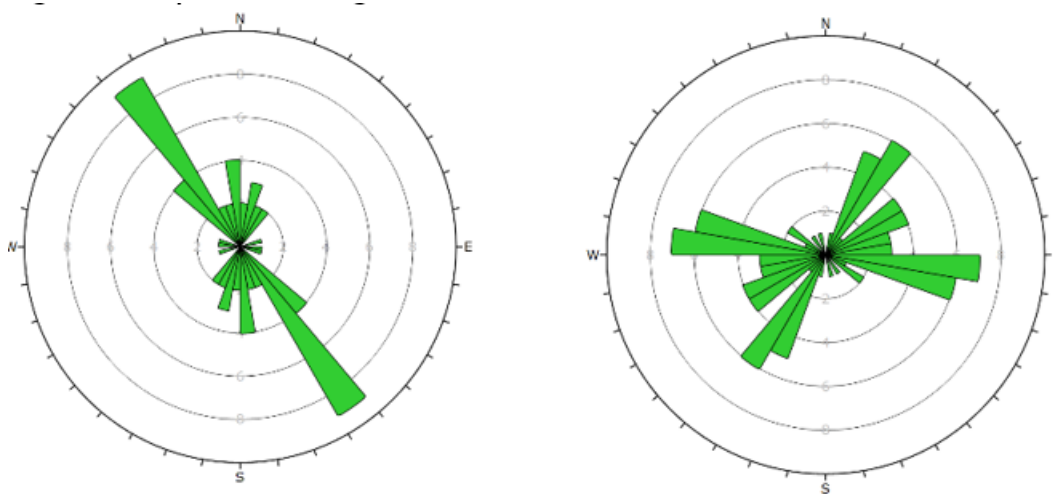
Jord-bergsondering (JB) inom undersökningsområdet indikerade hög- och stundtals hoppande sjunkhastighet på uppsprucket berg och dålig bergkvalitet. Borrning har utförts ner till 10 meter i berg. Borrhälsborrningar från aktuellt område är generellt av god kvalitet och det syns inga tydliga tecken på omfattande deformationsrörelser. I de fem representativa borrhälsborrningarna tagna inom aktuellt område har endast mindre krosszoner identifierats, varav de flesta förekommer i den översta biten av kärnan och är troligen orsaken till indikationen på dåligt berg från JB-sonderingar.

Det dåliga ytberget (upp till cirka 10 meter från bergöverytan) bedöms vara delvis deformerat av glaciotehtoniska rörelser under den senaste istiden kombinerat med djupvittring av berggrunden, och går inte att hänföra till övriga tektoniska rörelser i området. Resterande kärna håller god kvalitet med mycket lite uppsprucket berg.

Alla bergborrhål har undersökts, gällande sprickriktningar, in situ genom borrhålsfilmning (BIPS). Identifierade slumpmässiga sprickor följer den regionala storskaliga trenden med fåtalet sprickor som identifierades via satellitbilder i andra riktningar. Sprickplan i avvikande riktningar tolkas avspegla lokala stressförhållanden under deformationsepisoder eller skillnader i kristallin hållbarhet runt tidigare deformerade eller mildt hydrotermalt omvandlade bergmassor.



Figur 11. Sprickrosdiagram från BIPS för 15S1KB02 och 16S1KB04.



Figur 12. Sprickrosdiagram från BIPS för 16S1KB07 och 18S1KB17.

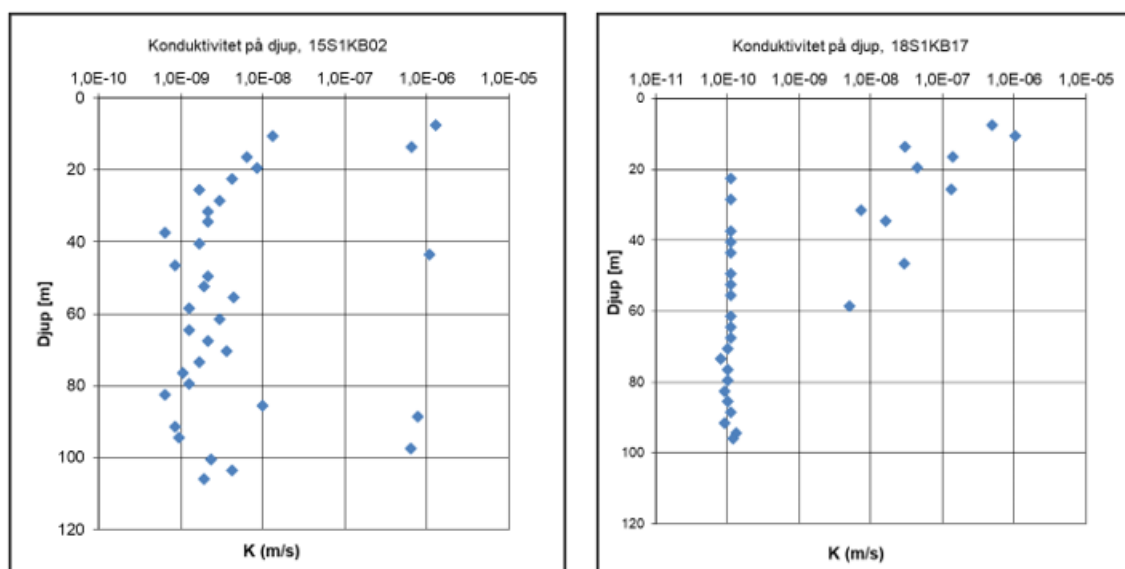
3.3. Bergets hydrauliska egenskaper

Resultat från vattenförlustmätningar i bergborrhål väster om Skiren visar en berggrund av god bergkvalitet och täthet. Medianvärdet för den hydrauliska konduktiviteten (K) längs vardera borrhål 15S1KB02, 18S1KB17, 17HB101 samt 17HB102 är mindre än 2×10^{-9} m/s (sektionsvisa mätningar), se Tabell 2.

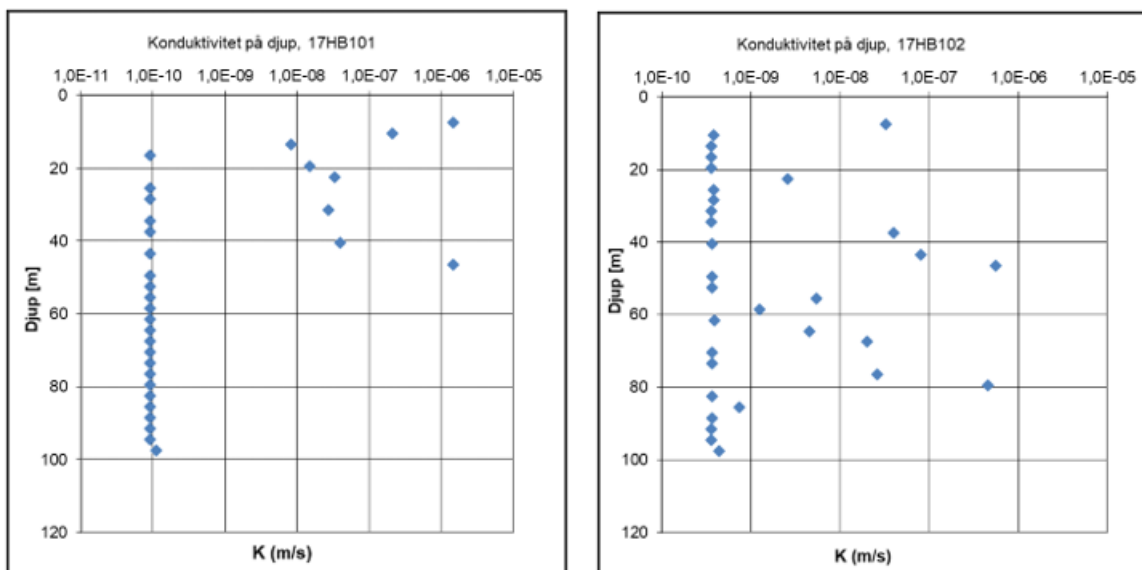
I Figur 15 redovisas den kumulativa konduktivitetsfördelningen för samma borrhål. Figuren visar att cirka 90 % av de testade sektionerna har ett konduktivitetsvärde under 1×10^{-7} m/s och 75 % ett värde under 1×10^{-8} m/s. För sektionerna med ett K-värde över 1×10^{-8} så var 80 % av dessa på ett bergdjup mindre än 50 meter, se Figur 13 samt Figur 14. Kärnborrhål 16S1KB04 norr om Skiren har en sämre bergkvalitet med en relativt hög vattenföring i de översta 10 metrarna (nivå 21- 31). Från längd 31 meter och nedåt är berget vid detta borrhål sprickfattigt och bedöms vara tätt. På grund av att borrhålet är relativt grunt har sektionerna med hög vattenföring stor påverkan på medianvärdet, vilket är beräknat till 5×10^{-7} m/s.

Tabell 2. Sammanfattning av resultat från vattenförlustmätningar med uppmätta (K_{min} , K_{max}) och beräknade medelvärden (K_{median} , K_{medel}) i området kring Skiren. För placering, se Figur 6.

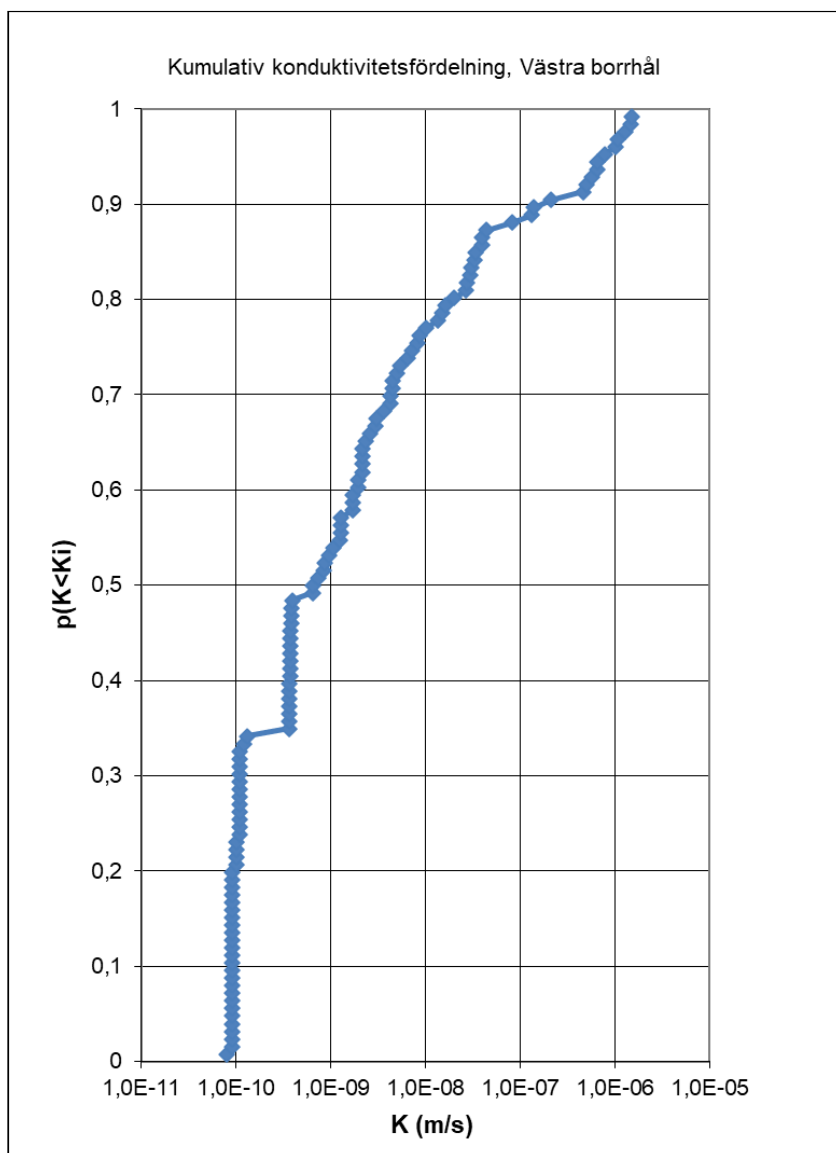
ID	Hållängd (m)	Lutning (grader)	K_{min} (m/s)	K_{max} (m/s)	K_{median} (m/s)	K_{medel} (m/s)	Kommentar
15S1KB01	119,25	50	$4,1 \times 10^{-10}$	$1,6 \times 10^{-06}$	$5,2 \times 10^{-08}$	$2,0 \times 10^{-07}$	
15S1KB02	110,15	49	$6,4 \times 10^{-10}$	$1,3 \times 10^{-06}$	$2,1 \times 10^{-09}$	$1,3 \times 10^{-07}$	
16S1KB04	47,3	90	$1,2 \times 10^{-08}$	$1,2 \times 10^{-06}$	$1,2 \times 10^{-08}$	$4,1 \times 10^{-07}$	
18S1KB17	101	68,5	$8,0 \times 10^{-11}$	$1,0 \times 10^{-06}$	$1,1 \times 10^{-10}$	$6,2 \times 10^{-08}$	
BVKB01	45,8	45	-				Nollflöde
BVKB02	53,4	45	$2,7 \times 10^{-09}$	$7,2 \times 10^{-06}$	$4,6 \times 10^{-07}$	$2,1 \times 10^{-06}$	
17HB101	100	90	$9,0 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-06}$	$9,0 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-07}$	
17HB102	100	90	$3,6 \times 10^{-10}$	$5,6 \times 10^{-07}$	$3,8 \times 10^{-10}$	$4,0 \times 10^{-08}$	



Figur 13. Hydraulisk konduktivitet mot djupet, från vattenförlustmätningar i 15S1KB02 samt 18S1KB17.



