



Juni | 23

# Detaljregulering E18 Ytre ringvei

Fagrapport hydrogeologi

---

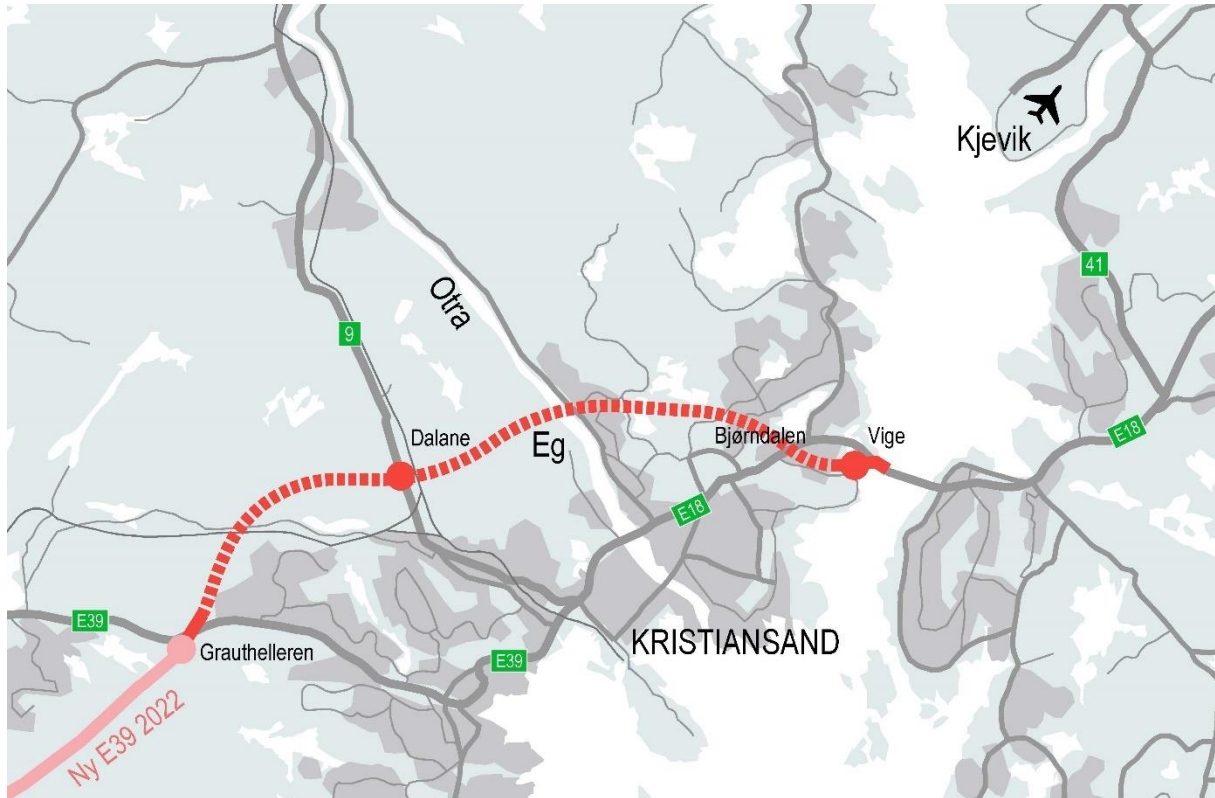
Oppdragsnr:	5206182
Oppdragsnavn:	Detaljregulering E18 Ytre ringvei
Dokument nr.:	NV42E18YR-GEO-RAP-0004
Filnavn	Fagrapport hydrogeologi

#### Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
a01	27.01.2022	For fagkontroll	HeiKje, RanSae, RenGul, olnot	LaVae	
c02	30.05.2022	For tredjeparts- kontroll	HeiKje, RanSae, RenGul, olnot	Lavae, ViBra	TeFaa
d03	30.09.2022	For godkjenning hos Nye Veier	RanSae, RenGul, Olnot	ViBra	TeFaa
e04	30.11.2022	For godkjennelse hos myndigheter	RanSae, RenGul, olnot	LaVae	TeFaa
d05	26.05.2023	For kontroll hos oppdragsgiver	ViBra	RanSae	TeFaa
e06	27.06.2023	For behandling hos kommunen	ViBra	RanSae	TeFaa

## Forord

E18 Ytre ringvei på stekningen fra Vige til Grauthelleren er en del av hovedveiforbindelsen forbi Kristiansand. Nye Veier AS har ansvar for planlegging, bygging og drift av denne veistrekningen.



På vegne av Nye Veier AS har Norconsult as utarbeidet «NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Hydrogeologisk fagrapport» i forbindelse med reguleringsplanen for E18 Ytre ringvei. «NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Hydrogeologisk fagrapport» er utarbeidet etter krav til geologiske forundersøkelser i reguleringsplanfasen i henhold til N500 [1], samt Vannressursloven [2], og inngår som en del av grunnlaget for utarbeidelse av Reguleringsplanen for E18 Ytre ringvei.

Merknader og kommentarer kan sendes til epost [firmapost@norconsult.com](mailto:firmapost@norconsult.com). Merk henvendelsen med «Ytre Ringvei».

Telefonnummer sentralbord: 67 57 10 00.

## Sammendrag

Norconsult utarbeider, på oppdrag fra Nye Veier AS, detaljreguleringsplan for Ytre ringvei i Kristiansand kommune. Ytre ringvei skal bygges mellom Vige og Grauthelleren i Kristiansand kommune, en strekning på ca. 9,6 km, der mesteparten av strekningen går i tunnel. Det skal bygges to løp, samt ut- og innkjøringsramper i Dalane.

I alle tunneler vil det være en viss innlekkasje av grunnvann som kan påvirke grunnvannstand, men det kan iverksettes tiltak for å begrense innlekkasjen. Denne rapporten gir en anbefaling for tetthetskrav (maksimal tillatt innlekkasje) for tunneltraseen. Tetthetskravene vil gi føringer for tettarbeider i tunnelen. Formålet med tetthetskravene er å ivareta viktige elementer som er sårbare for en redusert grunnvannstand. Dette gjelder eksempelvis vann- og naturforekomster, kulturminner, samt bygninger og infrastruktur som kan være utsatt for setningsskader. Tetthetskravene er basert på en hydrogeologisk tolkning av forholdene langs traseen i tillegg til en vurdering av sårbarhet i forhold til vann- og naturforekomster, kulturminner og setninger. Arbeidet i forbindelse med tetthetskrav i tunnel er utført i samarbeid med tilgrensende fag (ingeniørgeologi, geoteknikk, ytre miljø, samt andre fag).

I forbindelse med vurdering av tetthetskrav og kartlegging av grunnvannsforhold er det utført grunnundersøkelser i løsmasser og fjell. I fjell er det boret kjerneborhull og hammerhull. Det er tatt ut kjerneprøver, gjort vanntapsmålinger, pumpestester og geofysiske målinger i borehull (borehullslogging). Det er utført overvåkning av grunnvannsnivå i hammerhull, løsmassebrønner, poretrykksmålere i leire, samt utvalgte tjern/vannforekomster langs traseen. Resultater fra disse undersøkelsene er vurdert i sammenheng med andre ingeniørgeologiske/geotekniske undersøkelser som refraksjonsseismikk og totalsonderinger og kartlegging av naturmiljø.

Langs traseen er det kartlagt ulike gneiser, som generelt er lite permeable. Svakhetssonene langs traseen er i hovedsak vurdert til å være steile, men med enkelte unntak. I borehull som går tilnærmet loddrett kan permeabiliteten i steile svakhetssoner bli underestimert. Det forventes spesielt vannførende soner ved Vollevannet og kryssing av Nedre Jegersbergvann. Høyeste grunnvannstrykk over tunnel er omtrent 15 bar, under høydedraget vest for sykehuset.

Overordnet er det mer setningsømfintlige løsmasser i østre del av traseen (vestgående profil 670–4 700), som er sårbare for grunnvannssenkning. I vestre del av traseen (vestgående profil 4 700–9 500) går tunnelen igjennom flere høydedrag med flere tjern som kan være sårbare for grunnvannssenkning. De mest setningsutsatte områdene er ved Bjørndalen, Sødal og Eg. De mest sårbare naturforekomstene er Nedre Hellerstøvann og Jentetjønn.

Tetthetskravene varierer fra 3 til 20 l/min per 100 meter per løp, der de strengeste kravene er satt av hensyn til ytre miljø og setningsproblematikk. På enkelte delstrek er det anbefalt å styre tettarbeider etter målt grunnvannssenkning/poretryksreduksjon og det er satt terskelverdier for maksimalt tillatt senkning av grunnvannsnivå/poretrykk. Dersom poretrykk i

setningsutsatte områder synker under terskelverdier eller vannstand i tjern synker må det iverksettes ekstra tetttiltak, eller andre avbøtende tiltak som f.eks. bruk av infiltrasjonsbrønner for å opprettholde grunnvannstrykket.

Fastsettelse av tetthetskravene er basert på grunnundersøkelser, hydrogeologiske beregninger og vurderinger. Det er usikkerhet knyttet til disse undersøkelsene og beregningene, og det kan være forhold som ikke er avdekket. Grunnvannstand, poretrykk i leire i overgangen til berg og vannstand i tjern bør overvåkes før, under og etter anleggsperioden. Det pågår fortsatt overvåkning av grunnvannsnivå i utvalgte hammerhull langs traseen. Det anbefales at det etableres flere poretrykksmålere i leiravsetningene ved Bjørndalen og Sødal, og vurderes behov for overvåkning i ytterligere hammerhull eller poretrykksmålere langs traseen.

## Innhold

1	Innledning .....	9
1.1	Tiltaksbeskrivelse .....	9
1.2	Om rapporten.....	10
1.3	Regelverk og forutsetninger .....	10
2	Tidligere erfaringer fra nærliggende anlegg .....	12
2.1	Baneheitunnelen.....	12
2.2	Presteheiatunnelen.....	12
2.3	E39 Kristiansand vest – Mandal øst .....	13
2.4	Oddernestunnelen .....	16
3	Faktadel .....	18
3.1	Geologiske og geotekniske grunnundersøkelser .....	18
3.2	Hydrogeologiske undersøkelser .....	18
3.3	Vann- og naturforekomster.....	54
3.4	Overvåkningsresultater av grunnvannstand, poretrykk og vannstand i tjern .....	56
3.5	Registrering av eksisterende brønner .....	74
3.6	Registrering av kulturminner.....	75
4	Geologi, hydrogeologi og setningsfare.....	76
4.1	Berggrunnsgeologi.....	76
4.2	Kvartærgeologi og løsmasser.....	77
4.3	Hydrogeologiske forhold .....	83
4.4	Setningsømfintlige løsmasser .....	87
4.5	Oppsummering av hydrogeologiske forhold langs traseen .....	91
5	Tiltakets effekt på grunnvannsforhold .....	96
5.1	Hensyn til naturmiljø .....	96
5.2	Hensyn til eksisterende brønner .....	103
5.3	Hensyn til setningsutsatte områder .....	105
5.4	Hensyn til kulturminner .....	114
6	Tetthetskrav .....	117
6.1	Anbefalte tetthetskrav for tunneltraseen.....	117
6.2	Beregnet innlekkasje .....	118
6.3	Teoretisk beregning av innlekkasje i tunnel sammenlignet med tetthetskrav .....	119
6.4	Dimensjonerende innlekkasjemengder for dreosanlegg .....	121
7	Videre undersøkelser og oppfølging i byggefase .....	122
7.1	Kartlegging av private vannforsynings- og energibrønner.....	122
7.2	Overvåkning.....	122

7.3	Oppfølging i byggefase.....	122
8	Referanser .....	123
	Vedlegg 4 - CEEQUAL-tabell .....	126

## Vedleggsliste:

Vedlegg 1: Befaring og kartstudier av vannforekomster

Vedlegg 2: Boreprotokoll og vanntapsmålinger fra hammerhull

Vedlegg 3: Datarapport overvåkning av grunnvannsnivå, poretrykk og vannstand i tjern.

Vedlegg 4: Ceequal tabell

Vedlegg 4 finnes i slutten av dette dokumentet, mens vedlegg 1-3 finnes i separate dokumenter.



# 1 Innledning

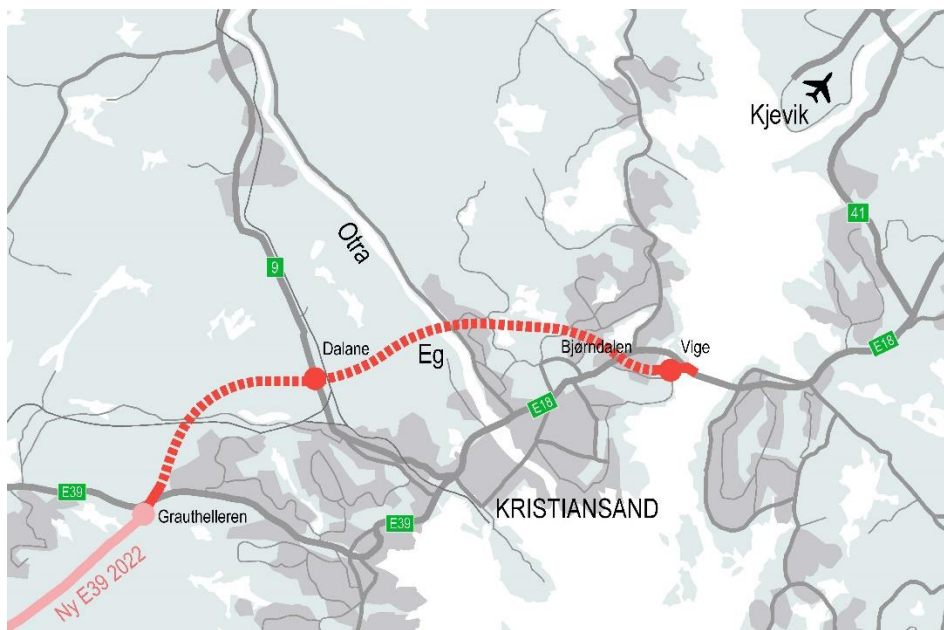
## 1.1 Tiltaksbeskrivelse

Norconsult utarbeider detaljreguleringsplan for Ytre ringvei i Kristiansand kommune på oppdrag fra Nye Veier AS. Ytre ringvei er om lag 10 kilometer og strekker seg fra Vige i øst til Grauthelleren i vest (figur 1-1). Veianlegget inngår i den 200 kilometer lange strekningen mellom Kristiansand i Agder og Ålgård i Rogaland som Nye Veier har ansvar for å bygge ut.

Ytre ringvei skal bygges for at transportkorridoren mellom Vige og Grauthelleren skal bli mer effektiv og mindre sårbar, samt for å avlaste dagens hovedveisystem gjennom Kristiansand sentrum. Veianlegget er planlagt med løsninger som har en positiv netto nytte per investert krone. I utformingen av veianlegget er det lagt stor vekt på å finne bærekraftige løsninger.

Ytre ringvei skal bygges som 4-felts motorvei, med fartsgrense 110 km/t på mesteparten av strekningen. Veien vil i hovedsak gå i tunnel. Det skal opparbeides to parallelle tunnellop, et for østgående og et for vestgående trafikk. På bakkeplan vil veien få tilkobling til E18 i Vige, riksvei 9 i Dalane og E39 ved Grauthelleren.

Etablering av tunnelsystemet vil generere et masseoverskudd på i størrelsesorden 3 millioner m<sup>3</sup> steinmasser. Reguleringsplanen sikrer mulighet for at masseoverskuddet kan fraktes til Mjåvannsområdet vest for Grauthelleren.



Figur 1-1: Oversiktsfigur av planlagt Ytre ringvei mellom Vige og Grauthelleren.

## 1.2 Om rapporten

Denne fagrapporten omhandler Hydrogeologi for planlagt ny Ytre ringvei i Kristiansand kommune. Rapporten er delt inn i to deler for å tydeliggjøre forskjellen mellom observasjoner/fakta og vurderinger/tolkninger. Første del av rapporten (kapittel 2 og 3) tar for seg tidligere erfaringer, tilgjengelig grunnlagsdata og resultater fra nye grunnundersøkelser.