Figur 14. Hydraulisk konduktivitet mot djupet, från vattenförlustmätningar i 17HB101 samt 17HB102.



Figur 15. Kumulativ konduktivitetsfördelning för 3m-sektioner i bergborrade hål väster om Skiren.

Filmning av kärnborrhålen (s.k. BIPS-loggning) visar att det finns horisontella eller svagt lutande (sub-horisontella) tryckavlastningssprickor (exfoliationssprickor). Det är dessa öppna sprickor som bedöms vara mest vattenförande. Öppna horisontella vattenförande sprickor i kontakt med tunneln kan effektivt sprida ut avsänkningen till andra mer vertikala strukturer i berget. Denna typ av struktur i berget är vanligare i ytnära berg och avtar med djupet.

Kärnkartering av utförda borrhål visar på öppna sprickor utan några egentliga sprickfyllnadsmaterial.

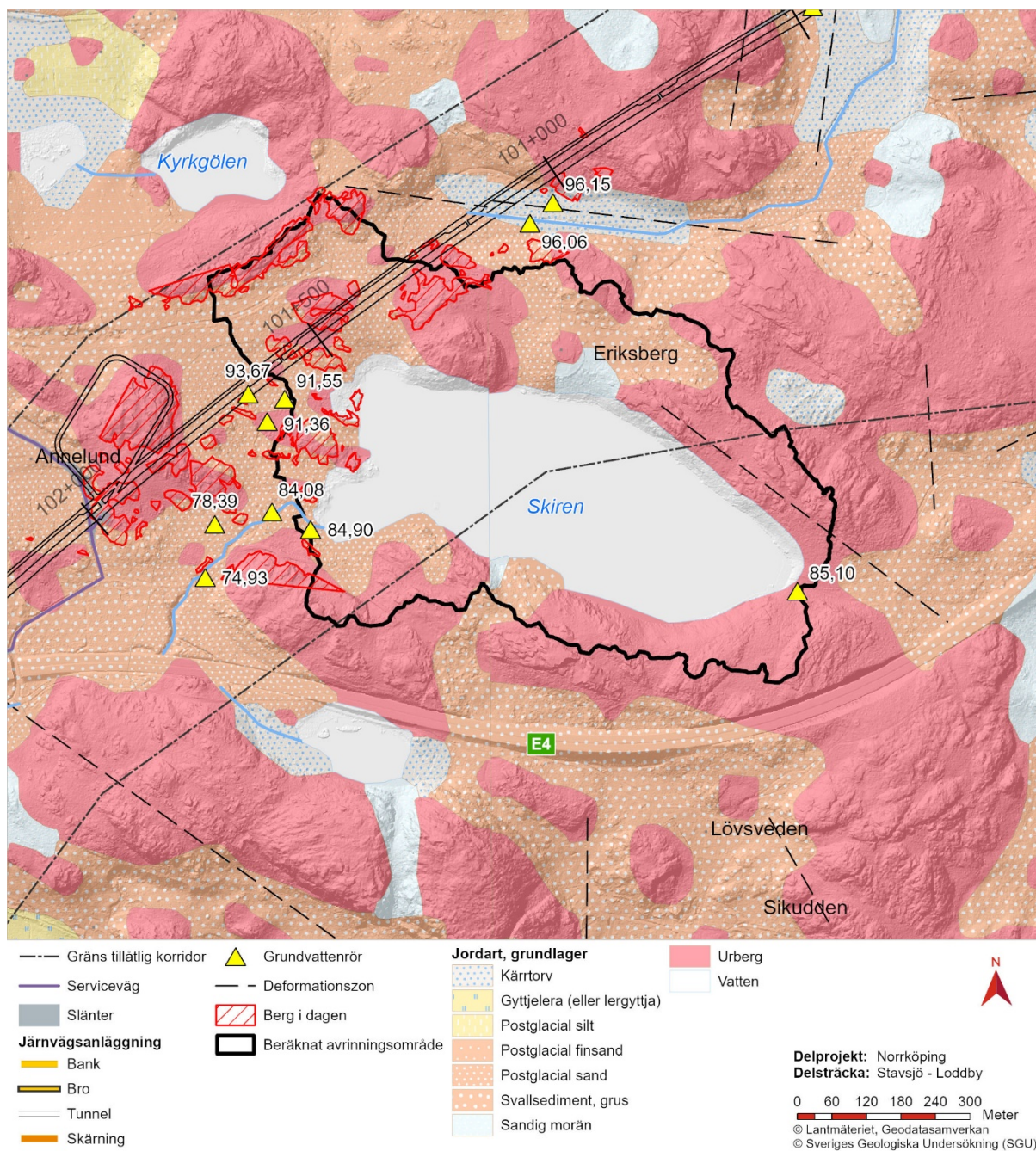
Sammantaget bedöms berget väster om Skiren i medeltal vara av teknisk god kvalitet med mycket låg vattengenomsläpplighet på det djup där tunneln dras. Det kan finnas avsnitt med sämre bergkvalitet och högre genomsläpplighet på planerad tunnelnivå men bedöms kunna tätas med föreslagna metoder. Uppnådd täthet kommer att bestämma vilket flöde som avleds till tunneln från Skirens avrinningsområde. Högre täthet innebär mindre avledning och därigenom mindre påverkan och förändring jämfört med de jungfruliga vattenförhållandena utan tunnel.

4. Vattenbalans

En vattenbalans beskriver flödet in och ut ur ett system. Balansen beräknas ofta som ett årsmedelvärde för ett normalår. Inflödet utgörs av nederbörd över avrinningsområdet och utflöde utgörs av avdunstning (transpiration och evaporation), avrinning ut ifrån avrinningsområdet, magasinförändringar i systemet samt eventuella vattenuttag.

4.1. Avrinningsområde

Skirens avrinningsområde är mycket begränsat i förhållande till sjöns storlek. Trafikverket har genom högupplöst höjddata, inmätning av berg i dagen, samt installation av grundvattenrör uppskattat avrinningsområdet till cirka 0,55 km², se Figur 16. Sjöns yta är cirka 30% av dess avrinningsområde som i övrigt mestadels består av berg i dagen eller tunna jordlager, med undantag för den nordvästra delen där det finns sandlager av viss mäktighet.



Figur 16. Skiren avrinningsområde med Ostlänkens tunnel, inmätt berg i dagen samt installerade grundvattenrör och dess medelgrundvattennivå. Jordartskarta © SGU, Sveriges Geologiska Undersökning.

4.2. Nederbörd

Den nederbördsdata som använts har hämtats från SMHI, S-HYPE, avrinningsområde 4694. I S-HYPE används en metod för att uppskatta lokal nederbörd specifik för delavrinningsområden, som baseras på bland annat närliggande mätstationer. Närmast Skirens avrinningsområde finns två mätstationer för nederbörd. Båda mätstationerna är placerade på högre höjd och längre avstånd till Bråviken, vilket innebär att nederbörd sannolikt är högre vid mätstationerna än vid Skiren. I Tabell 3 redovisas årsvis nederbörd vid de två mätstationerna tillsammans med S-HYPEs beräknade nederbörd vid Skiren. Data från mätstationer är inte korrigerade för mätförluster vilket medför att den verkliga nederbörden på dessa platser är högre än den redovisade. Data från S-HYPE är korrigerad för detta.

Tabell 3. Nederbörd perioden 2004-2020 vid SMHIs mätstationer samt S-HYPEs modellerade nederbörd för Skirens avrinningsområde.

År/Station	86420	S-HYPE Skiren	86410
2004	583	654	633
2005	592	650	609
2006	747	787	824
2007	703	722	695
2008	737	768	768
2009	675	701	705
2010	797	823	776
2011	749	738	764
2012	821	858	813
2013	576	621	617
2014	678	726	697
2015	717	783	745
2016	426	490	446
2017	668	698	663
2018	458	500	488
2019	674	728	759
2020	603	643	647
Medel	659	699	685
Max	821	858	824
Min	426	490	446

4.3. Evapotranspiration

Evapotranspiration är ett samlingsvärde för det vatten som tas upp av växter eller på annat sätt evaporerar till atmosfären. Även för evapotranspiration modelleras ett avrinningsområdesspecifikt värde i SMHIs S-HYPE. I avrinningsområden med stor andel vattenspegel är evaporationsmöjligheterna nära det teoretiskt högsta värdet med hänsyn till solinstrålning. Detta innebär att S-HYPEs modellerade värden är det bästa som finns att tillgå för Skiren eftersom det anpassas efter bland annat sjöyta.

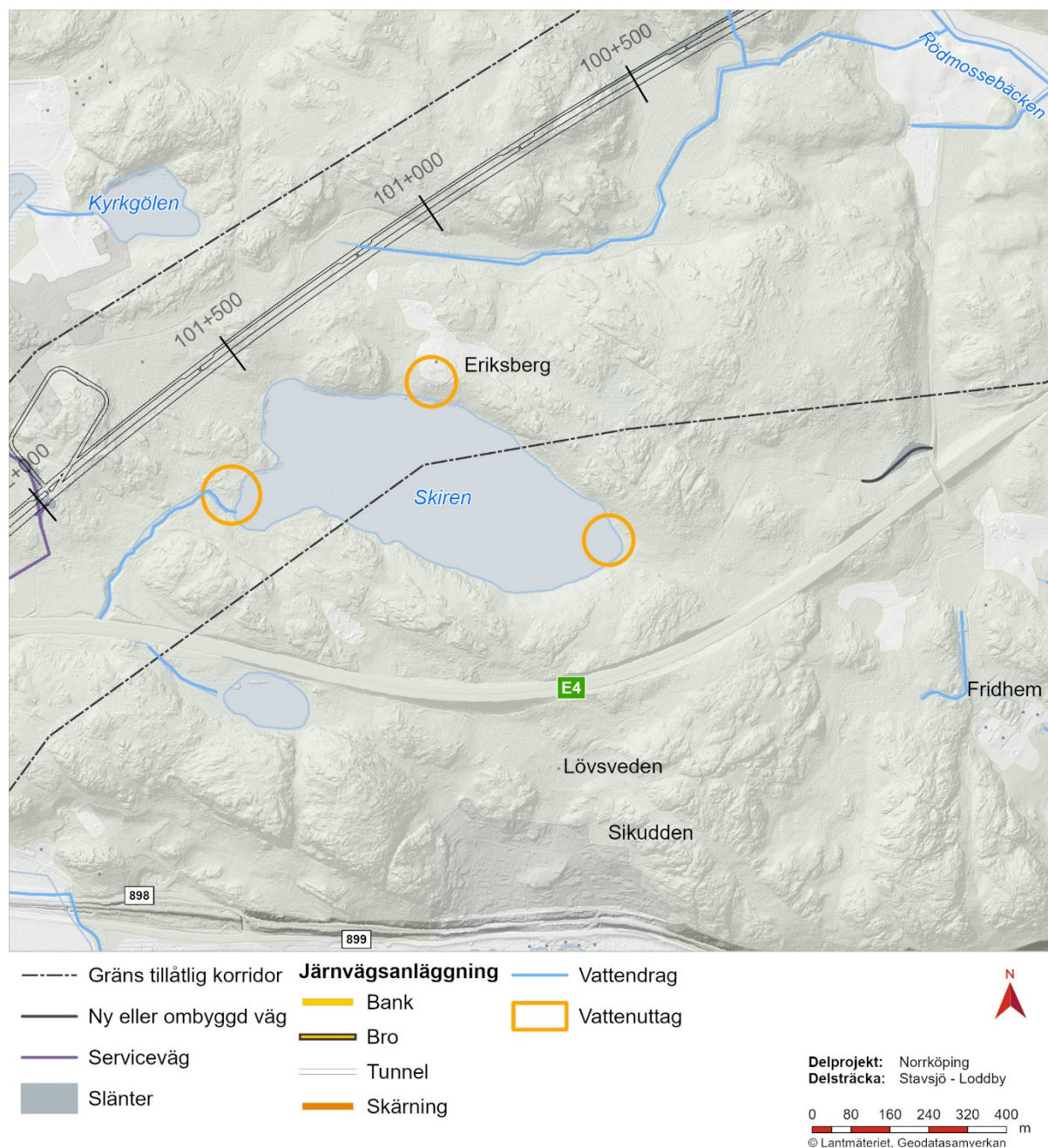
Tabell 4. Lokal evapotranspiration inom Skirens avrinningsområde, värden från S-HYPE.

	Lokal evapotranspiration [mm]
2004	527
2005	531
2006	583
2007	560
2008	567
2009	548
2010	546
2011	594
2012	581
2013	530
2014	558
2015	593
2016	475
2017	535
2018	474
2019	556
2020	564
Medel	548
Max	594
Min	474

4.4. Uttag

Vid sidan om naturliga avrinningen görs också tre uttag från sjön, ett för enskild förbrukning till fastigheten vid Eriksberg och de två andra, med relativt sett större uttag, från västra respektive östra sidan av Skiren. Uttaget vid Eriksberg är inte uppmät men det bedöms vara förhållandevis litet och inte märkbart påverka vattenbalansen. De två andra uttagen sker från brunnar med intagsledning i sjön och vattnet leds i ledning till förbrukning utanför Skirens avrinningsområde. Eftersom vattnet inte återförs inom avrinningsområdet blir det ett nettouttag, vilket reducerar avrinningen ytterligare. För de två större uttagen har uttagsmängder tidigare noterats av respektive brunnsägare långt nedströms respektive ledningar. Sedan december 2021 loggas uttag från uttagsbrunnarna vid uttagspunkten, vilket innebär att mer detaljerade data blir tillgängligt i framtiden. De historiska data som noterats av respektive ledningsägare tillsammans med uppskattning för enstaka hushåll samt mätningar från december 2021 till mars 2023 visar att cirka 28 000 m³ vatten tas från sjön varje år.

Under vintern 2023 har nya vattenbrunnar borrats som kommer att ersätt delar av vattenuttaget från östra delen av Skiren.

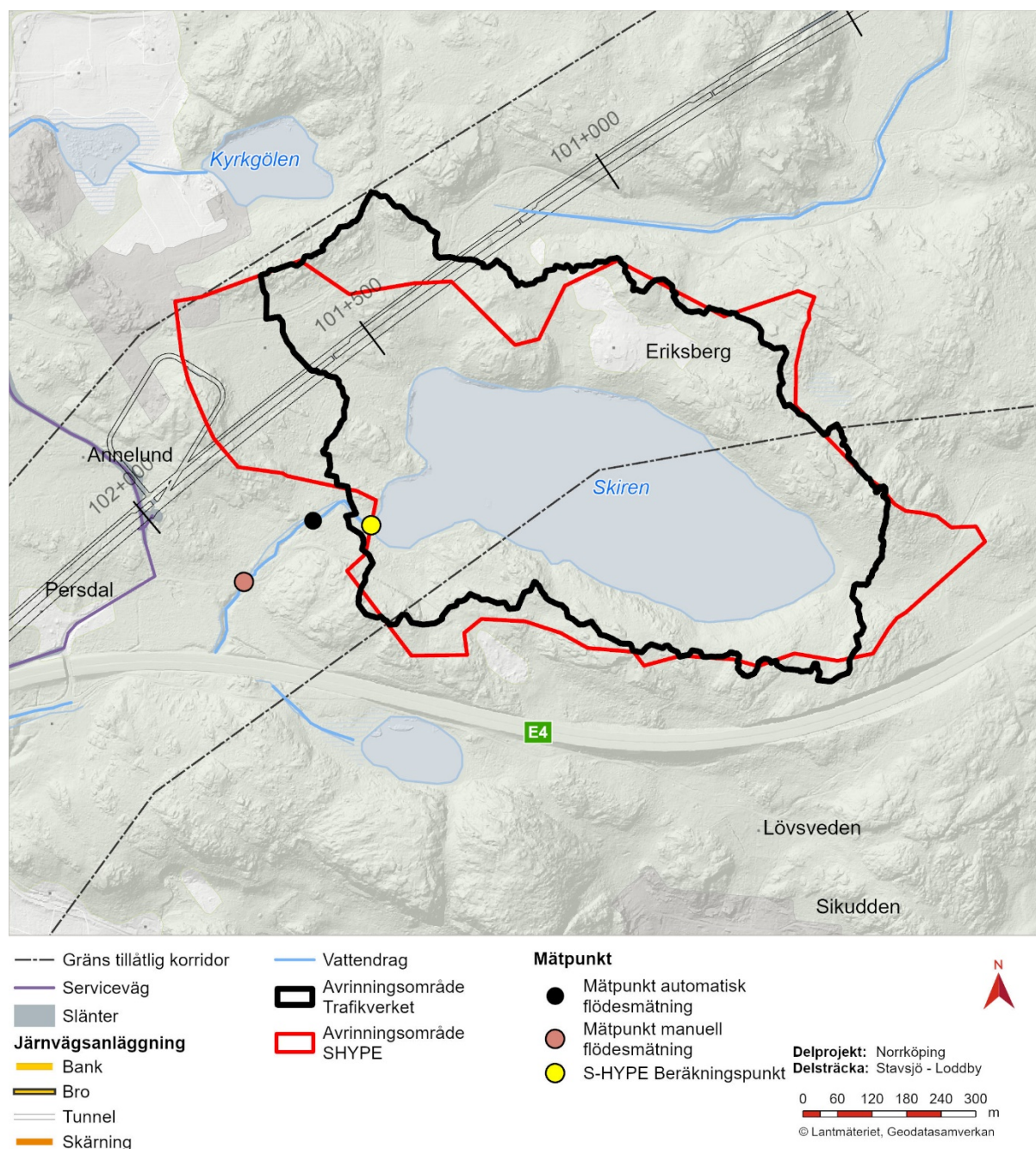


Figur 17. Punkter för vattenuttag från Skiren

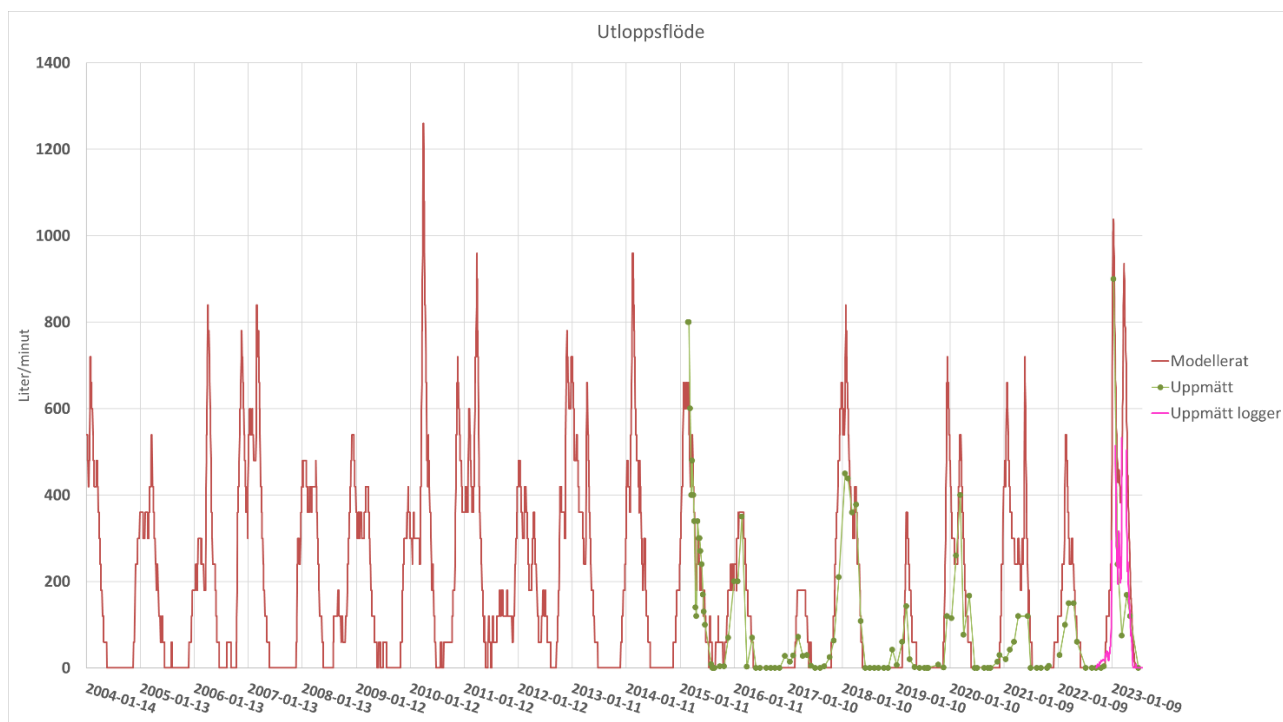
4.5. Vattenstånd och avrinning

Trafikverket har sedan 2015 månatligen manuellt mätt flöde i den bäck som börjar i Skirens utlopp. Mätpunkten är placerad i den trumma som passerar under en privat väg, se Figur 18. Då mätpunkten är placerad cirka 260 meter nedströms sjöns utlopp, tillkommer vatten delvis från annat avrinningsområde, cirka 0,9 km². Från hösten 2022 mäts flödet vid en ny punkt som är placerad närmare Skiren, cirka 100 m från utloppet. Mätning sker med ett automatiskt system med frekvent

loggning av flödet. SMHI har modellerat avrinningen för Skirens avrinningsområde inom S-HYPE. Det avrinningsområde som SMHI modellerat bygger på en grövre upplösning för höjd, och innefattar bland annat den del som numera räknas som utomstående vatten i den mätpunkt som används för utloppet. Avrinningsområdet storlek är i S-HYPE 0,63 km², alltså cirka 0,08 km² större än Trafikverkets utredning visar. Trafikverkets uppmätta flöden och SMHIs modellerade flöde jämförs i Figur 20. Uppmätta flöden stämmer väl överens med det modellerade, det gäller även den inledande mätningen som endast mättes en gång per månad (med risk att missa de största topparna).

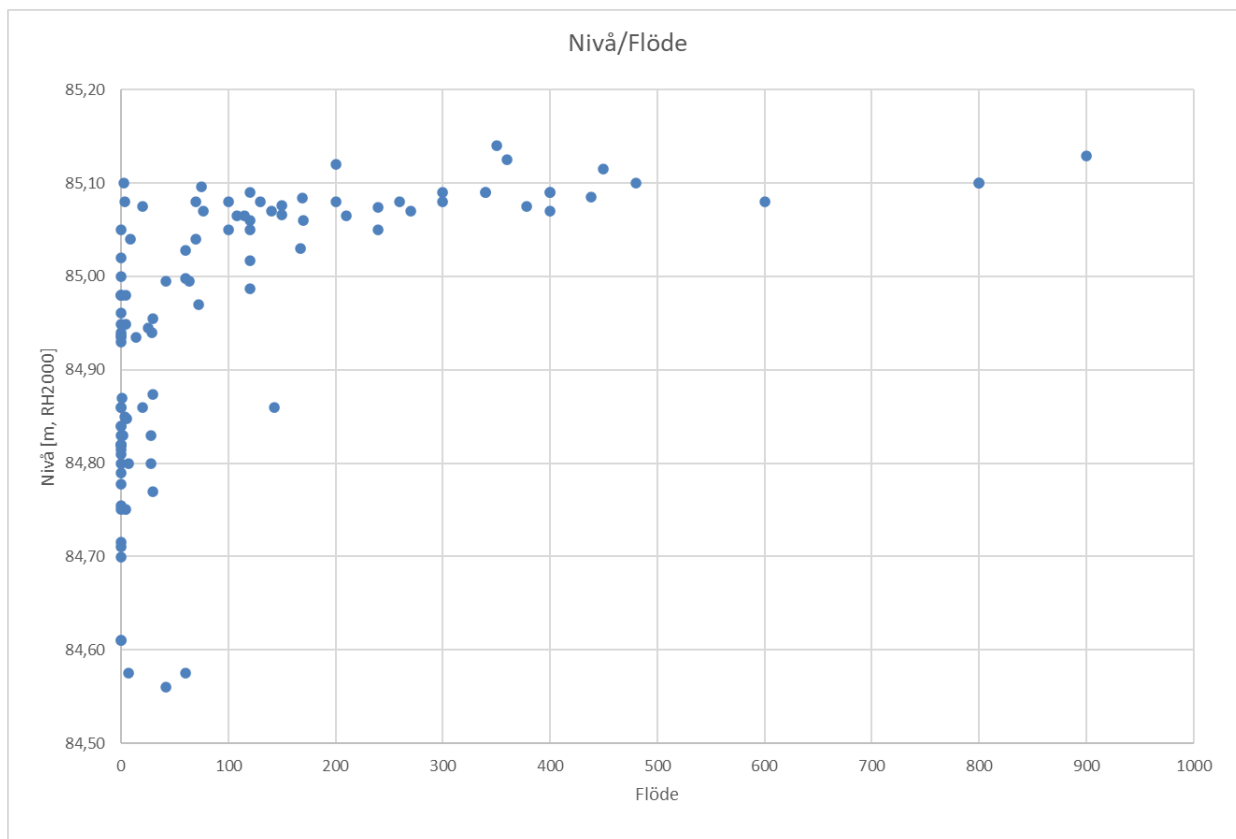


Figur 18. Skiren med avrinningsområde samt beräkningspunkt från S-HYPE tillsammans med avrinningsområde och nuvarande mätpunkt från Trafikverket.