Andre del av rapporten (kapittel 4 og 5) gir en oversikt over forventet grunnvannstrykk langs traseen og forventet vannføring i berget. Videre er det sett på setningsutsatte områder, naturmiljø (fuktkrevende natur og vann), kulturminner og hvordan disse forholdene hensyntas. Tiltakets effekt på innregistrerte brønner er også vurdert. I kapittel 6 er det foreslått krav til maksimal innlekkasje i tunnel (tetthetskrav) og kapittel 7 foreslår videre undersøkelser, som fortsatt overvåkning av grunnvannsforhold.

Denne rapporten tar ikke for seg grunnvannsforhold i forbindelse med massehåndtering/lagring av masser. Grunnvannsforhold i forbindelse med peler er omtalt i Geoteknisk fagrapport [3].

Med mindre annet er angitt refererer profilnummer til vestgående løp.

## 1.3 Regelverk og forutsetninger

Rapporten følger krav til geologiske forundersøkelser i reguleringsplanfasen i henhold til N500 [1].

Bygging av tunnel og bergrom kan påvirke grunnvannsforhold. Tetthetskrav gitt i denne rapporten er vurdert opp mot vannressursloven, der det blant annet står:

*§ 43 a Enhver skal opptre aktsomt for å unngå at grunnvann påvirkes til skade eller ulempe for allmenne eller private interesser. Grunnvannstiltak skal planlegges og gjennomføres slik at de er til minst mulig skade og ulempe for allmenne og private interesser. Denne plikten gjelder så langt den kan oppfylles uten uforholdsmessig utgift eller ulempe. [...]*

*Grunnvannstiltak skal fylle alle krav som med rimelighet kan stilles til sikring mot fare for mennesker, miljø eller eiendom.*

*§ 45 Ingen må iverksette grunnvannstiltak som kan være til nevneverdig skade eller ulempe for noen allmenne interesser uten konsesjon fra vassdragsmyndigheten*

I høringsuttalelse har NVE presisert at når reguleringsplan omfatter de hensyn som vannressursloven skal ivareta kan reguleringsplan erstatte konsesjon etter vannressursloven [2].

Etter vannforskriften skal grunnvannsforekomster beskyttes mot forringelse. Det er vurdert om tiltaket kan medføre endringer av grunnvannsforhold og om dette får innvirkning på vannforekomster, naturmangfold og sårbar natur. Eventuell innvirkning er belyst i konsekvensutredning [4].

Utredningskrav i Plan- og bygningsloven kapittel 4 er relevant for områder med bebyggelse eller infrastruktur som er sårbare for setninger. § 4-3 omtaler utredning av planområdets sårbarhet, i dette inngår påvirkning på tilstøtende arealer i forbindelse med endring i grunnvannstand og setninger. Tetthetskravene er fastsatt basert på en avveining mellom kostnader og andre ulemper med å oppnå en viss tetthet og risiko for skade eller ulempe for allmenne eller private interesser.

Det henvises for øvrig til prosjekteringsforutsetningene for prosjektet [5].

## 2 Tidligere erfaringer fra nærliggende anlegg

### 2.1 Baneheitunnelen

Baneheitunnelen ligger vest for Otra (Figur 2-1). Tunnelen ble bygget i perioden 1999–2002 og er ca. 3 000 m lang [6]. Tunnelen går i gneis med varierende sammensetning, hovedtypene er en rød granittisk gneis og en mer grå biotittgneis. Det forekommer også uregelmessige linser av amfibolitt og pegmatitt [7].

Den ene avkjørselstunnelen går i bue rett under vannforekomstene Stampene. Det ble satt strenge tetthetskrav for å unngå å påvirke disse vannforekomstene. Tetthetskravet ble satt til 2 l/min/100 m tunnel for hele tunnelstrekningen. I tillegg til strenge tetthetskrav ble det også spesifisert en maksgrense for redusert vannstand i Stampene.



Figur 2-1: Kart som viser hvor Baneheitunnelen er lokalisert (rød ring) (kartdata hentet fra [www.norgeskart.no](http://www.norgeskart.no)).

Ved prosjektering hadde man forutsatt noen tørre partier, men dette var ikke tilfelle og alt fjell måtte forinjiseres. I alle tunneløpene ble det utført systematisk forinjeksjon langs hele tunnelprofilen. For hver injeksjonsskjerm ble det boret ca. 35 hull som alle var 25 meter lange. Vanlig injeksjonstrykk var 50 bar. Målinger viser at tetthetskravet ble oppnådd og vannstanden i Stampene ble ikke målbart påvirket av tunnelene. Målingene antydte at innlekkasjen var noe større i nedbørsperioder enn i tørre perioder [8].

### 2.2 Prestehieiatunnelen

Prestehieiatunnelen ligger i Kristiansand (figur 2-2), og ble drevet i 2002. Tunnelen går hovedsakelig i fin til middelskornet rød/grå granittisk gneis med benket struktur [9]. Stedvis

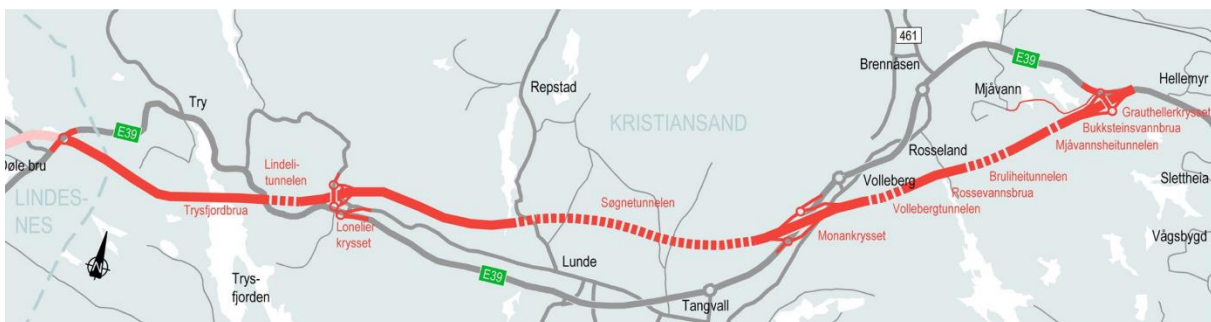
opptrer mer finkornet mørkere glimmergneis av mer skifrig karakter. Uregelmessige pegmatitter kutter gjennom gneisene [10]. De mest fremtredende sprekkesettene er plane, steile/vertikale sprekker med avstand ca. 1 m i gjennomsnitt som stryker nær parallelt med tunnelaksen. Det er ikke funnet informasjon om tettearbeid i tunnel, eller målte vannlekkasjer.



Figur 2-2: Kart som viser hvor Prestetheiatunnelen er lokalisert (rød ring) (kartdata hentet fra [www.norgeskart.no](http://www.norgeskart.no)).

### 2.3 E39 Kristiansand vest – Mandal øst

E39 Kristiansand vest – Mandal øst (KV-MØ) ble bygget fra 2018–2021. Prosjektet omfattet driving av 5 bergtunneler (i rekkefølge fra øst til vest): Mjåvannsheitunnelen, Bruliheitunnelen, Vollebergtunnelen, Søgnetunnelen og Lindelitunnelen (figur 2-3). Alle tunnelene har to parallelle løp med tverrforbindelser mellom løpene og tekniske rom. Informasjonen i de neste delkapitlene er hentet fra ingeniørgeologiske sluttrapporter for tunnelene på E39 KV-MØ [11], [12], [13], [14], [15].



Figur 2-3: Oversikt over trasé E39 Kristiansand vest - Mandal øst, her fremkommer lokalitetene for de fem bergtunnelene langs traseen (kartdata hentet fra [www.nyeveier.no](http://www.nyeveier.no)).

Alle tunnelene er drevet i berg som vekslet mellom omdannet porfyrisk granitt til øyegneis, og stedvis amfibolittisk gneis. Bergmassene er generelt beskrevet som kompetent og massiv, med enkelte distinkte svakhetssoner, spesielt i Søgnetunnelen. Det er registrert innhold av leire i forbindelse med svakhetssonene.

Det var stor variasjon i vanninnslag under driving av tunnelene. I enkelte av tunnelene/delstrekke var bergmassen tilnærmet tett, mens i andre områder ble det påtruffet svært store vanninnslag. Hydrogeologiske forhold for de ulike tunnelene er beskrevet i mer detalj nedenfor.

### 2.3.1 Mjåvannsheitunnelen

I Mjåvannsheitunnelen (350 m) ble det ikke satt tetthetskrav av hensyn til ytre miljø. Det ble anbefalt sonderboring med behovsprøvd injeksjon av drivetekniske hensyn i forbindelse med antatte svakhetssoner. Det ble anbefalt injeksjon dersom samlet lekkasje i sonderborhullene oversteg 20 l/min. Under driving var det lite lekkasjer og ikke behov for injeksjon. [11]

### 2.3.2 Bruliheitunnelen

I Bruliheitunnelen (920 m) ble det satt tetthetskrav i tunnelen av hensyn til ytre miljø på tre delstrekke. For øvrige deler av tunnelen ble det anbefalt injeksjon dersom samlet lekkasje i sonderborhullene oversteg 20 l/min. Det ble utført sonderboring i begge løp i hele tunnelens lengde. Samlet ble det utført forinjeksjon på 38 % av tunnelens lengde. Forinjeksjon ble utført med mikrosegment.

Av hensyn til Brudlevann var tetthetskravet satt til 5 l/min per 100 m per løp over ca. 160-200 m, med krav om injeksjon dersom lekkasjer i sonderbore-/kontrollhull var større enn 1 l/min. Det ble utført dels systematisk forinjeksjon og dels behovsprøvd forinjeksjon gjennom delstrekke. Leekasjemåling utført med terskler viste lekkasjer på ca. 1-2 l/min per 100 m.

Av hensyn til et lite tjern og myrområde ble det satt krav om maksimal lekkasje på 10 l/min per 100 m per løp, med krav om injeksjon dersom samlede lekkasjer i sonderborhull oversteg 2 l/min. Det ble utført forinjeksjon langs største del av delstrekke. Målinger viste innlekkasje på ca. 80 l/min per 100 m i vestgående løp og 18 l/min per 100 m i østgående løp. Det ble utført tetting av punktlekkasjer med polyuretan i vestgående løp for å redusere de største enkeltlekkasjene. Målinger etter tetting av punktlekkasjer viste innlekkasje på ca. 49 l/min per 100 m. Det ble likevel vurdert at lekkasjene var akseptable og ikke medføre uakseptable konsekvenser for ytre miljø.

Lenger vest var det satt tetthetskrav på 15 l/min per 100 m per løp av hensyn til Heftetjønn og tilstøtende bekk, med krav om injeksjon dersom samlede lekkasjer i sonderborhull oversteg 4 l/min. Det ble ikke utført injeksjon i dette området på grunn av lite lekkasjer i sonderborhullene.

Det er ikke målinger som viser hvordan tunnelen påvirket grunnvannsnivået under eller etter driving. Grunnvannsnivå i berg ble overvåket før anleggsfase i to hammerhull, men hullene ble skadet/påvirket av anleggsarbeider. [12]

### 2.3.3 Volleberg tunnelen

I Volleberg tunnelen (610 m) ble det satt tetthetskrav i tunnelen av hensyn til ytre miljø på ett delstrekke. Tetthetskravet i delstrekke var på 5 l/min per 100 m per løp av hensyn til

Grastjønn og omkringliggende myr. Grenseverdi for samlet lekkasje i kontrollhull ble satt til 1 l/min.

Det ble utført forinjeksjon over hele delstrekningen, unntatt et delstrekk på 15–17 m lengde. Dette utgjorde totalt 270 m i østgående løp og 243 m i vestgående løp, samt i nisje for teknisk bygg, som tilsvarte 39 % av tunnelens lengde. Forinjeksjon ble utført med mikrosegment. I tillegg ble det utført sonderboring i øvrige deler av tunnelen, grunnet erfaringer med store vannlekkasjer i Søgnetunnelen. Tetthetskravet ble oppnådd, der målt innlekkasje var på 1,3–2,6 l/min per 100 m per løp.

Det er ikke målinger som viser hvordan tunnelen påvirket grunnvannsnivået under eller etter driving. Grunnvannsnivå i berg ble overvåket før anleggsfase i ett hammerhull, men hullet ble skadet/påvirket av anleggsarbeider. [13]

#### 2.3.4 Søgnetunnelen

Det ble satt tetthetskrav Søgnetunnelen (3 965 m) av hensyn til ytre miljø på fem delstrekk. Tetthetskravene varierte fra 3 til 15 l/min per 100 m per løp. Samlet lengde av delstrekk med tetthetskrav av hensyn til ytre miljø var ca. 1 440 m (etter justeringer i anleggsfase). Det ble utført systematisk forinjeksjon for delstrekk med krav på 3 og 5 l/min per 100 m og behovsprøvd forinjeksjon for krav på 10 og 15 l/min per 100 m. Forinjeksjon ble utført med mikrosegment. Det ble også utført etterinjeksjon et par steder og tetting av punktlekkasjer med polyuretan flere steder i tunnelen.

Det strengeste tetthetskravet på 3 l/min per 100 m per løp ble satt av hensyn til Ekorntjønn. Ca. 100 m foran (vest for) delstrekket med strenge tetthetskrav ble det påtruffet store vanninnslag som medførte tydelig påvirkning på grunnvannsnivå i et hammerhull nær Ekorntjønn. Det ble antatt at årsaken var at svakhetssonene i området hadde slakere fall mot vest enn antatt i prosjekteringsfasen. Strenge tetthetskrav ble derfor forlenget mot vest.

Grunnet store vanninnslag utenfor forventede svakhetssoner og utenfor delstrekk med tetthetskrav, ble det nødvendig å utføre sonderboring i større deler av Søgnetunnelen enn planlagt. Det var store vanninnslag flere steder i tunnelen (stedvis 100–1 000 l/min fra sonderborehull på stoff) som gjorde at omfanget av injeksjon ble vesentlig større enn forventet. Totalt ble det injisert over 3 774 m lengde, som tilsvarer 46 % av tunnelanlegget.

I områder med kombinasjon av lav overdekning, gjennomsettende, plane sprekker og ugunstig sprekkeorienteringen førte injeksjonsarbeidene til utgang av sement i dagen.

Innlekkasje i Søgnetunnelen ble kartlagt på enkelte delstrekk ved bruk av måleterskler og ved utpumping av vann fra stoff. Innlekkasjen ble målt til <5 l/min per 100 m per løp, noe som viser at tetthetskravet på 3 l/min per 100 m ikke ble oppnådd.

Samlet lekkasje fra hele tunnelanlegget ble målt ved å pumpe ut vann fra sedimentasjonsbasseng i lavbrekket. Etter gjennomslag i tunnelene ble total innlekkasje målt

til ca. 1 100–1 420 l/min. Dette utgjør gjennomsnittlig innlekkasje på 13-18 l/min per 100 m tunnel. Variasjoner i innlekkasje så ut til å ha sammenheng med nedbør.

Grunnvannsnivå i berg ble overvåket med 6 borehull i berg før, under og etter anleggsfase. Overvåkningsbrønnen nær Ekorntjønn viste en tydelig påvirkning fra lekkasjer i tunnel, der stabilt grunnvannsnivå etter anleggsfase ligger ca. 6 m lavere enn før tunnelanlegget ble drevet. Observasjoner tydet likevel ikke på at tunnellekkasjene påvirket vannstanden i Ekorntjønn.

I en overvåkningsbrønn ved østre deler av tunnelen viste også en senkning i grunnvannsnivå på ca. 5 m som følge av tunnelarbeidene. Det var ikke satt tetthetskrav i dette området, injeksjon ble kun utført av drivetekniske hensyn. I øvrige brønner ble det ikke registrert en nevneverdig senkning i grunnvannsnivå, men det ble registrert en antydning til noe større variasjoner i grunnvannsnivå som følge av nedbør etter anleggsfase. [14]

#### 2.3.5 Lindelitunnelen

I Lindelitunnelen (550 m) ble det ikke satt tetthetskrav av hensyn til ytre miljø. I øvrige deler av tunnelen ble det anbefalt sonderboring med behovsprøvd injeksjon av drivetekniske hensyn i forbindelse med antatte svakhetssoner. Det ble anbefalt injeksjon dersom samlet lekkasje i sonderborhullene oversteg 20 l/min. Det ble registrert lite lekkasjer i tunnelen og det var ikke behov for injeksjon.