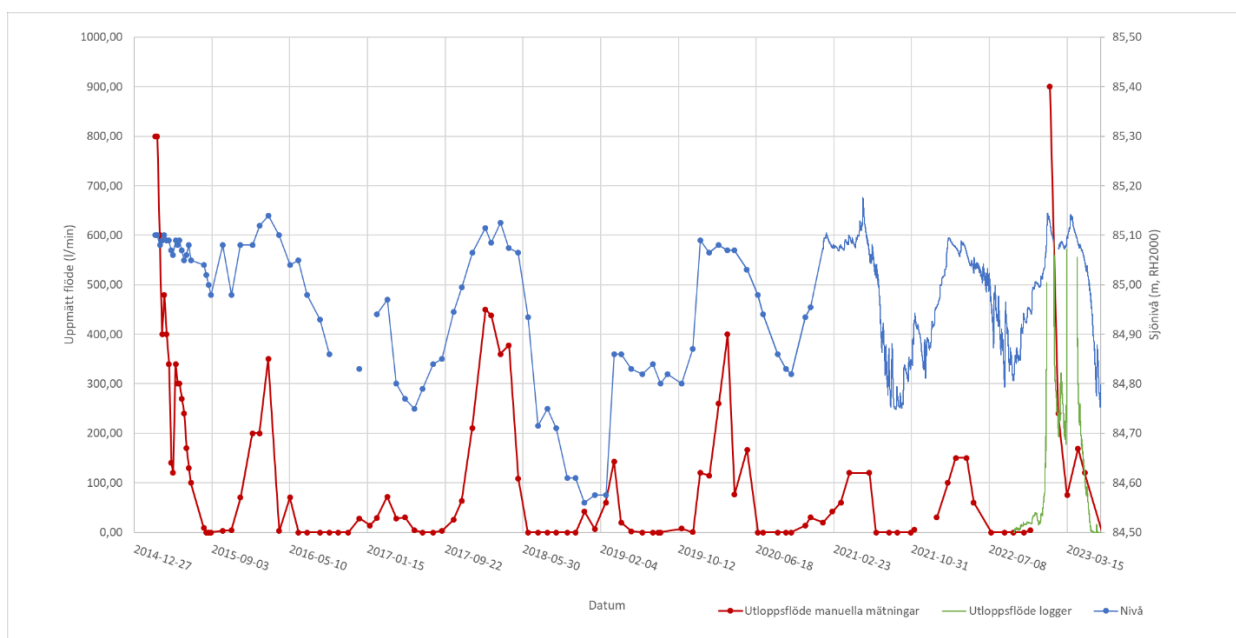


Figur 19. Uppmätt och SMHI:s modellerade vattenföring i den bäck som avvattnar Skiren.

I Figur 20 visas det uppmätta flödet mot den uppmätta nivån i sjön. Det finns en tydlig korrelation mellan högt flöde och högt vattenstånd, dock gäller ej detsamma med högt vattenstånd och högt flöde. Det innebär att när det är högt flöde i bäcken är det ofta högt vattenstånd i sjön, men när det högt vattenstånd i sjön behöver det inte vara högt flöde i bäcken. Sjöns utloppströskel ligger på ungefär +85,0 vilket innebär att flödet från sjön är lågt eller nära noll när sjöns vattenstånd ligger under den nivån. När vattenståndet är mellan +85,0 och +85,12 varierar flödet från 0 till 800 l/min. Det är dock tydligt i Figur 21 att ett kraftigt förändrat vattenstånd sammanfaller med förändrat flöde, vilket innebär att de stora flödeshändelserna så som nederbördsperioder eller snösmältning också fyller på sjön.



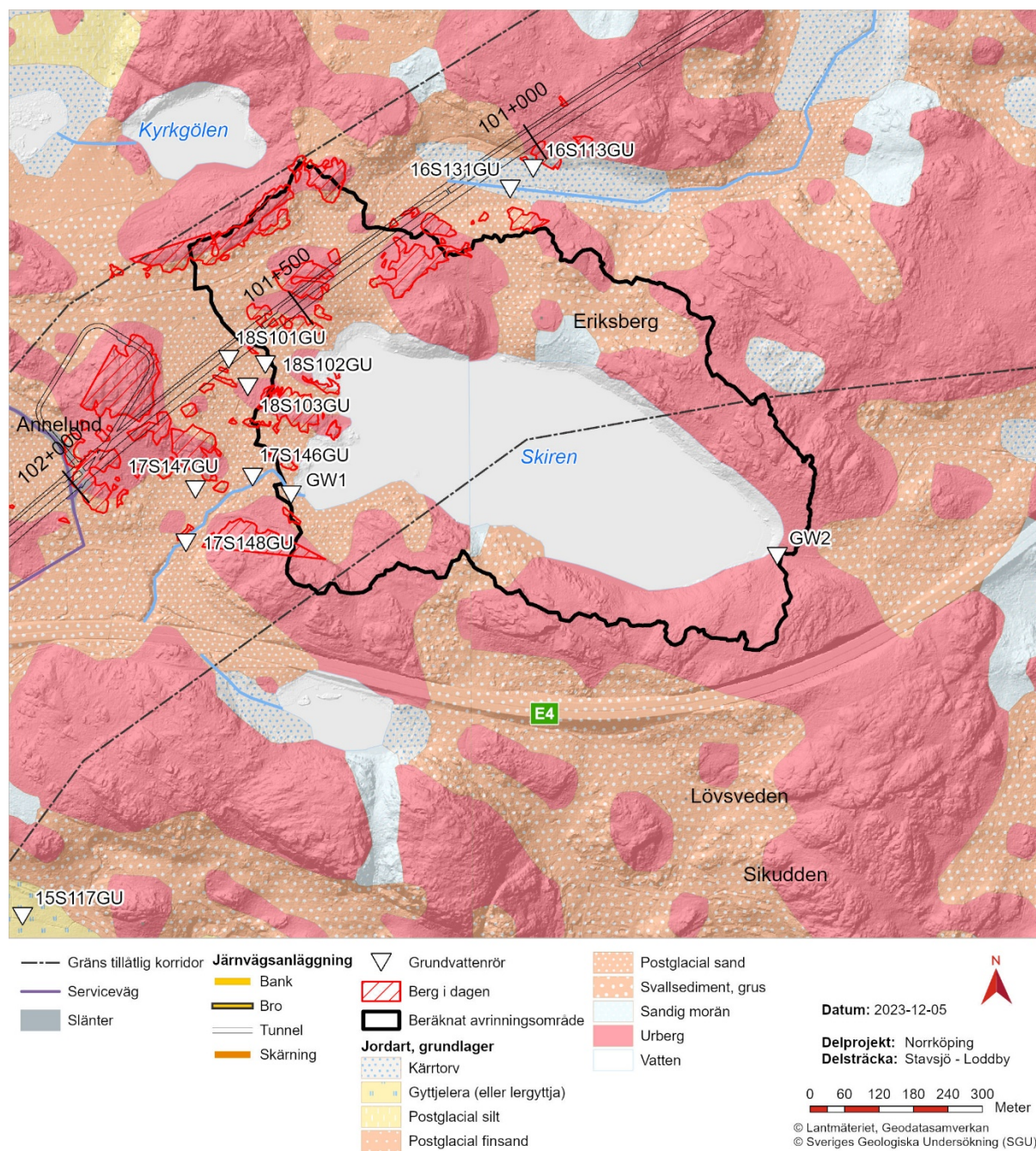
Figur 20. Skirens uppmätta vattenstånd mot uppmätt flöde i bäcken, diagrammet visar flödesdata från de manuella månadsmätningarna.



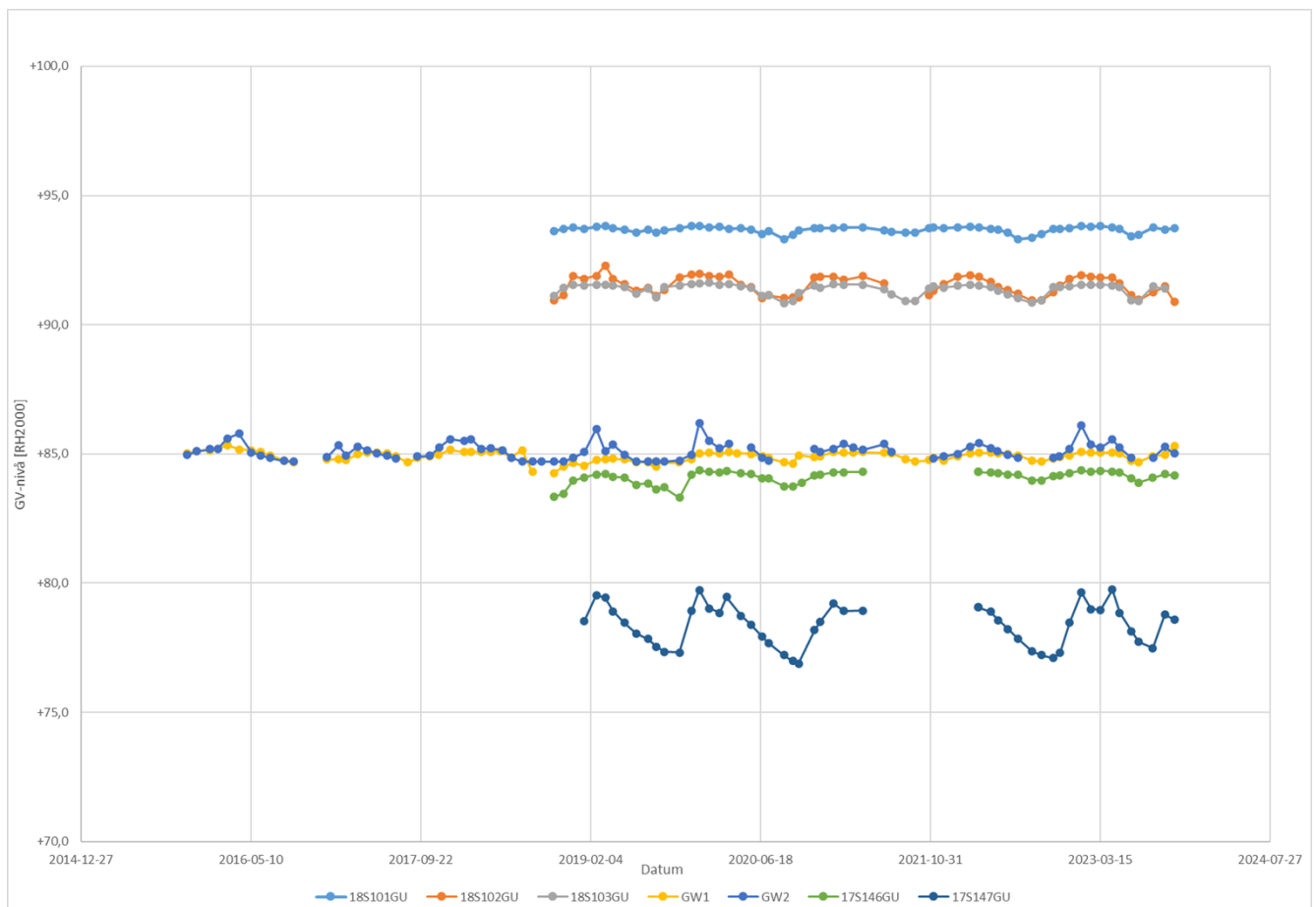
Figur 21. Flöde i Trafikverkets mätpunkt samt uppmätt vattenstånd i Skiren.

Vid den nya flödesmätningpunkten sker ett litet tillskott från området väster om Skiren samt att en avsevärt mindre mängd infiltreras från bäcken till grundvattnet (som rinner i jordlager och ej mäts i flödesmätningen) – jämfört med den manuella mätpunkten. Denna punkt bedöms ge bra och

representativa mätningar av utflödet från Skiren, som underlag för bedömning av påverkan och kommande kontroller.



Figur 22. Placering och ID för grundvattenrör kring Skiren.



Figur 23. Mätserier för grundvattenrör kring Skiren.

Tabell 5. Data för grundvattenrör kring Skiren.

	18S101GU	18S102GU	18S103GU	17S146GU	17S147GU	17S148GU	GW1	GW2
Markyta (m)	93,93	92,27	91,59	84,53	80,03	75,91	85,1	86,8
Mätperiod	okt 2018 - maj 2023	okt 2018 - maj 2023	okt 2018 - maj 2023	okt 2018 - maj 2023	okt 2018 - maj 2023	okt 2018 - maj 2023	nov 2015 - maj 2023	nov 2015 - maj 2023
Medel (m)	93,7	91,6	91,4	84,0	78,4	74,9	84,9	85,1
Max (m)	93,8	92,3	91,6	84,4	79,7	75,4	85,4	86,2
Min (m)	93,3	90,9	90,8	83,3	76,9	73,5	84,3	84,7

För S-HYPE är avrinningen i genomsnitt 153 mm/år för perioden 1991–2020, vilket innebär ca 85 000 m³/år för Trafikverkets korrigerade avrinningsområde. Modellerade flödesdata finns enbart för perioden 2004–2020. I Tabell 6 visas S-HYPEs modellerade avrinning i mm/år för perioden 2004–2020.

Tabell 6. Modellerad avrinning från S-HYPE med motsvarande avrinning från Trafikverkets avrinningsområde.

År	Avrinning S-HYPE [mm/år]	Motsvarande avrinning Trv [m ³ /år]
2004	150	83 000
2005	100	55 000
2006	200	111 000
2007	150	83 000
2008	200	111 000
2009	150	83 000
2010	251	139 000
2011	200	111 000
2012	200	111 000
2013	150	83 000
2014	150	83 000
2015	200	111 000
2016	50	28 000
2017	50	28 000
2018	150	83 000
2019	50	28 000
2020	100	55 000
Medel 1991–2020	153	85 000

4.6. Sammanfattning av nuvarande förhållanden

Nederbörd över Skirens avrinningsområde är enligt S-HYPE 699 mm/år för perioden 1991–2020, vilket motsvarar ca 387 000 m³/år (736 l/min) för Trafikverkets avrinningsområde

Beräknad genomsnittlig avrinning enligt SMHI¹ för åren 1991–2020 är 153 mm/år. Detta motsvarar ca 85 000 m³ per år (161 l/min) för Trafikverkets avrinningsområde.

Från Skiren görs uttag av vatten, dels som dricksvatten, dels för annan verksamhet som jordbruk. Kartläggning av vattenuttaget pågår men preliminära uppgifter tyder på att cirka 28 000 m³ per år tas ut (cirka 53 l/min). Detta medför att den kvarvarande beräknade avrinningen från Skiren, efter vattenuttag, är ca 60 000 m³/år (114 l/min) som årsmedelvärde under ett normalår, se Tabell 7.

Tabell 7. Vattenbalans för Skirens avrinningsområde, beräknat för ett normalår. Anpassat till storleken på avrinningsområdet enligt Trafikverkets kartläggning.

Parameter	Värde (m ³ /år)	Kommentar
Nederbörd	387 000	Från SMHI avrinningsområde 4694, 1991-2020
Evapotranspiration	-299 000	Beräknat från övriga parametrar
Vattenuttag	-28 000	Enligt en preliminär inventering
Avrinning (efter uttag)	-60 000	Beräknat för ett normalår

I Skirens utlopp genomförs sedan 2015 mätning av avrinningen med ett överfall i den bäck som rinner i svackan. Resultat från mätningar visas i Figur 23. Avrinningen under perioden mars 2015 till januari 2021 har i medeltal uppgått till 124 l/min. Under samma period har S-HYPE en avrinning som i medeltal är 119 l/min. Vid de första mätningarna erhöles stora flöden som sedan april 2015 inte observerats i mätningarna, även om S-HYPE visar att de överskreds under vintern 2018 och 2020.

Enligt S-HYPEs modell har utflödet per år under perioden 2004 – 2020 varierat mellan 305 l/min och 80 l/min, med ett medeltal av 184 l/min. Av detta kan vi anta att ett exceptionellt torrår bör ha cirka 57 % mindre flöde än ett normalår, men att ett torrår i genomsnitt har 30 % lägre flöde. Som torrår definieras samtliga år med flöde under genomsnittet. För det korrigerade avrinningsområdet innebär det att ett exceptionellt torrår är avrinningen 51 l/min och ett genomsnittligt torrår är avrinningen 81 l/min.

I den fortsatta analysen används 114 l/min (60 000 m³/år) som medelavrinning under ett normalår och 81 l/min (43 000 m³/år) för ett torrår, motsvarande det modellerade värdena korrigerade för avrinningsområdets storlek under perioden 2004–2020. En anledning till att inte använda de uppmätta värdena är att mätpunkten är ett stycke nedanför Skirens utlopp och därmed får en viss tillrinning från områden utanför Skirens tillrinningsområde. Att genomförda mätningar ligger nära de beräknade gör att tillförlitligheten för de beräknade värden bedöms som stor. Att använda den

¹ Avrinningsområde nr 4694, SMHI

mindre, beräknade avrinningen medför även att ett konservativt förhållningssätt avseende tillgången till vatten för Skiren.

Med Trafikverkets lodning av sjöbotten och uppmätta medelnivå på sjöyta under perioden 2015–2021 så innehåller Skiren i genomsnitt cirka 4 905 000 m³ vatten. Enligt S-HYPEs avrinning så innebär det en omsättningstid vid fullständig omblandning på cirka 51 år. Korrigerat för Trafikverkets högupplösta avrinningsområde innebär det en omsättningstid på cirka 58 år (vid fullständig omblandning).

5. Tunnel vid Skiren

5.1. Anläggningen

För att klara anläggningstekniska krav, som banans maximala lutning och passage Kolmården, behöver Ostlänken förläggas i en tunnel förbi Skiren. Tunneln i detta område består av en huvudtunnel där järnvägsspåren läggs, samt en parallell servicetunnel för bland annat tillhörande tekniska anläggningar som pumpstationer samt servicefordon. En del av vattnet från Skiren kan läcka fram till tunneln. En fråga är hur mycket av vattnet i Skirens avrinningsområde som kan avlänkas bort från Skiren, och därmed inte avbördas i bäcken från Skiren eller genom grundvattenavrinning, utan istället som inläckande grundvatten.

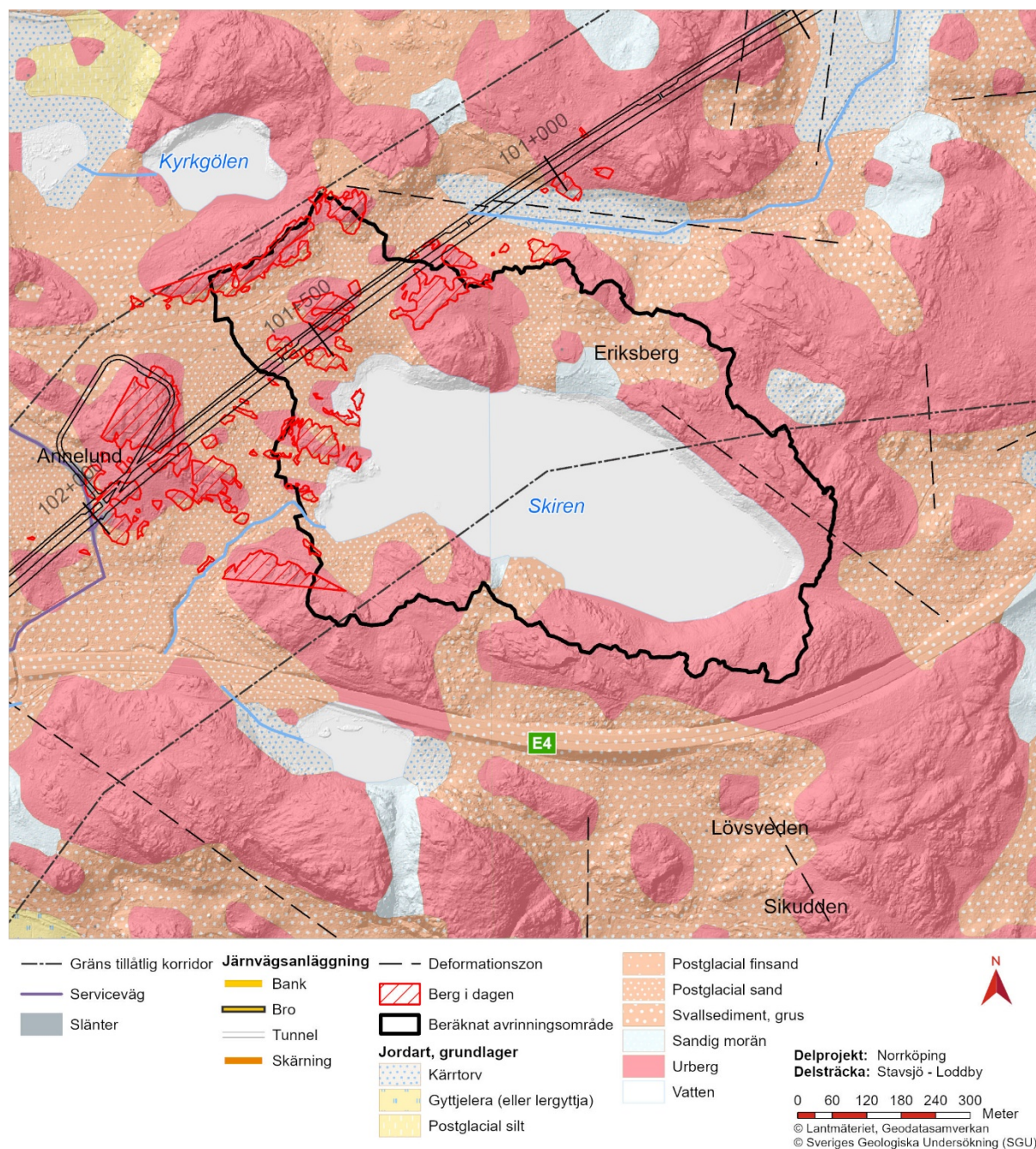
Inläckaget av grundvatten till tunneln beror bland annat på storleken av den hydrauliska gradienten (djup under grundvattenytan), bergets vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet), vilken tätning som utförs i tunneln samt mängden tillgängligt vatten. Tätning av vattenförande sprickor i kontakt med Skiren eller Skirens avrinningsområde, innebär att påverkan på vattenbalansen i Skirens avrinningsområde begränsas till acceptabel nivå.

5.2. Tätning och bedömt inläckage

Vid tunneldrivning i denna känsliga miljö används kontinuerlig förinjektering för att minska inläckaget till tunneln. Det innebär att berget tätas kontinuerligt genom att injektera cementbruk, eller där så krävs finare tätningsmedel som t.ex. silica sol, genom borrhål som borrar från tunnelfronten innan tunneln sprängs ut. Berget tätas i en skärm 25 meter framför och cirka 6 meter runt om den bergmassa som ska sprängas ut. Bruket tätar sprickor i berget och minskar därmed den hydrauliska konduktiviteten i en cylinder runt tunneln. För att dimensionera tätningsåtgärderna sker försondering, vilket i detta fall bland annat innebär att ett borrhål borrar i tunnelns riktning cirka 50-100 meter framför tunnelfronten. På så sätt blir bergets vattenförande egenskaper kända innan injektering och sprängning sker. En injekterad tunnel kommer dock fortfarande att generera ett visst inläckage av grundvatten.