Ved Lindelitunnelen ble grunnvannsnivå overvåket i to borehull i berg under og etter driving av tunnelene. Det ble ikke registrert påvirkning på grunnvannsnivå som følge av tunnelanlegget. [15]

#### 2.4 Oddernestunnelen

Oddernestunnelen i Kristiansand ble bygget i perioden 2001–2004. Tunnelen er synlig på kart i Figur 2-1, øst for Otra. Det er en ca. 1 000 m lang løsmassekulvert som består av 3 permanente spuntvegger av stål med avstivende tak og bunnplate i betong [16]. Dette ble bygget som en drenert løsning med drensledninger under bunnplata [17].

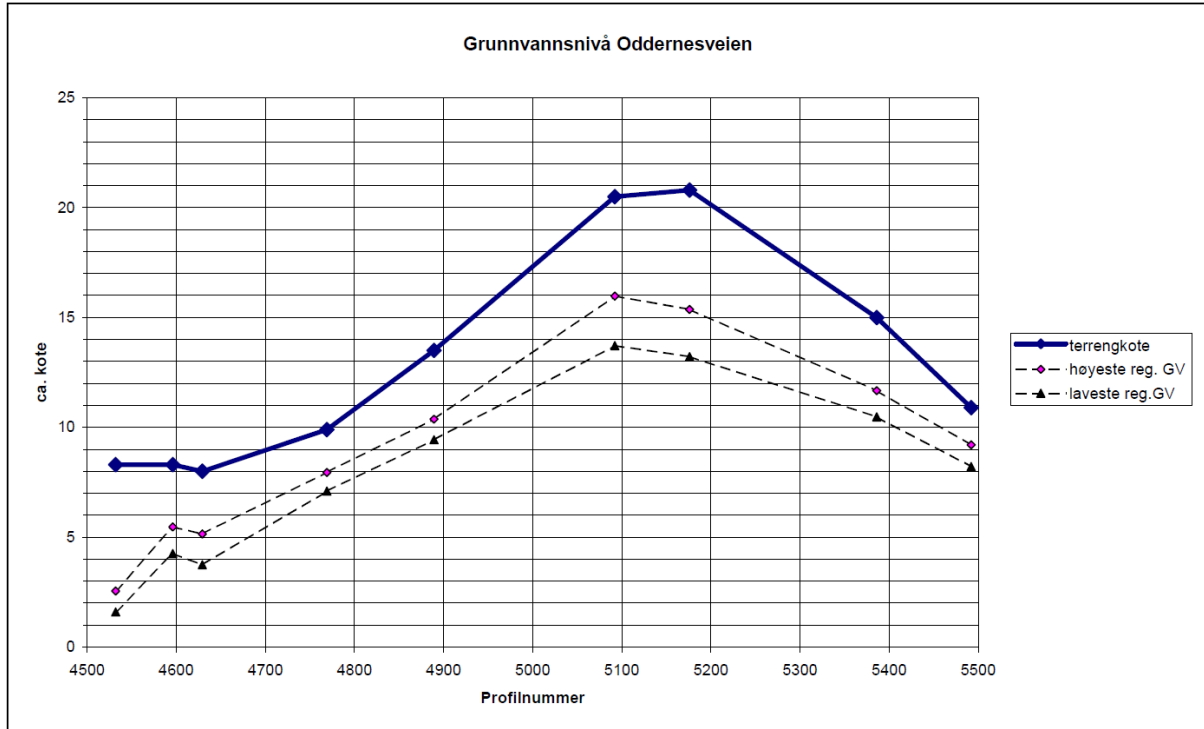
Tunnelen ligger i et deltaområde med sand over finere lag av silt og leirig silt. I øst ut mot Bjørndalssletta er det registrert marine avsetninger med lagdelt sand, silt og leire/kvikkleire.

Grunnvannstand ble logget før, under og etter anleggsstart, der grunnvannstand generelt lå ca. 2–5 m under terreng (figur 2-4). Under anleggsperioden sank grunnvannstanden fra kote +11 til kote +7 ved P5 400 (øst ved Bjørndalssletta). Etter anleggsperioden viste poretrykksmålerne en stabil grunnvannstand på kote +7, noe som reflekterer traunivået/dreneringsnivået [17]. Med andre ord ble det en permanent grunnvannssenkning på 4 m.

Setningsmålinger viste at setningene varierte med løsmassetykkelse, og de største setningene var på 30 cm. Setningsmålingene ble utført innenfor ca. 260 m fra spuntveggen.



Det var primærsetninger de første 2–3 årene og påfølgende krepsetninger i 14–15 år. I 2018 ble det vurdert at setningene var i ferd med å stoppe opp [17].



Figur 2-4: Grunnvannstand som prosjekteringsgrunnlag for Oddernesstunnelen. Profil 5 500 ligger i øst ved Oddernes kirke, profil 4 500 er i vest ved Torridalsvegen [17].

### 3 Faktadel

#### 3.1 Geologiske og geotekniske grunnundersøkelser

##### 3.1.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser

Sammenstilling av tidligere utførte grunnundersøkelser er gitt i Ingeniørgeologisk fagrapport [18] og Geoteknisk datarapport [3].

##### 3.1.2 Geologiske og geotekniske grunnundersøkelser

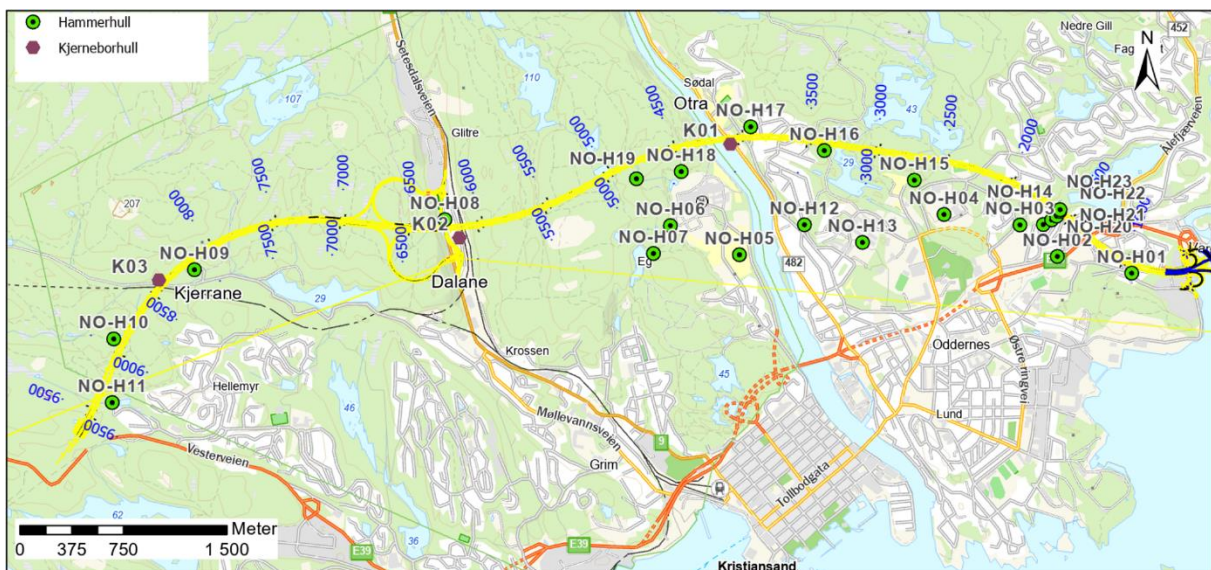
Det er utført flere grunnundersøkelser i forbindelse med reguleringsplan. Sammenstilling av utførte sonderinger, seismikk og kjerneboring er gitt i Ingeniørgeologisk rapport [18] og Geoteknisk datarapport [19].

#### 3.2 Hydrogeologiske undersøkelser

Denne rapporten beskriver resultater fra feltmålinger og hydrogeologiske undersøkelser utført for reguleringsplan, samt overvåking av grunnvannsnivå i berg og løsmasser, poretrykk i leire og vannstandsmålinger i tjern. I Vedlegg 1 er det gitt en oppsummering fra befaring.

##### 3.2.1 Hammerhull

Det er etablert 23 borehull i berg som er boret med senkhammer (videre kalt hammerhull) langs tunneltraseen. Plassering av hammerhull er vist i figur 3-1. Formålet med hammerhullene var å kartlegge grunnvannstand i berg, naturlige variasjoner i grunnvannstand, geologiske grenser og vannførende soner. Boreprotokoll for etablering av hammerhull er gitt i Vedlegg 2.



Figur 3-1: Oversikt over hammerhull og kjernehull langs tunneltraseen.

Diameter på foringsrøringsrør var mellom 168–193 mm, mens borehullsdiameter i fjell var mellom 113–140 mm. For samtlige hammerhull er boreddybden satt til sålenivå for planlagt tunneltrasé.

Hammerhullene ble boret i tre omganger. Første runde med hammerhullboring ble utført i juli og august 2021, der hammarhullene NO-H01 til NO-H13 ble boret. Ettersom veitraseen ble justert høsten 2021, ble det boret flere hammerhull i desember 2021 (NO-H14 til NO-H19). I forbindelse med pumpetest mellom Vollevannet og Bjørndalen ble hammerhullene NO-H20 til NO-H23 boret i mars 2022, og pumpet i april 2022.

Informasjon om hammerhullenes helning, retning og total dybde er oppsummert i tabell 3-1.

Tabell 3-1: Oppsummering av hammerhull, posisjon, boret lengde, helning og orientering.

Hull-ID	X (NTM7)	Y (NTM7)	Brønn- topp (NN2000)	Boret lengde (m)	Helning fra vertikalen (grader)	Orientering	Boret dyp (m)
NO-H01	131513	1018211	21,7	27	0	-	27
NO-H02	130965	1018271	14,5	50	0	-	50
NO-H03	130671	1018467	17,7	58	20	N110Ø	55
NO-H04	130116	1018481	57,3	110	0	-	110
NO-H05	128678	1018028	21,9	115	30	N080Ø	108
NO-H06	128158	1018181	33,9	110	0	-	110
NO-H07	128058	1017968	61,7	135	0	-	135
NO-H08	126532	1018043	24,6	55	0	-	55
NO-H09	124771	1017482	67,5	53	0	-	53
NO-H10	124246	1016920	133,6	66	0	-	66
NO-H11	124286	1016462	92,5	30	0	-	30
NO-H12	129121	1018295	37,4	130	0	-	130
NO-H13	129552	1018215	24,0	96	0	-	96
NO-H14	130838	1018489	24,1	79	30	N315Ø	68
NO-H15	129875	1018704	27,3	100	30	N315Ø	87
NO-H16	129204	1018844	34,4	127	30	N045Ø	110
NO-H17	128656	1018955	26,8	130	30	N210Ø	113
NO-H18	128192	1018578	38,5	142	30	N270Ø	123
NO-H19	127876	1018490	88,4	147	20	N045Ø	138
NO-H20	130895	1018529	28,1	103	40	N280Ø	79
NO-H21	130928	1018560	27,2	101	40	N305Ø	77
NO-H22	130947	1018597	27,4	82	30	N295Ø	71
NO-H23	130947	1018609	27,7	81	30	N295Ø	70

Grunnvannstand har blitt overvåket i samtlige hammerhull etter boring. Overvåkning av grunnvannsnivå er utført ved hjelp av trykkmålere av typen Diver®. Trykkmålerne ble programmert til å logge grunnvannstrykket i hammerhullet hver halvtime. I hammerhull H01-H13 ble trykkmåler plassert ut juli 2021. I hammerhull NO-H14 til NO-H19 ble trykkmåler utplassert i hammerhullet i desember 2021. I hammerhull NO-H20 til NO-H23 ble trykkmåler plassert ut i april 2022, i forbindelse med pumpetest. Overvåkingen ble avsluttet i mai 2023 for hovedparten av hammerhullene, mens det fortsatt pågår overvåking i utvalgte hammerhull (se Vedlegg 3).

For å kunne kompensere for atmosfærisk trykk er det også utført lufttrykkmåler ved bruk av Diver av type Baro.

Overvåkningsresultater vises i kap. 3.4 og vedlegg 3.

### 3.2.2 Borkaksprøver

Under boring av hammerhullene ble det tatt borkaksprøve av løsmasser og berg (blåseprøver). Det ble tatt blåseprøve for hver 3 m i løsmassene for å identifisere løsmasstype. I berg ble det tatt borkaksprøve ved innboring i berg og deretter hver 10 m, samt ved overgang til ny bergkarakter.

Prøver av borkaks fra berg har blitt undersøkt med XRF for å analysere vurdere mulighet for syredannende berg og innhold av tungmetaller. Resultater fra XRF er presentert i Ingeniørgeologisk rapport [18].

### 3.2.3 Vanntapsmålinger

#### 3.2.3.1 Metode og målte vanntap

Vanntapsmålinger gir informasjon om hydrauliske egenskaper i berget. Det er utført vanntapsmålinger i 10 hammerhull og 3 kjernehull (figur 3-2). Formålet med vanntapsmålingene er å vurdere hydraulisk konduktivitet og vannføring i berggrunnen. Vanntapsmålingene ble utført med enkeltpakker og dobbeltpakker (6 m måleintervall) etter ferdig boring. Det ble målt i måleperioder på 5 minutter inntil to påfølgende måleperioder hadde en trykkforskjell på mindre enn 10 %, eller maksimalt 30 minutter per måling.

For hammerhullene som ble boret og logget i første runde (H01-H13) ble resultater fra borehullslogging benyttet til å identifisere testintervaller. For de hammerhullene som ble boret i andre runde (H14-H19) var det ikke tid til å prosessere resultater fra borehullslogging. Det ble derfor bestemt å utføre vanntapsmålinger på 6 m intervaller de nederste 30 m av hullet, det vil si på og nær tunnelnivå. I hammerhullene hvor det ble observert vanninnslag under boring ble det utført ekstra vanntapsmålinger.

Resultater fra vanntapsmålinger er oppgitt i Lugeon-verdier. Lugeon (L) defineres som vannmengde i liter som presses inn i borhullene per minutt per løpemeter ved 10 bar overtrykk (tabell 3-2 og tabell 3-3).

Ved kjerneboring i Otra (K01) ble det registrert tap av returvann i fem intervaller og på grunn av mye utrasing måtte hullet støpes igjen. Vanntapsmålinger med enkeltpakker ble utført før og etter gjenstøpning. I Kjerrane (K03) var det også utrasing i kjernehullene, noe som

medførte måling med enkeltpakker over lange intervaller. Dette gir ekstra usikkerhet i Lugeon-verdiene, ettersom vanntap i vannførende svakhetssoner blir midlet over et langt testintervall. Det forventes derfor høyere Lugeon-verdier i enkelte svakhetssoner enn det som oppgis basert på enkeltpakkermålinger i tabell 3-3.



Figur 3-2: Det er utført vanntapsmålinger i 3 kjernehull og i 10 hammerhull. Rød linje ved kjernehull viser boreretning.

Tabell 3-2: Resultater fra vanntapsmålinger fra hammerhull.

Hull-ID	Helning fra vertikalen (grader)	Måleintervall fra (m)	Måleintervall til (m)	Lugeon	Kommentar
NO-H01	0	16	22	0.6	
NO-H01	0	21	27	0.6	
NO-H02	0	17	23	0.3	
NO-H02	0	23	29	0.2	
NO-H02	0	29	35	0.7	
NO-H02	0	34	40	0.2	
NO-H02	0	39.5	45.5	0.2	
NO-H02	0	45	51	0.3	
NO-H03	20	15	58	0.1	Enkeltpakker
NO-H08	0	41	55	0.3	Enkeltpakker
NO-H11	0	15	21	0.3	
NO-H11	0	21	27	0.6	
NO-H11	0	26	32	0.9	Registrert vanninnslag ved boring

Hull-ID	Helning fra vertikalen (grader)	Måleintervall fra (m)	Måleintervall til (m)	Lugeon	Kommentar
NO-H14	30	20	79	1.0	Enkeltpakker, registrert vanninnslag ved boring
NO-H14	30	49	55	2.9	
NO-H14	30	55	61	7.6	Registrert vanninnslag ved boring
NO-H14	30	61	67		Lekkasje rundt pakker
NO-H14	30	67	73	0.4	
NO-H14	30	73	79	0.3	
NO-H15	30	15	100	0.2	Enkeltpakker
NO-H15	30	70	76	0.2	
NO-H15	30	76	82	1.0	
NO-H15	30	82	88	0.2	
NO-H15	30	88	94	0.2	
NO-H15	30	94	100	0.2	
NO-H16	30	55	61	7.7	Registrert vanninnslag ved boring
NO-H16	30	97	103	5.3	
NO-H16	30	103	109	6.7	
NO-H16	30	109	115	8.3	
NO-H16	30	115	121	1.3	
NO-H16	30	121	127	0.8	
NO-H17	30	20	130	1.1	Enkeltpakker, estimert vanninnslag på 5000 l/time ved boring.
NO-H17	30	100	106	0.2	
NO-H17	30	106	112	0.1	
NO-H17	30	112	118	0.1	
NO-H17	30	118	124	0.5	
NO-H17	30	124	130	0.2	
NO-H18	30	20	142	0.4	Enkeltpakker
NO-H18	30	48	54	0.3	Registrert vanninnslag ved boring
NO-H18	30	112	118	5.5	
NO-H18	30	118	124	0.9	Registrert vanninnslag ved boring
NO-H18	30	124	130	0.8	
NO-H18	30	130	136	1.8	
NO-H18	30	136	142	1.6	

Tabell 3-3: Resultater fra vanntapsmålinger fra kjerne hull.