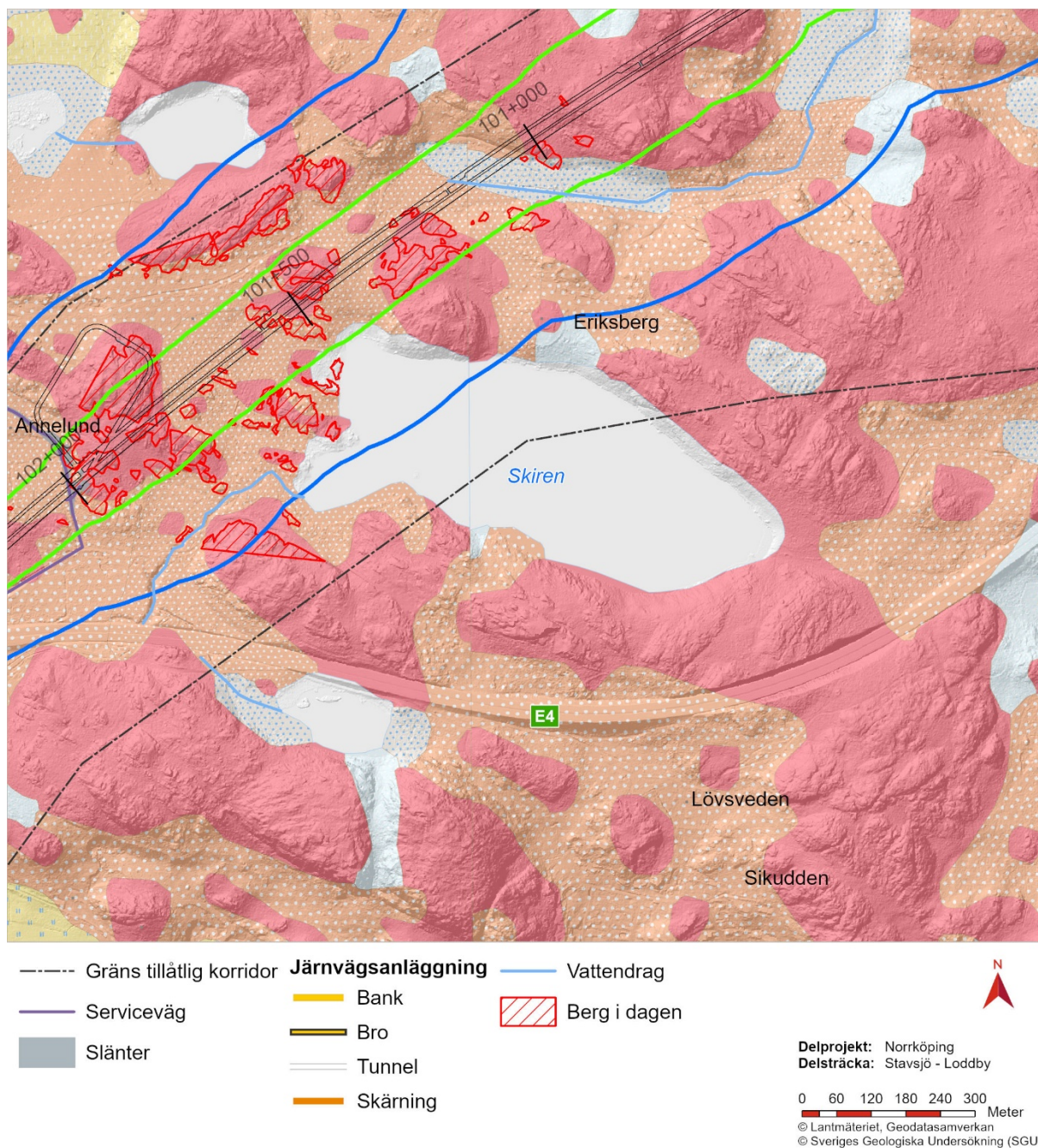
Att bedöma hur stor del av inläckaget som kommer från just Skiren eller dess avrinningsområde är behäftat med stora osäkerheter. Generellt kommer inläckande grundvatten till en bergtunnel från det område som tunneln passerar och de sprickor som har kontakt med överliggande magasin, men beror i ett fall som detta av ett antal faktorer listade nedan:

1. Vattenförande sprickor kan beskrivas som ett nätverk på sin väg mot markytan, snarare än raka plan. Det kommer att finnas sprickor som på tunnelnivå inte ligger rakt under avrinningsområdet men ändå har kontakt med antingen sjön eller dess avrinningsområde. Samtidigt kan sprickor som på tunnelnivå ligger rakt under avrinningsområdet få större delen av sitt vatten från magasin som inte ligger inom avrinningsområdet. Strukturgeologin i detta område (se kapitel 3.2) tyder på att sprickor i området har strykning ganska parallellt Skirens långsida, vilket talar för att passagen av avrinningsområdet i plan också är det område där större delen av avrinningsområdets förlorade vatten kommer från. I tunnelns längdmätning gäller detta i synnerhet km 101+300 till km 101+600, alltså cirka 300 meter, se Figur 24.



Figur 24. Skirens avrinningsområde med tunnel.

2. Det vatten som läcker in i tunneln kommer från grundvattensänkningens influensradie. Den största andelen vatten kommer generellt från området närmast tunneln, men det beror delvis på var det finns grundvattenmagasin som fyller på de sprickor som har kontakt med tunneln. Det finns tumregler för inläckaget till en tunnel som säger att 50% av det inläckande vattnet kommer från ett område med samma radie som tunnelns djup (Gustafson, 2009). Samma tumregel säger att 80% av det inläckande vattnet kommer från ett område med en radie motsvarande tre tunneldjup. Det här innebär att även de delar som ligger rakt under avrinningsområdet kommer ta delar av sitt inläckande vatten från kringliggande avrinningsområden. Och på samma sätt kommer delar av anläggningen utanför avrinningsområdet att ta delar av sitt vatten inifrån sjöns avrinningsområde, se Figur 25.



Figur 25. Ostlänkens tunnel med redovisade avstånd i förhållande till tunneldjup.

3. Sprickor på tunnelnivå som har direkt kontakt med sjön kan få en större inverkan än de som "bara" har kontakt med ytligt berg inom dess avrinningsområde. Detta beror dels på att sjön innebär en så kallad positiv rand, där vattentillgången kan anses oändlig, och således alltid får sitt vatten från skyddsobjektet. Ytterligare en försvårande omständighet kring en sådan spricka är att påverkan på sjön skiljer sig när inläckande vatten kan ses som ett utflöde från sjön snarare än minskad tillrinning. Att ta vatten direkt från sjön kortar dess omsättningstid medan minskad tillrinning ökar omsättningstiden. Då sjöns värde delvis är kopplad till dess långa omsättningstid innebär mer rörelse i vattnet att siktdjupet kan påverkas negativt. Minskad omsättningstid kan också innebära mer syresättning i sjön vilket är en fördel för de vattenlevande organismerna. Den långa omsättningstiden innebär effektiv sedimentation inom sjön, det betyder i sin tur att de lodade stora flacka ytor på sjöns botten består av mäktiga lager med finkorniga sediment. Det kan i sin tur innebära att sprickor i tunneln som har kontakt med bergytan på sjöns botten har mycket dålig hydraulisk kontakt med sjövattnet.

5.2.1. Inläckagebedömning

För att bedöma inläckagemängder till tunneln och påverkan på sjön har två metoder använts; analytiska beräkningar och numerisk modellering. De analytiska beräkningarna har sin stora fördel i att de enkelt kan justeras och många scenarier kan jämföras för exempelvis tätning. De saknar dock möjligheten att anpassas för en varierande topografi med dålig vattentillgång eftersom beräkningarna förutsätter homogena förhållanden och oändlig vattentillgång. Därför har också en numerisk modell i programmet MODFLOW Flex tagits fram för två scenarier. Den numeriska modellen kan ta hänsyn till en komplicerad geologi med varierande vattenföring i samtliga riktningar. Den passar därför bättre när troliga scenarier tagits fram och återspeglar mer verklighetstroga resultat för just de fallen.

5.2.1.1. Analytiska beräkningar

Analytisk beräkning av inläckage inom Skirens avrinningsområde har utförts för tre fall av naturliga förutsättningar i bergets vattenförande egenskaper, samt ett antal injekteringsfall för vardera naturliga egenskaper. Den formel som har använts är en svensk standardformel inom beräkning av inläckage till tunnlar. Formeln kommer från Hydrogeologi för bergbyggare (Gustafson, 2009). I den formeln tas hänsyn till effekter som kommer av injektering i berget. I formeln anges bergets generella täthet samt täthet och längd på injekteringsskärmen kring tunneln (formeln förutsätter att tätningen ger lägre genomsläpplighet än berget).

$$q_{inj} = \frac{2\pi K_{berg} H}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right) + \left(\frac{K_{berg}}{K_{inj}} - 1\right) * \ln\left(1 + \frac{t}{r_t}\right) + \xi} \quad \text{Ekvation 1}$$

Där:

q_{inj} = Inläckage i injekterad tunnel, l/(s*m)

K_{berg} = Bergets hydrauliska konduktivitet, m/s

H = Tunnelns djup under grundvattenyta

r_t = Tunnelradie, m

K_{inj} = Bergets hydrauliska konduktivitet efter injektering, m/s

t = Längd på injekteringsskärm, m

ξ = Skin, beskriver ett hydrauliskt motstånd vid tunnelväggen. Det kan komma av tätning av sprickor genom utfällning av mineral. En positiv skinfaktor betyder att motståndet vid tunnelväggen är större än övrigt berg. En högre skinfaktor medför lägre inläckage.

Slutligen räknas ekvationen om till standardmått för inläckage i tunnel, liter per minut och 100 meter tunnel.

5.2.2. Indata

Beräkningar är uppdelade på tre huvudscenarier. Skillnaden mellan dem är den hydrauliska konduktiviteten i bergets hydrauliska egenskaper och beskriver egentligen två olika grader av konfidens inom den statistiska analysen av bergundersökningar, samt ett fall där enbart bergets genomsnittliga konduktivitet på tunnelnivå används. I ett första fall används $1,5 \times 10^{-8}$ m/s vilket är ett viktat värde hela bergmassan ovan tunneln enligt statistiska medelvärde. I det andra fallet används $1,2 \times 10^{-7}$ m/s vilket är den viktade konduktiviteten för bergmassan motsvarande 90-percentilen i en kumulativ fördelning. I sista fallet används det statistiska medelvärde för berget på tunnelnivå, $2,8 \times 10^{-9}$ m/s. För tryck in mot tunneln används 89 meter vattenpelare, som är snittdjup på sträckan km 101+000 – 102+000. Nivåskillnaden från Skirens yta till tunneln centrum är cirka 70 meter. För skinfaktorn används värdet 1 vilket är relativt konservativt då skinfaktorn normalt varierar mellan 2 – 10.

Den hydrauliska konduktiviteten i injekteringsskärmen skiljer sig ofta beroende på konduktivitet i den naturliga bergmassan och dess sammansättning. En bergmassa med hög vattenföring går generellt att tätta i högre grad än en redan tät massa. Som indata till analytiska beräkningarna har tre fall använts för injekteringsskärmens konduktivitet.

I det första fallet har injekteringsskärmen samma konduktivitet som berget i övrigt. Detta fall kan ske eller väljas i områden där berget redan är mycket tätt.

I det andra fallet tätas bergmassan en tiopotens mot omgivande berget. Detta fall är rimligt att kunna tätta det mesta berg som har en konduktivitet högre än 5×10^{-8} m/s utan större problem.

I det tredje fallet har injekteringsskärmen två tiopotenser lägre konduktivitet än omgivande berg. Att uppnå så hög tätningsgrad är svårt för en bergmassa oavsett konduktivitet, men i synnerhet där konduktiviteten är lägre än 1×10^{-7} m/s, därför är injekteringsskärmen aldrig tätare än 1×10^{-9} m/s oavsett omgivande berg.

I verkligheten kommer bergmassan inte att ha en homogen konduktivitet över hela sträckan, men dessa beräkningar ger en uppskattning av vilket inläckage som genereras från delar med olika konduktiviteter, och vilken tätningsgrad som krävs för att uppnå de relativt låga inläckage som förväntas krävas på sträckan.

5.2.3. Resultat Analytiska beräkningar

Beräkningar är utförda som medeltal per 100 m tunnel i Tabell 8. Mer information om de två konduktivitetvärdena som används finns i Bilaga D.2.2 Beräkningar, men kan kort beskrivas som ett medeltal på tunnelnivå (K3D), medeltal på hela bergmassan ovan tunnel (K3D Vägt) samt ett konservativt värde för hela bergmassan över tunneln (K90 Vägt). Konduktiviteten på

injekteringsskärmen beskrivs som andelar av konduktiviteten för omgivande berg, 1/1 (samma konduktivitet) 1/10 (en tiopotens lägre), 1/100 (två tiopotenser lägre).

Tabell 8. Resultat från utförda analytiska beräkningar beroende på bergmassa och injekteringsskärm

Hydraulisk konduktivitet i berg	Inläckage i l/min och 100m tunnel		
	Konduktivitet injektering		
	1/1	1/10	1/100
K3D $2,8 \times 10^{-09}$	2,3	-	-
K3D Vägt $1,5 \times 10^{-08}$	19,8	4,7	-
K90 Vägt $1,2 \times 10^{-07}$	93,4	36,5	5,4

Utförda beräkningar visar att tunneln för Ostlänken som förläggs cirka 70 meter under nivån för Skirens vattenyta skulle generera ett inläckage på ca 2–37 l/min och 100 meter med normal injektering, alltså en tiopotens, med största delen av sträckan inom det lägre spannet inläckage. Storleksordningen på inläckaget stöds av en sammanställning som gjorts av faktiska inläckagemätningar i färdiga tunnlar². Genom att öka antalet injekteringsskärmar och anpassa tider och injekteringsbruk kan även finare sprickor tätas med en ännu tätare skärm kring tunneln som följd. Studier³ har visat att det är rimligt att anta att en täthet på 1×10^{-9} m/s är möjlig att uppnå vid normala bergförhållanden och ett ambitiöst injekteringsarbete. För en tunnel förbi Skiren skulle det motsvara ett inläckage på 2-5 l/min och 100 meter tunnel.