Hull-ID	Helning fra vertikalen (grader)	Måleintervall fra (m)	Måleintervall til (m)	Lugeon	Kommentar
K01-Otra	62	0	61	0.1	Enkeltpakker, utrasinger
K01-Otra	62	51	145	0.2	Enkeltpakker, utrasinger
K01-Otra	62	145	217	0.1	Enkeltpakker
K02 - Dalane	65	168	174	0.7	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	162	168	0.2	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	156	162	0.0	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	150	156	0.4	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	144	150	0.2	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	138	144	0.0	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	132	138		Dobbeltpakker 6 m Lekkasje rundt pakker
K02 - Dalane	65	126	132		Dobbeltpakker 6 m Lekkasje rundt pakker
K02 - Dalane	65	120	126	0.0	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	114	120	0.4	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	108	114	0.7	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	102	108	6.7	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	96-	102	3.3	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	90	96	0.3	Dobbeltpakker 6 m
K02 - Dalane	65	84	90		Dobbeltpakker 6 m Pakker sitter fast
K03 - Kjerrane	62	10	16	8.3	Dobbeltpakker 6 m
K03 - Kjerrane	62	16	22	1.2	Dobbeltpakker 6 m
K03 - Kjerrane	62	22	28	0.1	Dobbeltpakker 6 m
K03 - Kjerrane	62	28	34	2.5	Dobbeltpakker 6 m
K03 - Kjerrane	62	34	40	0.0	Dobbeltpakker 6 m
K03 - Kjerrane	62	40	108	0.7	Enkeltpakker, utrasinger
K04 - Otra	52	40	46	0.01	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	52	46	52	0.00	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	53	52	58	0.04	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	53	58	64	0.00	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	53	64	70	0.05	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	54	70	76	0.03	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	54	76	82	0.00	Dobbeltpakker 6 m

Hull-ID	Helning fra vertikalen (grader)	Måleintervall fra (m)	Måleintervall til (m)	Lugeon	Kommentar
K04 - Otra	54	82	88	0.83	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	55	88	94	0.00	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	55	94	100	0.00	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	55	100	106	0.17	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	56	106	112	0.00	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	56	112	118	0.07	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	56	118	124	0.07	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	56	124	130	0.00	Dobbeltpakker 6 m
K04 - Otra	57	130	136	0.00	
K04 - Otra	57	136	142	0.87	
K04 - Otra		142	204		Ikke målt vanntap pga. ustabil berg, målt tap av returvann, opptil 30 l/min

### 3.2.3.2 Beregning av hydraulisk konduktivitet fra vanntapsmålinger

Tolkning av vanntapsmålinger er basert på resultatene presentert i kapittel 3.2.3.

Det finnes metoder for å estimere/beregne hydraulisk konduktivitet basert på vanntapsmålinger. Her benyttes anbefalinger i NFF håndbok 01 berginjeksjon [20]. I tillegg er det benyttet et klassifiseringssystem for hydraulisk konduktivitet basert på Lugeon-verdier, vist i tabell 3-4.

Tabell 3-4: Klassifisering av hydraulisk konduktivitet basert på Lugeon-verdier [21].

Lugeon-verdi	Klassifisering av hydraulisk konduktivitet
<1	Svært lav
1-5	Lav
5-15	Moderat
15-50	Middels
50-100	Høy
>100	Veldig høy

Ved beregning av hydraulisk konduktivitet i berget antas stasjonær laminær strømning i et homogent og isotropt medium rundt testintervallet. Ved vanntapsmålinger oppnås stasjonære forhold relativt raskt, men vannstrømning i berget følger sprekker og kanaler. Det er derfor en del usikkerheter i forbindelse med beregningene, der usikkerheten øker ved



større måleintervall. Beregningene er derfor ikke utført på måleintervaller over 6 m. Hydraulisk konduktivitet har blitt beregnet ut fra følgende formel [20]:

$$k = \frac{Q \ln\left(\frac{L}{r}\right)}{LH2\pi}$$

Der

k = hydraulisk ledningsevne (m/s)

L = testlengde (m)

r = radius (m)

H = gjennomsnittlig vanntrykk over testintervall (m vannsøyle)

Oversikt over estimert hydraulisk konduktivitet er gitt i tabell 3-5.

Tabell 3-5: Estimert hydraulisk konduktivitet basert på vanntapsmålinger.

Hull-ID	Måle-intervall fra (m)	Måle-intervall til (m)	Lugeon	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Klassifisering iht. [21]	Kommentar
NO-H01	16	22	0.6	6.6E-08	Svært lav	Hammerhullet er boret vertikalt, og det er kartlagt mange nær-vertikale svakhetssoner i området [18]. Det kan forventes vertikale svakhetssoner med høyere vannføring enn det som er målt i borhullet.
NO-H01	21	27	0.6	5.5E-08	Svært lav	
NO-H02	17	23	0.3	2.6E-08	Svært lav	Borhullet er vertikalt, og det er kartlagt mange nær-vertikale svakhetssoner i området [18]. Det kan forventes vertikale svakhetssoner med høyere vannføring enn det som er målt i borhullet.
NO-H02	23	29	0.2	2.2E-08	Svært lav	
NO-H02	29	35	0.7	6.7E-08	Svært lav	
NO-H02	34	40	0.2	1.8E-08	Svært lav	
NO-H02	39.5	45.5	0.2	1.8E-08	Svært lav	
NO-H02	45	51	0.3	2.6E-08	Svært lav	
NO-H03	15	58	0.1		Svært lav	Borhullet heller parallelt med kartlagt svakhetszone [18]. Det kan forventes høyere vannføring enn det som er målt i borhullet.

Hull-ID	Måle- intervall fra (m)	Måle- intervall til (m)	Lugeon	Hydraulisk konduk- tivitet (m/s)	Klassifis- ering iht. [21]	Kommentar
NO-H08	41	55	0.3	2.7E-08	Svært lav	Kjernehuslet i Dalane viser også lav hydraulisk konduktivitet
NO-H11	15	21	0.3	3.1E-08	Svært lav	
NO-H11	21	27	0.6	4.9E-08	Svært lav	
NO-H11	26	32	0.9	6.9E-08	Svært lav	Registrert vann ved boring
NO-H14	20	79	1.1		Lav	Registrert totalt 20 m med oppsprukket berg [18]. Registrert vanninnslag under boring.
NO-H14	49	55	2.9	2.5E-07	Lav	
NO-H14	55	61	7.6	6.3E-07	Moderat	Registrert vann ved boring
NO-H14	61	67			Antatt moderat	Fikk ikke tett rundt pakker
NO-H14	67	73	0.4	3.0E-08	Svært lav	
NO-H14	73	79	0.3	2.3E-08	Svært lav	
NO-H15	15	100	0.2		Svært lav	Registrert totalt 24 m med oppsprukket berg [18].
NO-H15	70	76	0.2	1.8E-08	Svært lav	
NO-H15	76	82	1.0	7.4E-08	Lav	
NO-H15	82	88	0.2	1.7E-08	Svært lav	
NO-H15	88	94	0.2	1.4E-08	Svært lav	
NO-H15	94	100	0.2	1.4E-08	Svært lav	
NO-H16	55	61	7.7	6.4E-07	Moderat	Registrert vann ved boring
NO-H16	97	103	5.3	3.6E-07	Moderat	
NO-H16	103	109	6.7	4.4E-07	Moderat	
NO-H16	109	115	8.3	5.3E-07	Moderat	
NO-H16	115	121	1.3	7.7E-08	Lav	
NO-H16	121	127	0.8	5.0E-08	Svært lav	
NO-H17	20	130	1.1		Generelt lav, men antatt høy	Registrert vanninnslag på 5000 l/time (vedlegg 2).

Hull-ID	Måle- intervall fra (m)	Måle- intervall til (m)	Lugeon	Hydraulisk konduk- tivitet (m/s)	Klassifis- ering iht. [21]	Kommentar
					i enkelte svakhetss oner	
NO-H17	100	106	0.2	1.1E-08	Svært lav	
NO-H17	106	112	0.1	4.3E-09	Svært lav	
NO-H17	112	118	0.1	6.3E-09	Svært lav	
NO-H17	118	124	0.5	3.2E-08	Svært lav	
NO-H17	124	130	0.2	1.1E-08	Svært lav	
NO-H18	20	142	0.4		Svært lav	
NO-H18	48	54	0.3	2.2E-08	Svært lav	Registrert vann ved boring
NO-H18	112	118	5.5	3.4E-07	Moderat	
NO-H18	118	124	0.9	5.4E-08	Svært lav	Registrert vann ved boring
NO-H18	124	130	0.8	4.5E-08	Svært lav	
NO-H18	130	136	1.8	1.0E-07	Lav	
NO-H18	136	142	1.6	9.1E-08	Lav	
K01 - Otra	0	61	0.1		Svært lav	Tap av returvann, utrasing i kjerne hull, måling med enkelt pakker, det forventes sprekkesoner med vesentlig høyrere vannføring enn registrert.
K01 - Otra	51	145	0.2		Svært lav	
K01 - Otra	145	217	0.1		Svært lav	
K02 - Dalane	168	174	0.7	4.8E-08	Svært lav	
K02 - Dalane	162	168	0.2	1.0E-08	Svært lav	
K02 - Dalane	156	162	0.0	0	Svært lav	
K02 - Dalane	150	156	0.4	2.1E-08	Svært lav	
K02 - Dalane	144	150	0.2	9.1E-09	Svært lav	
K02 - Dalane	138	144	0.0	1.9E-09	Svært lav	

Hull-ID	Måle-intervall fra (m)	Måle-intervall til (m)	Lugeon	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Klassifisering iht. [21]	Kommentar
K02 - Dalane	132	138				Ikke mulig å måle, kan være noe vannførende/ oppsprukket sone
K02 - Dalane	126	132				Ikke mulig å måle, kan være noe vannførende/ oppsprukket sone
K02 - Dalane	120	126	0.0		Svært lav	
K02 - Dalane	114	120	0.4	2.5E-08	Svært lav	
K02 - Dalane	108	114	0.7	4.6E-08	Svært lav	
K02 - Dalane	102	108	6.7	4.3E-07	Moderat	
K02 - Dalane	96	102	3.3	2.2E-07	Lav	
K02 - Dalane	90	96	0.3	2.3E-08	Svært lav	
K02 - Dalane	84	90				Ikke mulig å måle, kan være noe vannførende/ oppsprukket sone
K03 - Kjerrane	10	16	8.3	6.7E-06	Moderat	
K03 - Kjerrane	16	22	1.2	6.6E-07	Lav	Det er flere seksjoner med utrasing. Måling med enkeltpakker under 40 m. Flere intervaller med dårlig berg. Registrert tap av returvann. Forventes høyere vannføring enn registrert. Se ingeniørgeologisk rapport for kjernetolkning [18].
K03 - Kjerrane	22	28	0.1	5.5E-08	Svært lav	
K03 - Kjerrane	28	34	2.5	1.3E-06	Lav	
K03 - Kjerrane	34	40	0.0		Svært lav	
K03 - Kjerrane	40	108	0.7		Svært lav	
K04 - Otra	40	46	0.01	1.3E-09	Svært lav	Vanntap med dobbeltpakker utført i godt berg. Der det ble dårlig berg og fare for utrasing er det ikke utført
K04 - Otra	46	52	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	52	58	0.04	3.4E-09	Svært lav	
K04 - Otra	58	64	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	64	70	0.05	4.4E-09	Svært lav	

Hull-ID	Måleintervall fra (m)	Måleintervall til (m)	Lugeon	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Klassifisering iht. [21]	Kommentar
K04 - Otra	70	76	0.03	2.9E-09	Svært lav	vanntapsmålinger, men det er registrert flere intervaller med tap av returvann, opptil 30 l/min [18]. Det forventes derfor høyere vannføring enn det som er registrert med vanntapsmålinger.
K04 - Otra	76	82	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	82	88	0.83	6.8E-08	Svært lav	
K04 - Otra	88	94	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	94	100	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	100	106	0.17	1.3E-08	Svært lav	
K04 - Otra	106	112	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	112	118	0.07	5.0E-09	Svært lav	
K04 - Otra	118	124	0.07	4.9E-09	Svært lav	
K04 - Otra	124	130	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	130	136	0.00		Svært lav	
K04 - Otra	136	142	0.87	6.1E-08	Svært lav	

Generelt viser vanntapsmålingene at hydraulisk konduktivitet varierer mellom svært lav og moderat i henhold til [21]. Det er registrert høyere hydraulisk konduktivitet i hammerhullene som er boret på skrå enn de som er boret vertikalt. Ingeniørgeologisk kartlegging og borehullslogging viser forekomst av mange steile svakhetssoner. Samlet sett tyder dette på at det er en del vertikale svakhetssoner med relativt høy vannføring som kan være underestimert.

Ved Bjørndalen, Otra og Kjerrane forventes det generelt å forekomme mer vannførende soner. Det gjelder også ved Nedre Jegersbergvann og ved Vollevannet. Under kjerneboring ved Otra ble det registrert flere intervaller med tap av returvann, det ble også registrert intervaller der grunnvann kom opp kjernehullet med innhold av grus og sand.

### 3.2.4 Pumpetester

#### 3.2.4.1 Kort-tids pumpe-test Jentetjønn og Hellerstøvann

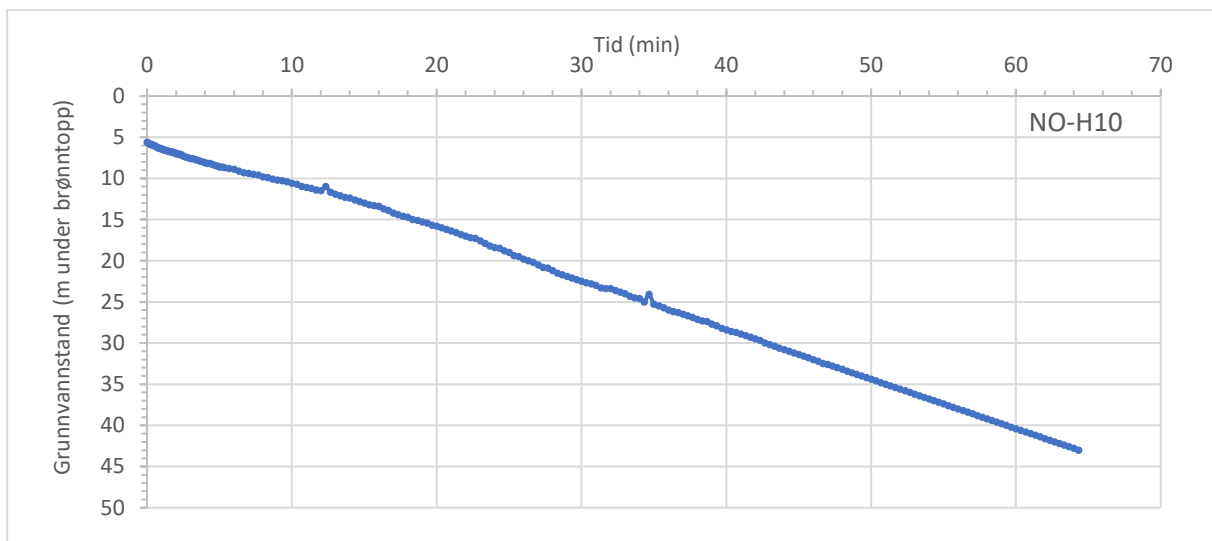
Det er utført kort-tids pumpe-tester for å hente inn data om hydrauliske egenskaper i berget der det ikke var mulig å utføre vanntapsmålinger på grunn av vanskelig tilkomst. Pumpe-test ble utført i januar 2022 ved Jentetjønn (NO-H10) og ved Eg/Hellerstøvann (NO-H19).