Sträckan genom Skirens avrinningsområde är cirka 320 meter, se Figur 16. Strukturgeologiskt går det att argumentera för att cirka 500 meter av tunnelns inläckage kommer att få delar av sitt vatten från sjöns avrinningsområde. Det skulle dock samtidigt innebära att delar av tunneln rakt under avrinningsområdet tar delar av sitt vatten utanför avrinningsområdet. I fortsatt rapport antas att 320 meter av tunneln får allt vatten från avrinningsområdet, den sträcka som går rakt under avrinningsområdet. Detta innebär att totalt cirka 7–117 l/min avleds till tunneln i fallet med normal tätning, och 7-17 l/min i fallet med en lyckad ambitiös injektering.

5.2.4. Modellering

För att kunna hantera den komplexa geologin och avtagande hydraulisk konduktivitet på djupet byggdes en grundvattenmodell i programmet MODFLOW/ModelMuse för hela Kolmårdstunneln. Modelleringen förklaras mer utförligt i Bilaga D.2.2 Beräkningar men sammanfattas kortfattat här.

Eftersom modellen kan hantera flera lager ovan varandra med skiftande hydraulisk konduktivitet byggdes den upp av en bergmassa med en konduktivitet de översta 50 metrarna och en lägre konduktivitet på det berg som ligger djupare. Simuleringar utfördes med två olika modeller. De två modellerna använder två olika beräkningssätt för berget hydrauliska konduktivitet. Modell benämnd K3D använder ett beräknat medelvärde och modell K90% använder värden som motsvara den 90-percentilen av bedömd hydraulisk konduktivitet. Skillnaden blir att i modell K3D antas en tätare bergmassa. I K3D har bergmassan en genomsnittlig konduktivitet av $2,5 \times 10^{-8}$ m/s på de översta 50

² Handling från Citylinks tillståndsansökan, Mark- och miljödomstolen, Nacka tingsrätt, M 2772-15 Akthil 999.

³ PM Injekteringsdesign, 2010-04-23 rev 2010-06-02; ingår i systemhandling för objekt E4 Förbifart Stockholm, Trafikverket, handling 0B140020.

metrarna och $2,9 \times 10^{-9}$ m/s på det djupare berget. Tätning av berganläggningar som passerar de övre 50 metrarna har gjorts till 1×10^{-8} m/s och för djupare berg, där anläggning passerar Skiren har en tätning till 1×10^{-9} m/s antagits. I den andra modellen, K90%, antas den övre bergmassan har konduktiviteten 2×10^{-7} m/s och den undre 1×10^{-8} m/s. Även i denna modell antas tätning av berget och det medför en hydraulisk konduktivitet på 2×10^{-8} m/s för anläggningar i ytligt berg och 1×10^{-8} m/s för djupare berg. Vid passage av Skiren används samma värde på tätning som i modell K3D. Tätning beräknas som en 6 meter mäktig zon runt anläggning, med det angivna K-värdet.

Modellens resultat var ett genomsnittligt inläckage av 3,9 l/min och 100m tunnel för scenariot med tätare berg utan injektering och 7,2 l/min och 100m tunnel för scenariot med mer genomsläppligt berg som tätades med en tiopotens. Totalt innebar detta 13–24 l/min för hela passagen.

5.2.5. Sammanfattning av inläckageberäkningar

Både de analytiska beräkningarna och modellen visar resultat i samma storleksordningar. De analytiska beräkningarnas större spann beror till stor del på att fler scenarion kan hanteras, med flera tätningsgrader. De analytiska beräkningarna kan användas för att uppskatta till vilken tätningsgrad berg av olika konduktivitet längs med faktiska tunnelbygget bör hanteras för att uppnå sökt resultat. Det modellerade scenariot med en mer vattenförande bergmassa har en fullt hanterlig tätningsgrad i de allra flesta fall men beskriver inte på samma sätt hur variationer inom berget bör hanteras. Sammantaget bedöms dock de modellerade värdena som säkrare för sina respektive scenarier och används därför i fortsatta bedömningar.

Beräkning av inläckaget till tunneln – det som tas från Skiren – är förenklat i avseende på hur grundvattnet rör sig i berget; varifrån det inläckande vattnet kommer ifrån. I beräkningar antas ett vinkelrätt flöde mot tunneln och att allt vatten enbart har sin härkomst från Skirens tillrinningsområde. Det är en förenkling av det verkliga grundvattenflödet. Exempelvis kan en del vatten läcka till tunnel från andra områden som kan ”ersätta” vatten från Skiren, och tvärt om kan grundvatten från Skirens tillrinning läcka till andra delar av tunneln. Sammantaget är dock bedömningen att det beräknade snittet ger en rättvisande bild av hur inläckaget till tunneln påverkar tillrinningen till Skiren.

5.3. Vattenbalans med tunnel

I avsnittet beräknas vilken effekt det ovan angivna inläckaget till tunneln har på Skirens vattenbalans. I vattenbalansberäkning utgår från att inläckaget till tunneln påverkar tillgängligt vatten för Skiren, det vill säga att inläckaget till tunneln minskar vattentillgången i Skiren.

Efter allt tillskott från nederbörd och det som bortgår genom evapotranspiration är tillgängligt vatten för avrinning i medeltal 161 l/min. Efter de uttag av vatten som sker från Skiren idag (48 l/min) kvarstår en avrinning för ett normalår på 114 l/min och 81 l/min för torrår (se avsnitt 4.6).

En ytterligare bortledning av grundvatten till en järnvägstunnel för Ostlänken skulle reducera det överskott på vatten som finns idag och därmed minska avrinningen. Vid fallet med bergförhållanden enligt K3D skulle minskningen bli 12 % av nuvarande avrinning under ett normalår. Vid ett mer vattenförande berg, enligt modell K90%, skulle avrinningen minska med 21 %.

Om man utgår från ett torrare år, då vattentillgången är cirka 30 % lägre, motsvarar det avledda vattnet till tunneln 16 % respektive 30 % av avrinningen för de två modellerade scenarierna.

Med en påverkan på vattenbalansen motsvarande det genomsnittliga konduktivitetsvärdet på berget och en injektering som strävar efter att upprätthålla samma inläckage på hela sträckan (motsvarande 12 % av avrinningen) skulle sjöns omsättningstid öka från cirka 57 år till cirka 62 år. På motsvarande sätt skulle en minskad avrinning med 21 % vid mer vattenförande berg och en ambitiös injektering innebära att omsättningstiden för sjön skulle öka från cirka 57 år till cirka 73 år. Avrinningen i bäcken från sjön skulle samtidigt minska till 101 l/min respektive 90 l/min.

Tabell 9. Sammanställning av Skirens avrinning och omsättningstid före och efter tunneln för ett normalår.

Inläckage till tunnel (l/min)	Avrinning från Skiren (l/min)	Omsättningstid (år)
0	114	57
13 (modell K3D)	101	62
24 (modell K90%)	90	73

6. Bedömd påverkan

Bedömningen är att en passage norr om Skiren och en ambitiös tätning av tunneln kommer att leda till att sjöns omsättningstid blir i storleksordningen 20 procent längre. Det kommer även att ge en påverkan på sjöns vattenståndsvariationer, framför allt genom att låga vattenstånd blir något vanligare och de lägsta nivåerna blir något lägre än idag samt att medelvattenståndet sänks med någon centimeter. Effekten är liten, men förstärks av klimatförändringarna. En ytterligare bortledning av vatten från Skirens avrinningsområde resulterande i minskad tillrinning skulle främst innebära att den redan långa omsättningstiden blir ännu längre. Vidare skulle bortledningen medföra att avrinningen från sjön minskar. För att även vattenflödet i bäcken från Skiren ska påverkas tydligt krävs en längre torr period med lågt vattenstånd i sjön som medför att sjönivån sänks under tröskelnivån för utloppet till bäcken. Så länge vattennivå ligger ovanför tröskelnivå tillförs ett flöde till bäcken från Skiren. Idag tillförs vatten till bäcken större delen av året, vanligen är det inget flöde under några sommarveckor.

Tabell 10. Påverkan på vattenbalansen för Skirens avrinningsområde vid olika inläckage till tunnelanläggningen, beskrivet som andel av vattenöverskott/avrinning.

Modell	Minskning av avrinning från Skiren på grund av dränering till tunneln		Kvarvarande flöde i bäcken från Skiren	
	Normalår	Torrår	Normalår (113 l/min)	Torrår (81 l/min)
K _{3D}	12 %	16 %	100 l/min	68 l/min
K _{90%}	21 %	30 %	89 l/min	53 l/min

Vad gäller Skirens vattenstånd är årstidsvariationen liten, trots att flödet i bäcken redan idag är mycket litet eller saknas vid mätöverfallet under årets torra del. Under relativa normala förhållanden varierar Skirens vattenstånd från cirka +84,75 m, vattenstånd på sommaren, till cirka +85,15 m, vattenstånd på vintern (Figur 21). År 2018, ett särskilt torrt år, sjönk vattenståndet till cirka +84,55 m.

I och med att Skiren har en stor volym är den relativt okänslig för kortare perioder med större dränering. Som illustration görs följande beräkningsexempel. Under ett år skulle det ledas bort cirka 7 500 – 20 000 m³ vatten till tunneln (4,5 – 11,8 l/min och 100 meter tunnel). Om detta skulle ske under ett år utan andra utflöden (nederbörd, evapotranspiration, avrinning och vattenuttag), vilket inte är möjligt, och allt vatten dräneras direkt från Skiren, skulle vattenståndet sänkas 4 - 10 centimeter (Figur 4). Det är en liten förändring och ligger inom den naturliga fluktuationen och anses inte medföra någon större konsekvens på vattenmiljö eller andra värden.

Ovanstående beräkningsexempel är ett realistiskt fall utan andra utflöden under ett helt år. Den konsekvens som dock bedöms kunna uppkomma för Skiren är att årstidsvariationen i vattenståndet kan komma att öka med något lägre vattenstånd under sommaren. Eftersom vattenbalansen fortfarande är positiv kommer nivåerna att återhämta sig vid nederbördsperioder men det kan dröja något ytterligare någon tid innan flödet ökar i bäcken utifrån sjön.

Bedömningen är att Skirens vattenbalans och därmed värde i hög grad går att upprätthålla av ett antal anledningar:

1. Berggrunden kring Skiren, på den nivå som tunneln kommer befinna sig, har generellt mycket tät bergmassa.
2. Genom försondering framför tunneln går det att tidigt upptäcka områden med högre vattenföring, och tätningsåtgärder kan då anpassas för att uppnå ett lågt inläckage även på de delarna.
3. Den sträcka av tunneln som förväntas kunna påverka vattenbalansen är cirka 330 meter och det bedöms som teknisk och ekonomiskt möjligt, även om den kräver omfattande tätning, att genomföra tillräckliga åtgärder.
4. Den diffusa avrinningen (med diffus avrinning menas grundvatten som avrinner utanför bäcken, längs sluttningen i söder) från sjön förväntas vara låg med tanke på likheten i uppmätt flöde och beräknad vattenbalans. Tillsammans med att sjön har ett begränsat avrinningsområde innebär det att ett kontrollprogram har bra möjligheter att fånga upp förändringar i sjöns vattenbalans.

De försvårande omständigheterna som föreligger är:

1. Den direkta kopplingen mellan inläckage i tunneln och påverkad vattenbalans kan vara svår att mäta under produktionstiden.
2. Uttaget av dricksvatten från sjön är oreglerat. Det innebär att ökade vattenuttag från brukare kan minska den mängd vatten som finns "tillgänglig" för tunneln och för ytavrinningen.
3. Det kommer vara svårt att urskilja om inläckande vatten kommer direkt från sjön eller dess tillrinning. De olika fallen påverkar omsättningstiden i motsatt riktning.

6.1. Miljökvalitetsnormer för vatten

En helt tät tunnel är inte tekniskt eller ekonomiskt möjligt att utföra vilket gör att ett visst inläckage kommer att ske till tunneln. Inläckaget till tunneln kommer delvis att utgöras av grundvatten från Skirens avrinningsområde, vilket kan medföra påverkan på sjöns hydrologi. Inläckaget beräknas ligga inom intervallet 6 800–12 600 m³/år, beroende på bergets genomsläpplighet samt omfattningen av tätningssåtgärderna, vilket är betydligt mindre än uppskattningen av det oreglerade uttaget 28 000 m³/år. Därmed kan det uppstå en viss påverkan på de parametrar som ingår i kvalitetsfaktorn hydrologisk regim, vilket används i klassificeringen av ekologisk status för sjön.

6.1.1. Påverkan på hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna

Vattenståndvariation och avvikelse i vinter- eller sommarvattenstånd

Parametrarna vattenståndvariation samt avvikelse i vinter- eller sommarvattenstånd används för att visa påverkan av ett förändrat vattenstånd. Dessa är ej klassade idag (i VISS).