Etter at utstyret var senket ned i hammerhullet og rigget opp ble grunnvannstanden målt, deretter ble avsenkningen målt jevnlig mens det ble pumpet med konstant rate. Pumperate ble bestemt basert på observasjoner om vanninnslag ved brønnboring, se tabell 3-6. Ved NO-H10 ble lavest mulig pumperate styrt av tilgjengelig utstyr, pumpe-tiden ble forkortet fordi hammerhullet ble pumpet tørr.

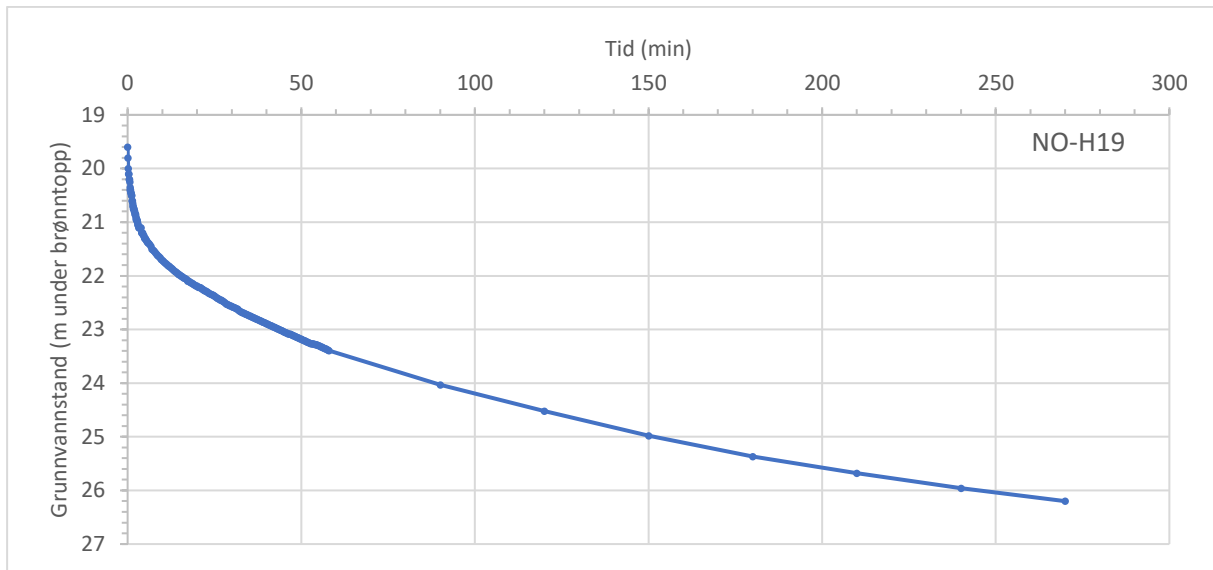
Tabell 3-6: Oversikt over pumperate, pumpe-tid og beregnet spesifikk kapasitet.

Hul-ID	Pumperate (l/min)	Pumperate (l/s)	Pumpetid (min)	Spesifikk kapasitet (l/s per m avsenkning)
NO-H10	9,6	0,16 (lavest ut fra utstyr)	64 (tørt hull)	<0,004
NOH19	24	0,40	270	0,06 (noe overestimert)

Resultatene fra pumpetestene er vist i figur 3-3 og figur 3-4. Basert på pumperate og avsenkning i NO-H10 kan man regne ut spesifikk kapasitet (tabell 3-6). Med en kort tids pumpetest blir ikke grunnvannstanden helt stabilisert, derfor er en spesifikk kapasitet på 0,06 l/s per m avsenkning noe overestimert. Etersom grunnvannstanden i NO-H10 ikke ble stabilisert er spesifikk kapasitet lavere enn oppgitt.



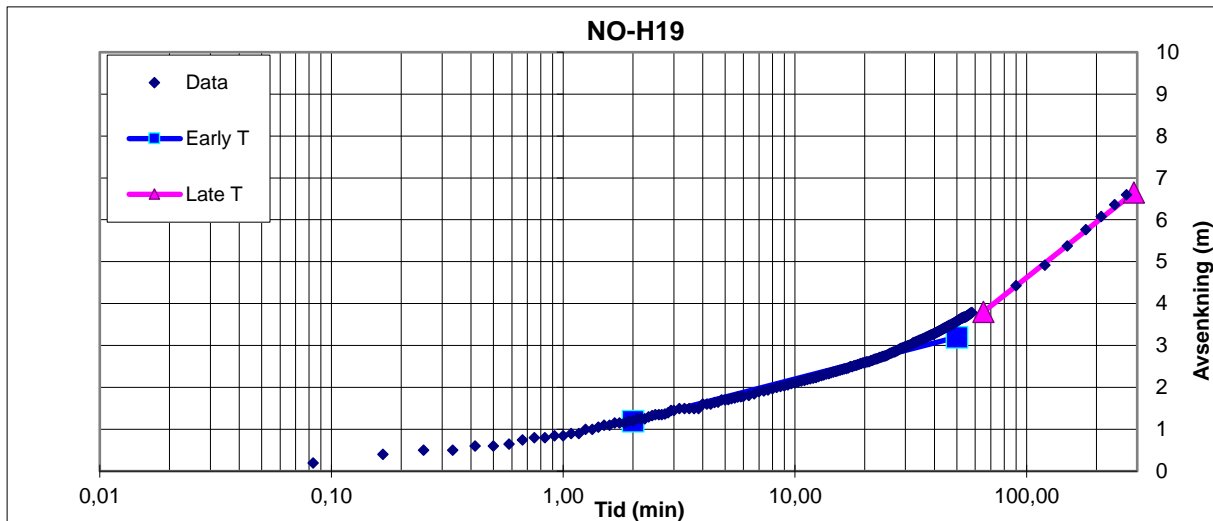
Figur 3-3: Avsenkningskurve for NO-H10 ved pumpetest.



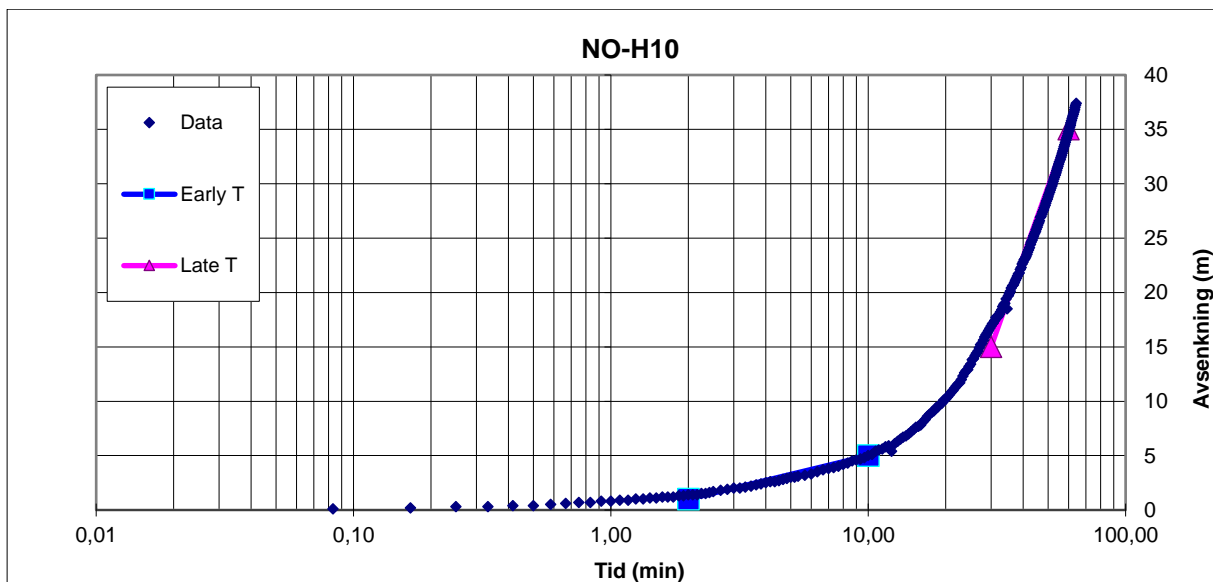
Figur 3-4: Avsenkningskurve for NO-H19 ved pumpetest.

Senkningskurvene fra pumpetestene er analysert med Cooper-Jacob's metode for å vurdere hydrauliske egenskaper, transmissivitet og hydraulisk konduktivitet. Cooper-Jacob's metode forutsetter lang-tids pumpetest og antar at akviferen er homogen og isotrop. Det er derfor usikkerheter i å bruke metoden for kort-tids pumpetest, men metoden gir en indikasjon på permeabiliteten i berget.

Basert på pumpetestene er det tolket en tidlig og sen transmissivitet (figur 3-5 og figur 3-6). For begge hullene er det, som normalt, høyere tidlig transmissivitet enn sen. For NO-H19 ser man grensen ved 3 m avsenkning, mens for NO-H10 ser man grensen ved 5 m avsenkning. Ved en lang-tids pumpetest kunne disse resultatene ha vært noe annerledes. Transmissivitet kan omregnes til hydraulisk ledningsevne ved å dele på akviferens tykkelse. Resultatene er presentert i tabell 3-7.



Figur 3-5: Graf av senkningskurven for NO-H19, med tidlig og sen transmissivitetslinje etter Cooper-Jacob metoden.



Figur 3-6: Graf av senkningskurven for NO-H10, med tidlig og sen transmissivitetslinje etter Cooper-Jacob metoden.

Tabell 3-7: Beregnet transmissivitet og hydraulisk konduktivitet basert på Cooper- Jacob's metode

Hammerhull	T tidl. (m <sup>2</sup> /døgn)	T sen (m <sup>2</sup> /døgn)	k (m/s) tidlig	k (m/s) sen	Kommentar
NO-H10	0,4		1,1*10 <sup>-7</sup>	9,2*10 <sup>-9</sup>	Det er tolket oppsprukne soner, totalt 10 m tykkelse.
NO-H19	4,4	1,4	3,5*10 <sup>-7</sup>	1,1*10 <sup>-7</sup>	Det er tolket oppsprukne soner, totalt 42 m tykkelse.



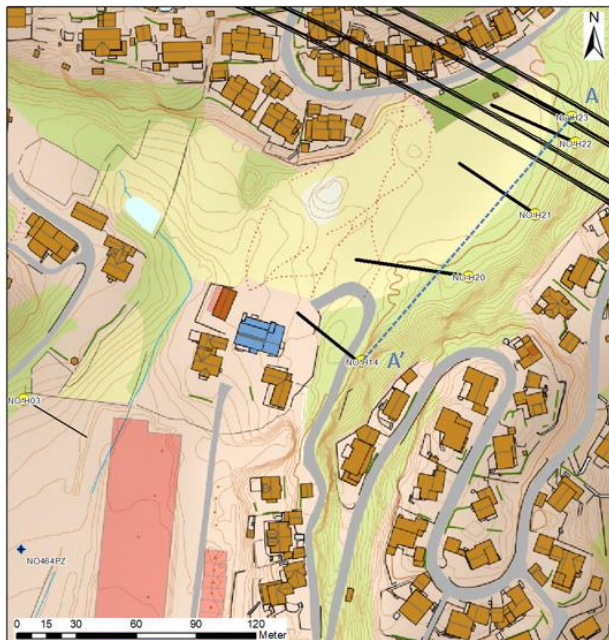
Avsenkningskurven for NO-H19 viser at vannføringen reduseres når grunnvannet senkes med 3 m. Dersom grunnvannet senkes mer enn 3 m vil den hydrauliske ledningsevnen bli redusert til  $4 \cdot 10^{-7}$ . Dette er tilsvarende hydraulisk konduktivitet som ble målt i nabobrønnen NO-H18 med vanntapsmålinger. Redusert kapasitet med økt avsenkning er typisk for bergbrønner der man har sett at kapasiteten sjelden har en lineær sammenheng mellom uttak og kapasitet. En brønn med høyt uttak (stor avsenkning) vil ofte få redusert kapasitet, enn samme brønn med lavt/tilpasset uttak.

Ved pumping i NO-H10 til grunnvannet senkes med 5 m viser avsenkningskurven at vannføringen reduseres, inkludert den spesifikke kapasiteten. Dersom grunnvannet senkes mer enn 5 m antyder pumpetesten at den hydrauliske ledningsevnen reduseres til  $4,4 \cdot 10^{-8}$ . Dette er tilsvarende hydraulisk konduktivitet som ble målt i NO-H11 med vanntapsmålinger. Både NO-H10 og NO-H11 er boret vertikalt og vannføring i vertikale svakhetssoner kan være høyere enn det som er målt her.

#### 3.2.4.2 Lang-tids pumpetest i Bjørndalen

Det ble utført en 72 timers pumpetest ved Bjørndalen (NO-H21) for å kartlegge utstrekning av senkningstrakt og avsenkning av grunnvannstand. Etter at utstyret var senket ned i hammerhullet og rigget opp ble grunnvannstanden målt, deretter ble avsenkningen målt jevnlig mens det ble pumpet med tilnærmet konstant rate på 11,7 l/min (ca. 0,2 l/s).

Figur 3-7 gir oversikt over hammerhullene benyttet i forbindelse med pumpetesten. Fire omkringliggende hammerhull ble overvåket under pumpetesten (NO-H14, NO-H20, NO-H22, NO-H23). I tillegg ligger en poretrykksmåler like over berg i Bjørndalen (NO464PZ).



Figur 3-7: Oversikt over hammerhull brukt i forbindelse med pumpetesten. Se figur 3-9 for tverrsnitt i profil A-A'.

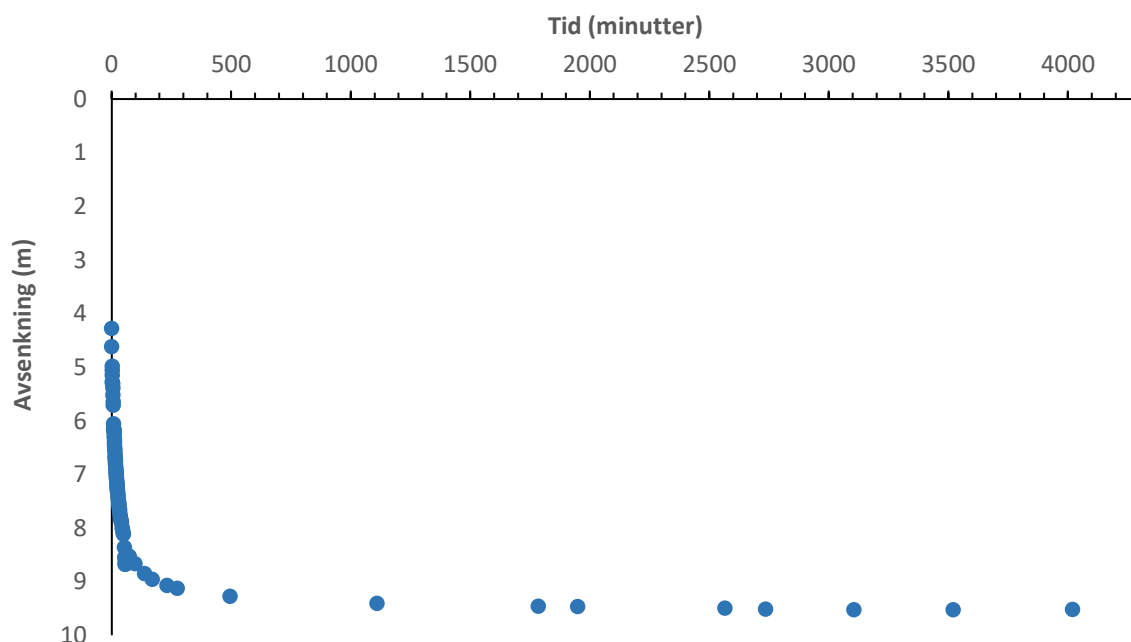
I utgangspunktet var det ønskelig å pumpe hammerhull NO-H22 eller NO-H23, som er plassert like over planlagt trasé, men det ble ikke påtruffet nok vannførende soner, og hammerhullene ville blitt pumpet tomme. I hammerhull NO-H21 ble det registrert vanninnslag på ca. 500-1000 l/time, noe som er mer egnet for en pumpetest.

Pumpetesten viser en grunnvannssenkning i den pumpende brønnen (NO-H21) på 5,25 m ved et uttak på 11,7 l/min (figur 3-8). Dette gir en spesifikk kapasitet på 2,2 l/min pr. m avsenkning (0,03 l/s pr. m avsenkning).

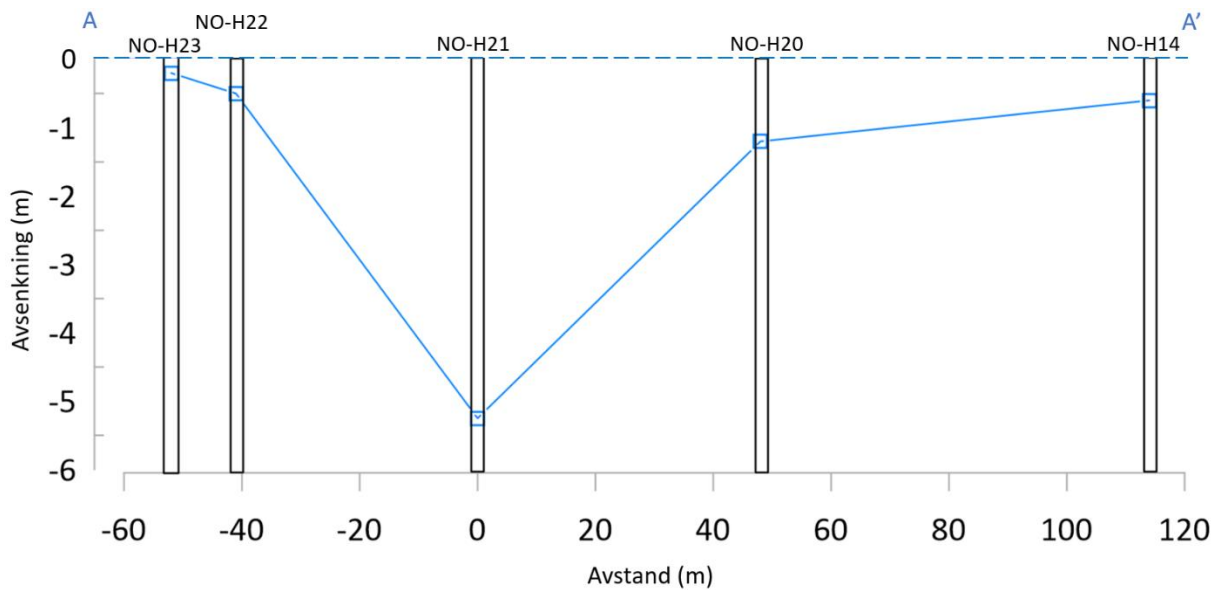
Utbredelsen av senkningstrakten sørover mot Bjørndalen viste en avsenkning på 0,6 m ved 114 m, mens nordover var avsenkningen på 0,2 m ved 52 m (tabell 3-8). Figur 3-9 viser interpolert avsenkning rundt de omkringliggende hammerhullene.

Tabell 3-8 Oversikt over grunnvannssenkning i omkringliggende hammerhull.

Hull-ID	NO-H23	NO-H22	NO-H21	NO-H20	NO-H14
Avsenkning (m)	0,2	0,5	5,24	1,2	0,6
Avstand (m)	52 (nord)	48 (nord)	0	48 (sør)	114 (sør)



Figur 3-8: Resultater fra tre døgns pumpetest, viser en total avsenkning på 5,24 m med en pumperate på 11,7 l/min. Avsenkningen ved 55 minutter skyldes økt pumperate, før den ble stilt tilbake til 11,7 l/min.

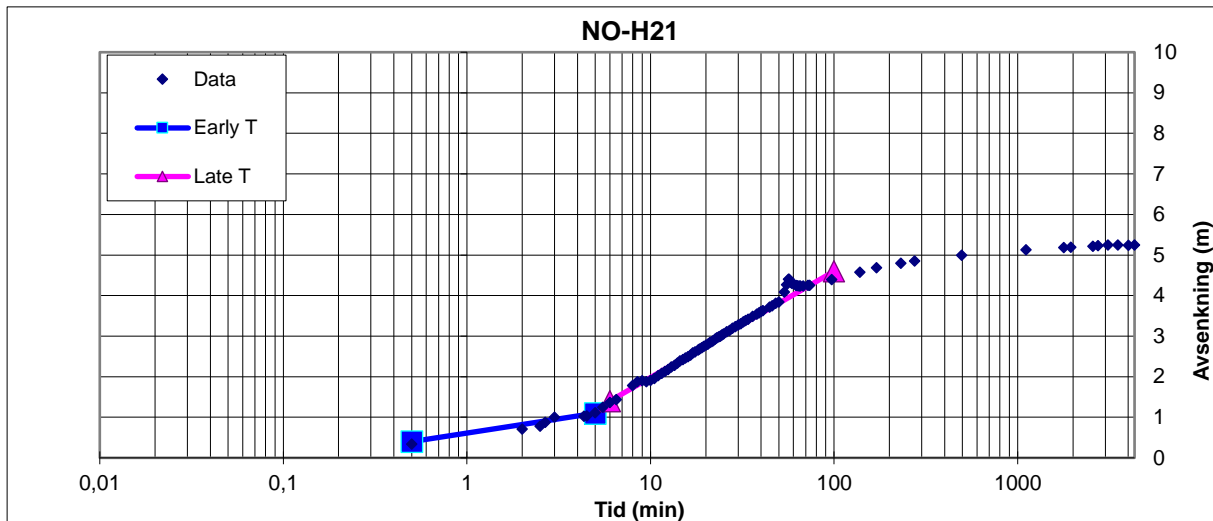


Figur 3-9: Målt avsenkning ved omkringliggende hammerhull under pumpetest i NO-H21.

Senkningskurvene fra pumpetestene er analysert med Cooper-Jacob's metode for å vurdere hydrauliske egenskaper, transmissivitet og hydraulisk konduktivitet. Cooper-Jacob's metode forutsetter lang-tids pumpetest og antar at akviferen er homogen og isotrop. Denne metoden er benyttet for kort-tids pumpetest også, for å gi en indikasjon om permeabiliteten i berget.

Figur 3-10 viser grunnvannssenknningen under lang-tids pumpetest i NO-H21, på logaritmisk tidsskala. Resultatene viser at kapasiteten/vannføringen reduseres ved >1 m avsenkning. Dersom grunnvannet senkes mer enn 1 m antyder pumpetesten at den hydrauliske ledningsevnen reduseres til  $3,3 \cdot 10^{-7}$  m/s, med Cooper-Jacobs metode. Dette er noe lavere (men i samme størrelsesorden) enn det som ble målt i NO-H14 med vanntapsmålinger.

Ved måling av grunnvannstand under lang-tids pumpetest ble det målt en senkning på 0,5 m 114 m syd for pumpebrønnen. Dette tyder på at man må forvente en senkningstrakt på over 100 m dersom man har en innlekkasje på 11,7 l/min. Poretrykksmåleren (300 m sør for pumpebrønnen) viser ingen tegn til påvirkning på poretrykket under Bjørndalen. Pumpetesten indikerer at et uttak på 11,7 l/min gir en senkningstrakt som går mot null et sted mellom 114 og 300 m fra brønnen/lekkasjen.



Figur 3-10: Avsenkning på logaritmisk tidsskala, med tolket transmissivitetlinje (tidlig og sen).

### 3.2.5 Geofysisk borehullslogging

#### 3.2.5.1 Metode borehullslogging

Kartlegging av oppsprekingsgrad og sprekkeorientering i hammerhullene er utført med borehullslogging. I denne rapporten presenteres resultater som brukes til å tolke vannførende soner. Detaljerte resultater som brukes til å tolke berggrunnforhold er presentert i Ingeniørgeologisk rapport [18].

Geofysisk borehullslogging er en undersøkelsesmetode som innebærer å senke ned ulike måleinstrumenter i borehull for å måle responser fra bergformasjonen. Disse responsene kan relateres til bergformasjonens geologiske og/eller hydrogeologiske egenskaper. Måleinstrumentene senkes ned i borehullet via en kabel og vinsj som er koblet til et loggesystem der alle målingene lagres (figur 3-11). Måleutstyret utfører målinger kontinuerlig samtidig som det heises opp eller ned i borehullet. Kabelens lengde kalibreres opp mot topp borehull og kontinuerlige målinger som funksjon av dybde borehull.



Figur 3-11: Bilde som viser utførelse av geofysisk borehullslogging ved NO-H12.

Geofysisk borehullslogging er utført i totalt 18 hammerhull. NO-H05, NO-H20, NO-H21, NO-H22 og NO-H23 er ikke logget. Feltarbeidet ble utført i to omganger, der 12 hammerhull ble logget i september 2021, mens 6 hammerhull ble logget i desember 2021.

Det finnes en rekke ulike måleinstrument/målemetoder innen geofysisk borehullslogging. Tabell 3-9 viser oversikt over de ulike måleinstrumentene som ble benyttet. I alt 11 metoder ble valgt ut med utgangspunkt i følgende formål:

- Kartlegge bergartstyper og geologiske grenser
- Kartlegge svakhetssoner/soner med dårlig bergkvalitet
- Kartlegge vannførende sone i berg
- Kartlegge soner med mulighet for syredannende berggrunn

Resultatene fra geofysisk borehullslogging må tolkes kvalitativt og i enkelte tilfeller vil det være usikkerheter i tolkningene.

Tabell 3-9: Oversikt over anvendte målemetoder innen borehullslogging for E18 Ytre ringvei.

Metode/måleutstyr	Beskrivelse/anvendelse
Optisk Televiewer	360 graders optiske bilder genereres av et optisk kamera. Dette kan brukes til å identifisere bergartstyper, geologiske strukturer og laggrenser (inkludert strøk og fall). Logging med Optisk Televiewer krever at borehullet enten er luftfylt eller er fylt med klart vann.
Akustisk Televiewer	En akustisk lydimpuls sendes ut fra måleinstrumentet og reflekteres fra borehullsveggen. Dette resulterer i et 360 graders innvendig "akustisk bilde" av borehullsveggen. Metoden brukes til å kartlegge sprekker (inkludert strøk og fall) og soner med dårlig bergkvalitet. Logging med Akustisk Televiewer krever at borehullet er fylt med vann.
Mekanisk Caliper	Måling av diameteren i borehullet og er nyttig for å kartlegge soner hvor berg har rast ut (på grunn av dårlig bergkvalitet).
Naturlig gammastråling	Måler naturlig radioaktivitet i bergartene. Ulike bergartstyper har ulikt nivå når det gjelder radioaktivitet. Metoden kan derfor brukes til å kartlegge bergartstyper og geologiske laggrenser.
Spektral gammastråling	Måler relative elementkonsentrasjoner for Uran, Thorium og Kalium. Brukes til å kartlegge geologiske grenser og i enkelte tilfeller kartlegging av syredannende berg.
Resistivitet i berg	Resistivitet i berg brukes til å kartlegge svakhetssoner i berg samt geologiske grenser.
Magnetisk Suseptibilitet	Måler bergformasjonens magnetiserbarhet og brukes først og fremst i forbindelse med kartlegging av geologiske grenser.
Indusert Polarisasjon	Måler bergformasjonens elektriske ladbarhet. Dette kan brukes til å detektere sulfidmineraler som videre kan indikere syredannende berg.

Metode/måleutstyr	Beskrivelse/anvendelse
Temperatur og ledningsevne i vann	Måler temperatur og elektrisk konduktivitet av vannet i borehullet. Dette brukes til å kartlegge vannførende soner i berg. Den elektriske konduktiviteten er ofte høyere i grunnvann sammenlignet med overflatevann, og høyere elektrisk konduktivitet indikerer lengre oppholdstid uten påvirkning fra overflatevann.
pH i vann	Måler pH til vannet i borehullet. Brukes først og fremst til kartlegging av vannkvalitet og vannførende soner i berg.
Impeller flowmeter (vannstrømning i borehull)	Måler vertikal strømningshastighet i borehull som er en funksjon av vannførende sprekkesoner. Metoden brukes til å kartlegge vannførende soner i berg.

### 3.2.5.2 Resultater borehullslogging

Nedenfor presenteres tolkning av borehullslogging i hammerhullene som er logget. Illustrasjoner av resultat og tolkning fra borehullslogging er inkludert i Ingeniørgeologisk fagrapport [18]. Resultater fra borehullslogging er presentert i Ingeniørgeologisk fagrapport [18].

#### 3.2.5.2.1 NO-H01

Hammerhull NO-H01 er boret ved Vige, ca. 40 m sør for planlagt tunneltrasé, og gjennomskjærer en bergmasse bestående av hovedsakelig amfibolittisk og granittisk gneis. Hammerhullet er lokalisert like sør for en større svakhetszone, som krysser tunneltrasé.

Det er ikke kartlagt fremtredende svakhetssoner i hammerhullet, men det er kartlagt flere bergsprekker ved hovedsakelig 12–18 m boret dyp og 19–27 m boret dyp, med varierende orientering (strøk og fall).

Resultater fra borehullslogging (konduktivetslogg og pH-logg) tyder på at det er hovedsakelig 3 vannførende soner i borehullet (ved 14, 20–22, og 24 m boret dyp), hvor hver sone har en eller flere vannførende sprekker. Under boring ble det rapportert om svakt vanninnslag (innstrømmende grunnvann i hammerhull) ved 21 m boret dyp. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til 190-240  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ned til 19 m boret lengde, og 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  under 19 m.

Målte grunnvannsfluktuasjoner i NO-H01 (illustrert i Vedlegg 3) viser forholdsvis treg respons på nedbør, noe som kan indikere lav hydraulisk ledningsevne. Videre viser grunnvannsmålinger at hammerhullets grunnvannstand først var stabilisert ca. 20 dager etter boring. Dette kan tyde på forholdsvis lav hydraulisk ledningsevne i de vannførende sprekkeene.

Basert på resultater fra strømningslogging (Impeller Flowmeter) er det ikke kartlagt vertikal vannstrømning i NO-H01. Dette tyder på at grunnvannstrykket i de ulike sprekkesystemene som hammerhullet gjennomskjærer er tilnærmet lik og samsvarer med grunnvannstanden

som er i tidsperioden august – desember 2021 har fluktuert mellom kote 16.5 m og 17.5 m (tilsvarer henholdsvis 5.5 m og 4.5 m boret dyp).

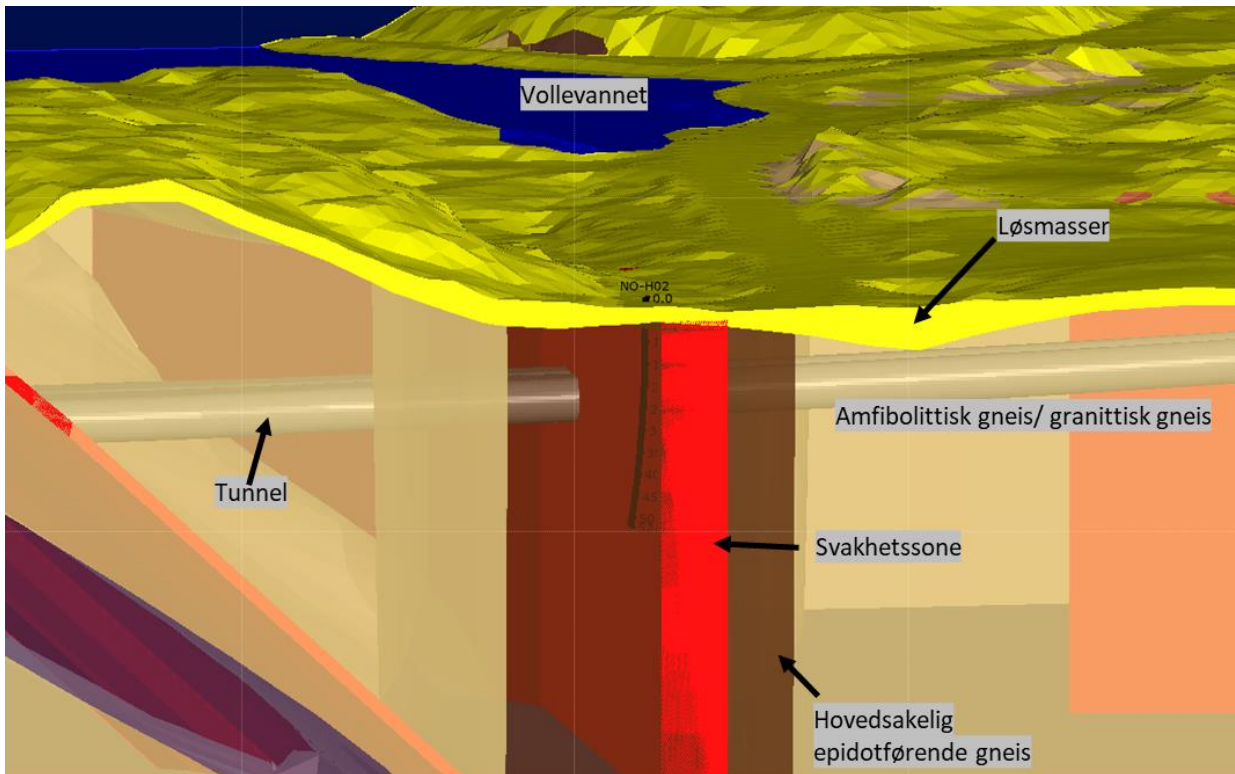
#### 3.2.5.2.2 NO-H02

Hammerhull NO-H02 er boret sør for Bjørndalsheia, like nord for eksisterende E18 og er tilnærmet vertikalt gjennom hele boreprofilen. Tolkede bergartstyper i hammerhullet er hovedsakelig epidotførende gneis i tillegg til granittisk gneis, pegmatitt og noe innblanding av amfibolittisk gneis. Hammerhullet er lokalisert ca. 30 m vest for en større tolket svakhetsone (tolket fra kart og feltbefaring) som krysser tunneltrasé og forsetter under Vollevannet.