Idag finns ett befintligt vattenuttag som uppskattas till 28 000 m³/år. Det är därför sannolikt att båda parametrarna har god status idag, det vill säga vattenståndets medelavvikelse från opåverkade förhållanden ligger inom intervallet 0,05–0,25 meter, vilket utgör intervallet för god status. (En minskning av sjöns volym, som en engångshändelse, med 28 000 m³ innebär en avsänkning med cirka 13 centimeter enligt Figur 4. Den faktiska påverkan på Skirens vattenstånd idag på grund av det befintliga vattenuttaget är mindre än 13 centimeter, men sannolikt större än 5 centimeter. Detta gäller för båda parametrar, vattenståndvariation samt avvikelse i vinter- eller sommarvattenstånd. Till exempel, om hela vattenuttaget, 28 000 m³/år, skulle ske under sommaren, 1 juni till 31 augusti, blir avsänkningen cirka 13 centimeter som mest.)

Om Skirens vattenvolym, som en engångshändelse, skulle minskas med ytterligare 6 800–12 600 m³ (inläckaget till tunneln, se ovan) uppskattas det att vattenståndet skulle minska med ytterligare cirka 3–6 centimeter (Figur 4). Vid inläckage till tunneln blir den faktiska avsänkningen i Skiren mindre än detta eftersom in- och utflöden till sjön inte är oberoende av inläckaget. Till exempel, ett inläckage till tunneln innebär ett minskat utflöde från sjön och påverkar därmed inte enbart vattenståndet.

Den kumulativa effekten på Skirens vattenstånd av det befintliga vattenuttaget och tunnelinläckaget kommer att ligga inom 0,05–0,25 meter, vilket utgör intervallet för god status för båda vattenståndvariationen samt avvikelserna i vinter- eller sommarvattenstånd.

Vattenståndets förändringstakt

Parametern vattenståndets förändringstakt används för att visa påverkan på förändringar i vattenståndet. Vattenståndets förändringstakt är skillnaden i förändring av vattenståndet mellan två intilliggande dagar relativt den naturliga oreglerade vattenståndsförändringen. På grund av inläckaget till tunneln uppstår en effekt där höjningen av vattenståndet efter nederbörd blir något långsammare medan sänkningen går något snabbare under torra perioder.

Skiren har ett relativt litet avrinningsområde (0,55 km² jämfört med sjöns yta 0,17 km²). Skirens responstid efter nederbörd eller torra perioder med betydlig evapotranspiration är relativt kort jämfört med sjöar som har större avrinningsområden uppströms som buffrar förändringar. Skirens vattenstånd enligt uppmätningar följer tydligt säsongerna: vattenstånd ökar under vinterhalvåret på grund av nederbörd, medan den minskar under sommarhalvåret, huvudsakligen på grund av

evapotranspiration men även till viss del på grund av vattenutflödet, både ytavrinning och grundvatten samt vattenuttaget.

Inläckagets inverkan på vattenståndets förändringstakt har beräknats för Skiren enligt Havs- och vattenmyndighetens vägledningen för hydrologisk regim i sjöar, vilket beskriver lämpligt tillvägagångssätt vid klassificering av ytvattenstatus enligt HVMFS 2019:25. Det normala vattenståndet är mätt under tre år, från maj 2020 till maj 2023. Perioden maj 2020 till oktober 2020 är baserat på månadsmätning; syntetiska värden har beräknats för varje dygn denna period. Resterande mätningar är dygnsmedelvärden. Det befintliga vattenuttaget pågick under mättningsperioden, vilket innebär att det ingår i det beräknade oreglerade vattenståndet. Det reglerade vattenstånden baseras på att vattenståndet sänks på grund av inläckage till tunneln. Beräkningen visar ändå storleksordningen av effekten som kan uppstå på grund av inläckaget.

Två fall av inläckage har beräknats: ett lägre flöde med 13 l/min (motsvarar 6 800 m³/år) och ett högre flöde med 24 l/min (motsvarar 12 600 m³/år). Stora delar av året rinner ett överskott ut från Skiren varvid det är sannolikt att detta inläckage inte påverkar vattenståndet nämnvärt. I denna beräkning har en konservativ ansats tagits och förändringstakten har beräknats med förutsättning att läckaget påverkar Skirens vattenstånd signifikant alla dagar på året. Med detta antagande och ett inläckage av 13–24 l/min beräknas det att vattenståndets förändringstakt avviker med 2,1–3,8 % från oreglerade förhållanden. Det befintliga vattenuttaget på 28 000 m³/år innebär troligen att statusen för vattenståndets förändringstakt för Skiren är god (avviker med 5–15 %). Kumulativt kommer påverkan från vattenuttaget och inläckaget ligga inom detta intervall, vilket innebär att parametrarnas status inte förändras.

Sammanfattning

Förutsatt att tätning av tunneln vid passagen av Skiren utförs enligt beskriven metod och uppnår angivna tätheter är bedömningen att järnvägen kan anläggas och drivas utan att otillåten försämring av kvalitetsfaktorn hydrologisk regim eller ekologisk status sker.

6.2. Riksintresse naturmiljö

Sjön Skiren är utpekad som riksintresse för naturmiljö utifrån sjöns höga naturvärde med förekomst av glacialrelikta djursamhällen, flodkräfta och skyddsvärda växtsamhällen. Sjön har klart, näringsfattigt vatten och en lång omsättningstid. Vattenkvaliteten och den långa omsättningstiden är förutsättningar för att bibehålla sjöns höga naturvärden.

Genomförda beräkningar visar att grundvattenbortledningen kan medföra en förändring av sjöns vattenbalans så att omsättningstiden förlängs något. De förväntade ekologiska effekterna kan i första hand kopplas till den ökade omsättningstiden, vilken bedöms ge ett något klarare och näringsfattigare vatten. Det klara och näringsfattiga vattnet är en viktig förutsättning för sjöns höga naturvärde. Ett något ökat siktdjup kan förväntas leda till ökad djuputbredning hos undervattensvegetationen och en ökad produktion på djupare bottenar, men förändringarna bedöms vara små. En lång omsättningstid är en av de viktigaste förutsättningarna för Skirens naturvärden och egenskaper (till exempel mycket klart vatten). Det finns dock en osäkerhet avseende påverkan på belastning av näringsämnen. En förlängd omsättningstid på grund av grundvattenbortledning till tunneln, och därmed minskad avrinning från Skiren, medför teoretiskt en höjning av koncentrationen av dessa. Med den begränsade förändringen av vattenbalansen bedöms risken att den märkbart ska påverka halter som mycket små. Effekterna som hänger samman med påverkan på vattenståndsvariationerna bedöms som ringa och

sjön kommer även fortsättningsvis ha naturliknande fluktuationer och säsongsvariationer. Grundvattenbortledningen bedöms sammantaget medföra en liten effekt på sjöns naturvärden.

6.3. Regeringens tillåtlighetsvillkor

I regeringens tillåtlighetsprövning finns ett villkor för att vidta skyddsåtgärder och försiktighetsmått i den omfattning som krävs för att skydda yt- och grundvatten från föroreningar i yt- och grundvattenförekomster som nyttjas eller kan nyttjas som dricksvattenresurser samt ett villkor som riktar sig specifikt till Skiren för att reglera påverkan på sjöns vattenbalans och vattenkvalitet. Nedan finns den exakta lydelsen av villkoren.

Villkor 5 - Vattenresurser

Trafikverket ska, efter samråd med Sveriges geologiska undersökning, Statens geotekniska institut, berörda länsstyrelser och kommuner, vidta skyddsåtgärder och försiktighetsmått i den omfattning som krävs för att skydda yt- och grundvatten från föroreningar från byggnads- och anläggningsarbetena samt tågtrafiken. Särskilt fokus ska läggas på de yt- och grundvattenförekomster som i dag utnyttjas som dricksvattentäkter eller i framtiden har en potential att utnyttjas som sådana. Ett kontrollprogram ska tas fram i samråd med länsstyrelserna för att följa upp påverkan på berörda yt- och grundvattenförekomster före och under byggskedet samt under drift.

Villkor 6 – Skiren

Den närmare lokaliseringen och utformningen av järnvägen förbi sjön Skiren ska, efter samråd med Sveriges geologiska undersökning, Statens geotekniska institut, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut och Länsstyrelsen i Östergötlands län, planeras och utföras så att påverkan på vattenbalans och vattenkvalitet i Skiren så långt möjligt begränsas.

Avseende villkor 5: Det utförs inget arbete inom Skirens avrinningsområde och ingen återföring av vatten från tunneln planeras ske till Skiren, varför någon risk för spridning av föroreningar inte bedöms föreligga och villkoret för vattenresurser efterlevs.

Avseende villkor 6: Olika modelleringar har utförts för att beräkna inläckaget till Kolmårdstunneln som underlag för bedömning av effekter och konsekvenser för Skiren. Modelleringarna visar på att Skirens vattenbalans kommer att påverkas vilket kommer att leda till en ökad omsättningstid. Även för den konservativa modelleringen (mer vattenförande berg än vad som är troligt) bedöms konsekvenser för Skirens värden bli acceptabla. För att så långt möjligt minska inläckaget är det viktigt att en omsorgsfull tätning av tunneln utförs.

Vid modellering har konservativa antaganden gjorts för att inte underskatta påverkan på Skiren. Vattenflödesmätningar i berg visar på ett tätt berg i läge för tunneln. Hydrauliska tester har visat medianvärden för hydraulisk konduktivitet, K, på 2×10^{-9} m/s samt att ingen vattenförande sprickzon har detekterats i läge för tunneln. I grundvattenmodellerna har två olika K-värden för berget vid tunneln använts: 1×10^{-8} m/s och $2,9 \times 10^{-9}$ m/s (för den konservativa respektive troliga modellen), det vill säga något högre än uppmätt även för den troliga modelleringen.

Trafikverket planerar att utföra en ambitiös tätning av berget i tunneln inom Skirens avrinningsområde (ca 330 m), vilket ger en beräknad täthet (hydraulisk konduktivitet) för den injekterade zonen på $K \ 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$.

Dimensionering av tunnelns tätning kommer dels att ske i detaljprojekteringen inför byggskedet, där mer kunskap om bergets vattenförande egenskaper inhämtas, dels vid försondering i tunnelfronten i byggskedet. På så sätt kommer injekteringen av sprickzoner kunna anpassas för att begränsa inläckaget till tunneln. Längs spårtunneln ligger en parallell servicetunnel. Servicetunneln kan drivas före spårtunneln för att verifiera bergförhållanden och om planen för injektering kan följas eller behöva justeras.

Utifrån inhämtad kunskap tillämpas aktiv design, det vill säga att injekteringsarbetet anpassas efter förutsättningarna och kraven. På så sätt kommer injekteringen av sprickzoner kunna anpassas för att begränsa inläckaget till tunneln.

Den alternativa lösning som har utretts för att minimera inläckaget till tunneln är bärande lining. Kostnaden för en sådan teknisk lösning är mycket stor. Den tekniska lösning som Trafikverket istället har valt bedöms vara tekniskt genomförbar samt miljömässigt och samhällsmässigt motiverad, se 6.1 och 6.2,. Den påverkan på vattenbalansen som kan förutspås med vald teknisk lösning är acceptabel.

Sett till bergets låga hydrauliska konduktivitet och en ambitiös tätning av berget bedöms tillåtlighetsvillkor 6 uppfyllas.

6.4. Samlad bedömning inklusive tillåtlighetsfaktorer

För Skiren har en samlad bedömning gjorts med avseende på effekter från grundvattenbortledning till Kolmårdstunneln. Grundvattenbortledningen medför en förändring av sjöns vattenbalans så att omsättningstiden förlängs något. Detta bedöms inte medföra någon märkbar negativ effekt på sjöns naturvärden eller ekologisk och kemiska status. Bedömningen är även att järnvägen kan anläggas och drivas så att otillåten försämring av kvalitetsfaktorn hydrologisk regim eller ekologisk status inte sker. Effekten på Skirens vattenbalans bedöms som liten och anläggandet av Kolmårdstunneln kommer inte innebära någon tillförsel av ämnen som kan påverka sjöns kvalitet som dricksvattentäkt. Det finns även tydliga och görbara skyddsåtgärder att överväga ifall påverkan blir märkbar. Genom att ersätta nuvarande vattenuttag från sjön med annat vatten kan nuvarande vattenbalans bibehållas även med viss grundvattenbortledning till Kolmårdstunneln. Vilka skyddsåtgärder som föreslås genomföras beskrivs i Bilaga D. *Miljökonsekvensbeskrivning* och Bilaga D.2 *PM Yt- och grundvatten*. Sammantaget bedöms kravet i regeringens tillåtlighetsvillkor 5 och 6 vara beaktat.



TRAFIKVERKET

Trafikverket, 172 90 Sundbyberg.. Besöksadress: Solna Strandväg 98.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

www.trafikverket.se