Ved 32–35 m boret dyp, hvor det er tolket et mindre mektig lag bestående av granittisk gneis, er det tolket en sone med mye oppsprukket berg som kan utgjøre en svakhetsone. Ellers er det varierende grad av oppsprekking i borehullet, men ingen andre svakhetssoner. Det er stor variasjon i sprekkens orientering.

Både grunnvannsovervåkning og observasjoner i felt viser at det er artesisk grunnvannstrykk i NO-H02. Hammerhullet er lokalisert ved en nær vertikal svakhetsone som strekker seg fra Vollevannet i nord, gjennomskjærer tunnelen og strekker seg videre sørover. Trykket kan ha sammenheng med et høyere potensiale fra Vollevannet som ligger på kote 28, mens brønntopp NO-H02 ligger på kote 14,5, ca. 1 m over terreng. Registrert trykkpotensial er på kote 14,6 (artesiske forhold).

Resultater fra borehullslogger gir ingen tydelige indikasjoner på tilstedeværelse av vannførende sprekker/soner. pH-loggen viser imidlertid noen svake anomalier som kan skyldes vannførende sprekker, men med antatt svært lav hydraulisk konduktivitet. Slike sprekker er kartlagt ved 16, 31, 39 og 50 m boret dyp. Basert på resultater fra strømningslogging (Impeller Flowmeter) er det ikke kartlagt vertikal vannstrømning. Under boring ble det ikke observert noen soner med vanninnslag. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til 360-380  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Figur 3-12: Stillbilde fra 3D-modell, orientert mot nordøst, som viser NO-H02 sammen med tolket geologi og tunnel.

#### 3.2.5.2.3 NO-H03

Hammerhull NO-H03 er boret i Bjørndalen og er boret 60 m mot sør/sørøst med en inklinasjon på 20 grader (70 graders helning). Ca. 65 m fra borehullet er det kartlagt en større svakhetszone med mektighet over 10 m som krysser tunnel og går videre under Vollevannet. I etterkant av boring viste en mer detaljert kartlegging at svakhetssonen faller parallelt med borhullet.

Bergmassen som hammerhullet gjennomskjærer består hovedsakelig av amfibolittisk, diorittisk og granittisk gneis. Resultater fra borehullslogging antyder ingen betydelige svakhetssoner, men det er kartlagt en del sprekker i hullet. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Sprekkene i hammerhullet antas å være vannførende i svært liten grad. Borehullsloggene gir ingen indikasjoner på vannførende sprekker i hammerhullet. Grunnvannsovervåking tilsier at grunnvannstanden i hammerhullet først var stabilisert ca. 3 måneder etter boring, noe som tilsier svært lav hydraulisk ledningsevne. Både resultater fra borehullslogging, grunnvannsovervåking og observasjoner under boring indikerer svært lav hydraulisk ledningsevne i NO-H03. Dette har antakelig sammenheng med ugunstig helning på borhullet, og det forventes svakhetssoner som er mer vannførende i området. På grunn av lang responstid vurderes dette som et hammerhull som ikke egner seg til overvåking av grunnvannsforhold under anleggsfase. Responsten på en eventuell senkning vil antakelig være svært forsinket.



#### 3.2.5.2.4 NO-H04

Hammerhull NO-H04 er boret ved Presteheia og er 110 m dypt. Ved brønntopp er NO-H04 vertikalt, men har økende inklinasjon (avvik fra loddlinje) nedover i hammerhullet og i bunnen er inklinasjonen 30 grader (60 graders helning). Borehullsloggene i NO-H04 indikerer berg bestående av hovedsakelig amfibolittisk/diorittisk gneis samt granitt og noe pegmatitt.

Det er tolket en større svakhetsone med fall ca. 120 m vest for NO-H04 [18]. Hammerhullet krysser denne antatte svakhetssonen på rundt 54 m boret dyp. Borehullsloggene indikerer at det ikke er noen intervaller som peker seg ut som markante svakhetssoner/oppstrukne soner, men det er kartlagt mange enkeltsprekker i hammerhullet. Sprekkeløst i NO-H04 indikerer tilstedeværelse av et tydelig sprekesett orientert nordøst, med fall på ca. 50-60 grader.

Ifølge borehullsloggene er det ingen vannførende soner med høy hydraulisk konduktivitet. Det er imidlertid antydninger til noe vannførende soner/sprekker ved 48, 54, 57, 62, 66, 71 og 73 m boret dyp, men ikke med høy hydraulisk konduktivitet. Det er også antatt vannførende sprekker ved 25, 30 og 33 m boret dyp, men disse antas å ha svært lav hydraulisk konduktivitet. Under boring ble det ikke rapportert om permeable soner med vanninnslag. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Grunnvannsovervåkning (figur 3-31) tyder på at grunnvannstanden i hammerhullet var stabilisert ca. 2–3 uker etter boring. Dette tyder på at permeabiliteten i berget er noe høyere i NO-H04 sammenlignet med NO-H03 og NO-H02. I tillegg viser grunnvannsovervåkningen at grunnvannstanden responderer tydelig på nedbør og sesongvariasjoner. Dette kan være et hammerhull som egner seg godt til overvåkning.

#### 3.2.5.2.5 NO-H05

NO-H05 er boret ved Eg, sør for sykehusområdet, og er 115 m dypt. Otra ligger 115 m øst for hammerhullet. Det ble under boring rapportert om flere soner med dårlig bergkvalitet samt flere vannførende soner med mye vanninnslag i hammerhullet. Dette gir grunn til å tro at berggrunnen ved H05 stedvis er svært permeabel og vannførende. På grunn av risiko for tap av loggeutstyr i forbindelse med utrasing i hullet, og lang avstand fra tunneltraseen ble det besluttet å ikke utføre borehullslogging i NO-H05.

På grunn av relativt høy hydraulisk konduktivitet vurderes dette som en hammerhull som egner seg godt til overvåkning.

#### 3.2.5.2.6 NO-H06

Hammerhull NO-H06 er lokalisert rett sørvest for sykehusområdet ved Eg og er 69 m dypt. Helningen til borehullet er tilnærmet vertikalt gjennom hele boreprofilen. Det er kartlagt en større svakhetsone rett ved siden hammerhullet [18]. Resultater fra borehullslogging viser generelt veldig mye oppstrukket berg i hele hullet og mye utrast berg. Dette indikerer videre at NO-H06 er boret i eller rett ved siden av en større svakhetsone.

Fra pH-loggen indikeres vannførende soner ved 23, 28, 36 og 41 m boret dyp. De andre loggene gir ingen indikasjoner på vannførende soner. Under boring ble det rapportert noe

vanninnslag ved 31, 45 og 65–68 m boret dyp. Tolket strøk og fall av bergsprekker i NO-H06 har stor variasjon. Dette tyder på at orienteringen på de vannførende sonene/sprekkene i hammerhullet varierer. På grunn av mye utrasing har det ikke vært mulig å tolke/digitalisere alle bergsprekkene i hammerhullet.

Grunnvannsovervåkning tyder på at det etter boring tok få dager før grunnvannstanden i hammerhullet var stabilisert. Dette tyder på moderat permeabilitet i berget.

Strømningsloggen indikerer at vannet i hammerhullet er nært stillestående (ingen vertikal strømningshastighet), noe som videre tyder på at de vannførende sonene har tilnærmet likt trykkpotensial. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 3.2.5.2.7 NO-H07

NO-H07 er boret ca. 70 m øst for Bånetjønn og er 136 m dypt. Hammerhullet er tilnærmet vertikalt gjennom hele boreprofilen. Kartlagte bergarter i er hovedsakelig amfibolittisk og granittisk gneis samt noe pegmatitt. Hammerhullet er lokalisert rett ved siden av tolket svakhetssone.

Resultater fra borehullslogging tilsier tilstedeværelse av flere soner i hammerhullet som er betydelig oppsprukket, men sonene fremstår mindre sammenhengende sammenlignet med NO-H06.

Resultater fra konduktivitet, temperatur, vertikal vannstrømning og pH tyder på svært vannførende soner ved 45, 60–63, 65–68 og 123–125 m boret dyp. Den sistnevnte sonen antas å ha noe lavere trykkpotensial. Dette fordi strømningsloggen indikerer nedadrettet strømning mellom 68 og 125 m, noe som betyr at grunnvann strømmer inn i borehullet ved 68 m, før det strømmer nedover og ut i sprekkene ved ca. 125 m. Ellers er det kartlagt flere andre vannførende soner i NO-H07, men som antas å ha noe lavere hydraulisk konduktivitet sammenlignet med soner som nevnt ovenfor. Under boring ble det rapportert vanninnslag ved 67–68 m boret dyp.

Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ned til 40 m boret lengde, ca. 160–170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  fra 45–60 m boret lengde, og ca. 250 fra 67 m og dypere.

Grunnvannsovervåkning i NO-H07 viser at det etter boring tok to til tre dager før grunnvannstanden i hammerhullet var stabilisert, noe som tyder på moderat permeabilitet i berget.

#### 3.2.5.2.8 NO-H08

Hammerhull NO-H08 er lokalisert i Dalane og er totalt 56 m dypt. Orientering er tilnærmet vertikalt gjennom hele boreprofilen. Det ble påtruffet berg ved 35,2 m boret dyp. Kartlagte bergarter i hammerhullet er hovedsakelig amfibolittisk og granittisk gneis. Bergmassen fremstår med regelmessig og hyppig vekslende sammensetning som tyder på båndgneisstruktur.

Ut fra borehullsloggene er det kartlagt en sone med noe oppsprekking og utrasing. Ved 43 og 48 m boret dyp er det svake antydninger til vannførende sprekker, men disse antas å ha lav hydraulisk konduktivitet. Det er ingen antydninger på vannførende soner med betydelig hydraulisk konduktivitet.

Resultater fra grunnvannsovervåkning (Vedlegg 3) viser at grunnvannstanden i NO-H08 stiger svært langsomt med en asymptotisk trend i perioden august-desember 2021. Dette samsvarer godt med resultater fra borehullslogging samt vanntapsmåling som indikerer svært lav hydraulisk ledningsevne.

#### 3.2.5.2.9 NO-H09

Hammerhull NO-H09 er lokalisert ved Kjerrane og er boret 53 m med vertikal orientering. Med unntak av 1,5 m med amfibolittisk gneis under bunn foringsrør er det kartlagt homogen øyegneis med stedvise bånd av granittisk pegmatitt gjennom hele boreprofilen.

Ut fra borehullsloggene fremstår bergmassen som massiv med lite oppsprekking. Konduktivitets- og pH-loggen antyder noe vannførende sprekker ved 11, 16–17 og 20 m boret dyp. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 170-220  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Resultater fra grunnvannsovervåkning (Vedlegg 3) indikerer at grunnvannstanden i hammerhullet har stabilisert seg innen en uke etter boring. Vannstanden står høyere enn vannstanden i Kvislevannsbekken, 70 m sør for hammerhullet. Permeabiliteten i berget vurderes som moderat.

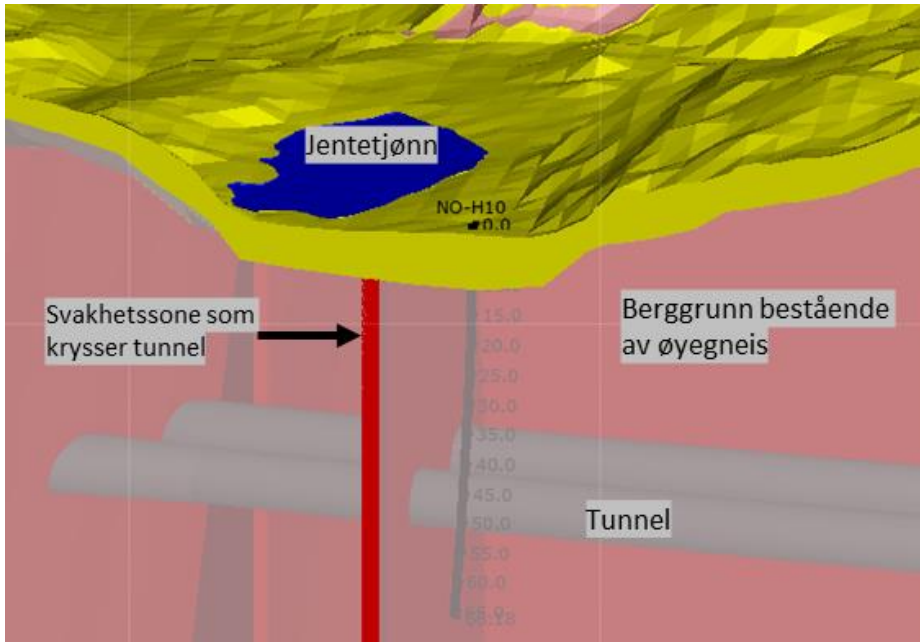
#### 3.2.5.2.10 NO-H10

Hammerhull NO-H10 er lokalisert rett ved Jentetjønn som ligger over en større kartlagt svakhetszone som krysser tunnelene (som vist på Figur 3-13). Avstand til planlagt tunneltrasé er ca. 50 m. Hammerhullet er totalt 66 m dypt og orientering er tilnærmet vertikalt gjennom hele boreprofilen.

Det er kartlagt hovedsakelig øyegneis med stedvis innslag av granittisk pegmatitt. Sammenlignet med hammerhull NO-H09 er NO-H10 betydelig mer oppsprukket. Mellom 36 og 40 m boret dyp viser borehullsloggene flere sprekkesoner som antas å være vannførende. Ved 50–52 m boret dyp er det tolket en betydelig oppsprukket sone med mye utrast berg og antatt moderat hydraulisk ledningsevne. Videre er det kartlagt vannførende sprekker ved 44, 47 og 59 m boret dyp, men disse tolkes å ha lav hydraulisk ledningsevne. Under boring ble det observert noe vanninnslag mellom 23 og 26 m boret dyp. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 1000-1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  øverste 10 m, deretter gradvis avtagende ned til 150 m på 38 m dybde, deretter mellom 150-270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  til bunn av borehullet.

Tolkning av sprekkeorientering i NO-H10 indikerer sprekkesett med fall på 30–60 grader mot nord (øst-vestgående strøkretning). Dette gjelder spesielt for de antatt vannførende sprekkenes. Strømningsloggen antyder ikke vertikal vannstrømning, noe som indikerer at de vannførende sprekkenes har et trykknivå som er i likevekt med vannstanden i hammerhullet.

Grunnvannsovervåkning viser at grunnvannstanden i hammerhullet responderer tydelig og raskt på nedbør. Resultater fra borehullslogging og grunnvannsovervåking indikerer dermed at det stedvis i dette området kan forekomme vannførende soner.



Figur 3-13: Stillbilde fra 3D-modell som viser hammerhull NO-H10 sammen med tunnelkonstruksjon, Jentetjønn og svakhetssoner tolket fra kartstudie. Berggrunnen, som i dette området består av hovedsakelig øyegneis, er gjort transparent for å fremheve tunnel og svakhetssoner. Figuren viser at Jentetjønn ligger rett over en antatt svakhetssoner som krysser begge tunneløp.

#### 3.2.5.2.11 NO-H11

Hammerhull NO-H11 er boret ca. 50 m sørvest for Bydalstjønn. Totalt dyp er 33 m og orientering er tilnærmet vertikal gjennom hele boreprofilen. Det er kartlagt hovedsakelig homogen øyegneis med stedvise intrusjoner av granitt-pegmatitt. Bergmassen fremstår, ut ifra borehullsloggene, som massiv med lite oppsprekking.

Basert på resultater fra borehullslogging og vanntapsmåling er det tolket enkeltstående og vannførende sprekker/sprekkekanaler med høy permeabilitet. Dette er ved 9, 14,5 og 31 m boret dyp. Tolkning av sprekkeorientering tilsier at den vannførende sprekken ved 9 m faller med 25 grader mot øst (nord-sørlig strøketretning), mens den vannførende sprekken ved 31 m er nær vertikal. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 200-210  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Videre viser grunnvannsovervåkning rask stabilisering av grunnvannstand etter boring, noe som indikerer permeable soner i hammerhullet. Grunnvannstanden i hammerhullet responderer raskt og tydelig på nedbørstopper, noe som videre indikerer moderat permeabilitet.

#### 3.2.5.2.12 NO-H12

Hammerhull NO-H12 er lokalisert 600 m sør for tunneltraseen ved Sødalsheia, ca. 230 m øst for Otra. Orientering ved topp borehull er vertikal, men avvik fra loddlinjen øker kontinuerlig med økende dyp og ved bunn av hammerhullet er det målt avvik på 22 grader fra loddlinjen (inklinasjon).

Kartlagte bergarter i NO-H12, basert på borehullslogging, er hovedsakelig amfibolittisk til diorittisk gneis og granittisk gneis. Videre indikerer borehullsloggene tilstedeværelse av noen oppsprukne soner, men ingen markante svakhetssoner.

Det er tolket vannførende sprekker/soner ved 29–38, 44, 88, 97, 113 og 127 m boret dyp. Strømningsloggen indikerer oppadrettet vannstrømning i hammerhullet mellom 113 og 30 m boret dyp. Dette indikerer at sprekke ved 29–38 m har et mindre trykkpotensial enn de dypere liggende sprekke. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Grunnvannsovervåkning viser at grunnvannstanden i NO-H12 var stabilisert ca. 10 dager etter boring, noe som indikerer lav til moderat hydraulisk konduktivitet.

#### 3.2.5.2.13 NO-H13

NO-H13 er boret ved Universitetet i Agder og er totalt 96 m dyp. Avstand til planlagt tunneltrasé er 650 m. Hammerhullet er nær overflaten orientert vertikalt, men inklinasjonen øker kontinuerlig mot bunnen av hullet, hvor inklinasjonen i bunnen av hullet er 18 grader (avvik fra loddlinje).

Basert på resultater fra borehullslogging er det kartlagt hovedsakelig amfibolittisk til diorittisk gneis med stedvise innslag av granitt/pegmatittisk gneis samt amfibolitt. Det er ikke kartlagt soner med betydelig oppsprukket berg.

Ved 13-15, 25, 35, 49, 68 og 77 m antyder loggdataene tilstedeværelse av vannførende sprekke, men de antas å ha lav hydraulisk ledningsevne. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 630  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Grunnvannsovervåkning viser stabilisert grunnvannstand i NO-H13 ca. tre uker etter avsluttet boring. Dette indikerer at den gjennomsnittlige hydraulisk konduktiviteten i dette hammerhullet er lav.

#### 3.2.5.2.14 NO-H14

NO-H14 i Bjørndalen, ligger ved en større svakhetssone (antatt mektighet større enn 10 m). Hammerhullet går hovedsakelig i amfibolittisk og granittisk/pegmatittisk gneis. Hammerhullet er lokalisert ved en bergskjæring som stedvis er betydelig oppsprukket (Figur 3-14).



Figur 3-14: Bergskjæring ved NO-H14, hammerhullet ble boret der personen står.

Av loggen fremgår det hovedsakelig tre soner med betydelig oppsprukket berg (ved 18 m, 53 m og 60 m boret dyp). Tilgjengelige data viser ingen tydelige indikasjoner på vannførende sprekker i de to øverste sonene. Ved 60 m boret dyp viser imidlertid pH-loggen en vedvarende endring (nedgang i pH), noe som indikerer at sonen er vannførende. Dette samsvarer med observasjoner fra brønnborer der det ble registrert vanninnslag ved ca. 60 m. Utført vanntapmåling ved 55–61 m viser et høyt vanntap som også indikerer høy hydraulisk ledningsevne. Videre viser pH-loggen noen antydninger til vannførende sprekker mellom 66 og 73 m boret dyp.

Strømningsloggen viser ingen indikasjoner på vertikal strømming i borehullet, noe som indikerer at trykkpotensialet i de hydraulisk ledende sprekkeene tilsvarer hammerhullets grunnvannstand. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 340  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 3.2.5.2.15 NO-H15

Hammerhull NO-H15 er lokalisert ved Jegersberg og ligger ved en liten svakhetssone (mektighet mindre enn 5 m). Hammerhullet gjennomskjærer berggrunn bestående av hovedsakelig amfibolittisk og granittisk gneis i hyppig veksling. Hullet er orientert mot vest med en inklinasjon på 30 grader. Det er registrert artesisk grunnvannstrykk i NO-H15.

Det er kartlagt tre soner med stor grad av oppsprukket berg. Disse er kartlagt ved 21, 35 og 65 m boret dyp. I tillegg er det flere gjennomskjærende bergsprekker.

Ved 79 m boret dyp er det kartlagt gjennomgående bergsprekker med steilt fall hvor grunnvann, med høyt trykkpotensial, strømmer inn i hullet. Dette gjenspeiles ved at strømningsloggen øker ved 78 m boret dyp og er positiv oppover i måleintervallet (oppadrettet strømming). Ved dette dypet er det en markant nedgang i vannets konduktivitet,

noe som indikerer at innstrømmende vann har hatt kortere oppholdstid enn overliggende vann.

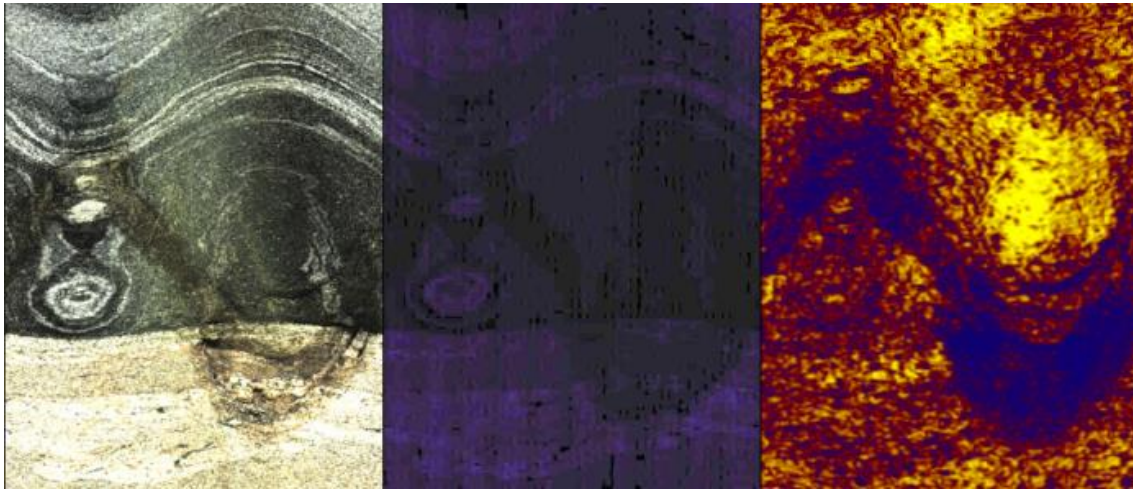
Videre er det kartlagt antatt vannførende sprekker/soner ved 7 m (rett i underkant av foringsrør), 32 m og 56 m boret dyp. Ved 7 m er det registrert økning i strømningsloggen, noe som indikerer at en betydelig mengde grunnvann strømmer inn i hammerhullet rett under foringsrøret for å så strømme ut ved topp borehull (artesiske forhold). Dette indikerer vannførende berggrunn med artesiske grunnvannstrykk i dette området. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 280-290  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 3.2.5.2.16 NO-H16

NO-H16 er boret ca. 80 m vest for Nedre Jegersbergvann og går hovedsakelig i vekslende amfibolittisk og granittisk/pegmatittisk gneis. Orientering av hullet er mot nordøst, med en inklinasjon på ca. 30 grader gjennom hele boreprofilen. Hammerhullet er artesiske og etter boring ble det målt en utstrømning på 0,24 l/s. Ifølge IP-loggen kan det være en horisont ved 58–61 m dyp med mulighet for syredannende potensiale, men dette er usikkert.

Det er ikke kartlagt noen mektige svakhetssoner/knusningssoner men det er kartlagt gjennomgående åpne bergsprekker på flere dybdenivå, hvorav en del av disse antas å være svært vannførende med høyt trykkpotensial. Flowlogg-, temperatur-, konduktivitetsloggene viser vannførende sprekker/soner ved 3 m (dagfjellsone under foringsrør), 57 m, 70 m, 96 m og 112 m boret dyp. Utførte vanntapsmålinger indikerer moderat til høy hydraulisk ledningsevne ved 112 m hvor borehullsloggene viser betydelig oppsprukket berggrunn (figur 3-15). Videre indikerer strømningsloggen artesiske trykkforhold i de nevnte sprekke/sonene. Ved 96 m og 112 m er sprekkeorientering (strøk og fall) tolket og digitalisert for de vannførende sprekke/sonene. Denne tolkingen indikerer at de vannførende sprekke/sonene med høyt trykkpotensial er svært steile, hvor fallet varierer mellom 80 og 90 grader (fra horisontallinjen). Grunnundersøkelsene tyder på at de vannførende sprekkesystemene som NO-H16 gjennomskjærer har artesiske trykkforhold og at berggrunnen, idet minste stedvis, kan være svært vannførende. De artesiske trykkforholdene tyder videre på at området rundt NO-H16 får tilsig av grunnvann fra høyereliggende områder.

Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Figur 3-15: Viser optisk og akustisk televiwer i NO-H16. Figuren viser en steil og vannførende sprekk/soner ved 112 m boret dyp. Sprekken skjærer igjennom laggrense mellom amfibolittisk og granittisk/pegmatittisk gneis.

#### 3.2.5.2.17 NO-H17

Hammerhull NO-H17 er boret øst for Otra og går igjennom en bergmasse bestående av hovedsakelig amfibolittisk og granittisk gneis samt noe pegmatitt/pegmatittisk gneis. Hullet er orientert i sørøstlig retning med en inklinasjon på 30–35 grader. Det er ikke kartlagt noen mektige svakhetssoner, men det er stedvis kartlagt gjennomgående, antatt åpne sprekker samt sone med noe oppsprukket berg. Det ble observert mye vann under boring og artesisk grunnvannstrykk i borehullet.

Ved 6–7 m (i underkant foringsrør), 32 m, 52 m, 58 m og 117 m boret dyp er det kartlagt vannførende sprekker/soner, hvor sprekkene ved 6–7 m, 32 m og 117 m antageligvis har god hydraulisk ledningsevne og et artesisk trykkpotensial. Strømningsloggen indikerer ingen vertikal vannstrømning i hammerhullet under 58 m, men over 58 m er strømningsloggen vedvarende positiv. Dette indikerer at grunnvann strømmer inn i hammerhullet ved sprekkesystemene over 58 m for å så strømme vertikalt oppover og ut ved toppen av foringsrøret.

Tolkning og digitalisering av sprekker NO-H17 antyder at de hydraulisk ledende sprekkene ved 32 m og 52 m boret dyp faller steilt med et fall på rundt 80 grader. Ved de andre vannførende sonene er ikke sprekker digitalisert/tolket med dataene tyder på at de mest vannførende sprekkene har et steilt fall. Videre antyder undersøkelsene at de vannførende sprekkene ikke følger lagdelingen/foliasjonen, men i stedet gjennomskjærer laggrenser.

Det kan videre være flere vannførende sprekker/soner i borehullet som ikke fremkommer av utførte undersøkelser, men disse antas å ha noe lavere hydraulisk ledningsevne. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 3.2.5.2.18 NO-H18

Hammerhull NO-H18 ligger vest for Otra og nord for Eg, like ved en kartlagt svakhetszone. Orientering av hullet er mot øst med en inklinasjon på ca. 30 grader. Kartlagte bergartstyper

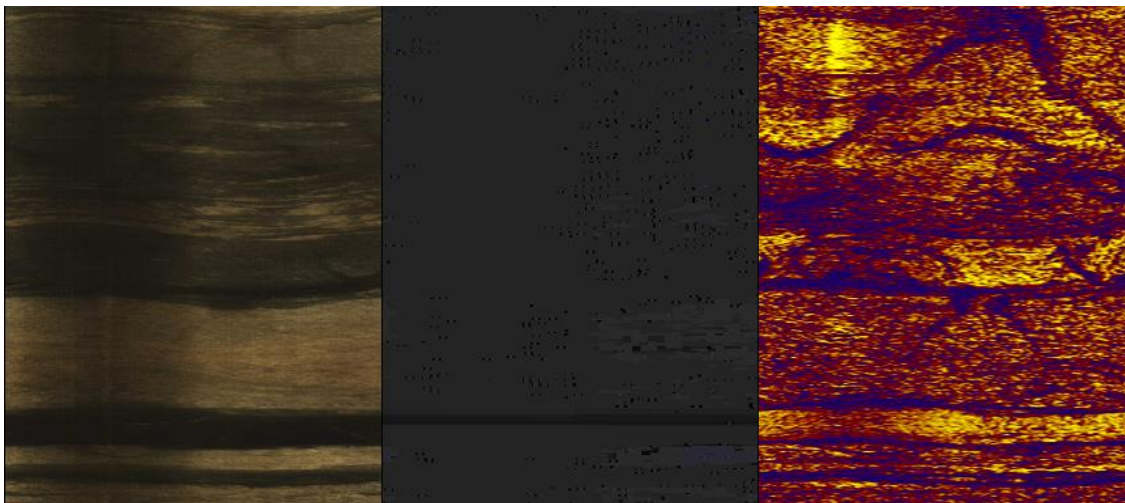


er hovedsakelig granittisk/pegmatittisk gneis, amfibolitt og pegmatittganger i hyppig veksling. Registrert grunnvannstand i hammerhullet i etterkant av boring var 6,3 m under brønntopp på kote +38,5 mens grunnvannstanden under borehullslogging stod noe høyere.

Mellom 3 m og 32 m boret dyp det er mye oppsprukket berg som antageligvis samsvarer med den kartlagte svakhetssonen like vest for hammerhullet. Sprekkedigitalisering/tolkning antyder varierende sprekkorientering og -fall i dette intervallet.

Dypere i hammerhullet er det stedvis oppsprukket berg med varierende sprekkorientering (Figur 3-16). pH-loggen viser stor variasjon ned til 47 m boret dyp, noe som mest sannsynlig kan forbindes med vannførende sprekker ved 23, 25, 29, 32, 38 og 45 m boret dyp. Videre indikerer loggdataene vannførende sprekker/soner ved 71 m, 88 m, 112 m, 119–120 m samt 133–134 m boret dyp. Sprekkedigitalisering/tolkning tyder på at fleste vannførende sprekker i NO-H18 har steilt fall. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Strømningsloggen indikerer at det ikke er vertikal vannstrømning i hammerhullet. Dette tolkes til alle vannførende soner har tilnærmet likt trykkpotensial og er i likevekt med grunnvannstanden i borehullet.



Figur 3-16: Akustisk og optisk televiewer i NO-H18 ved antatt vannførende sone/sprekker ved 46 m dyp. Sprekkene har steilt fall. Sprekkenes fall avviker tydelig fra foliasjonen og gjennomskjærer delvis laggrensene.

#### 3.2.5.2.19 NO-H19

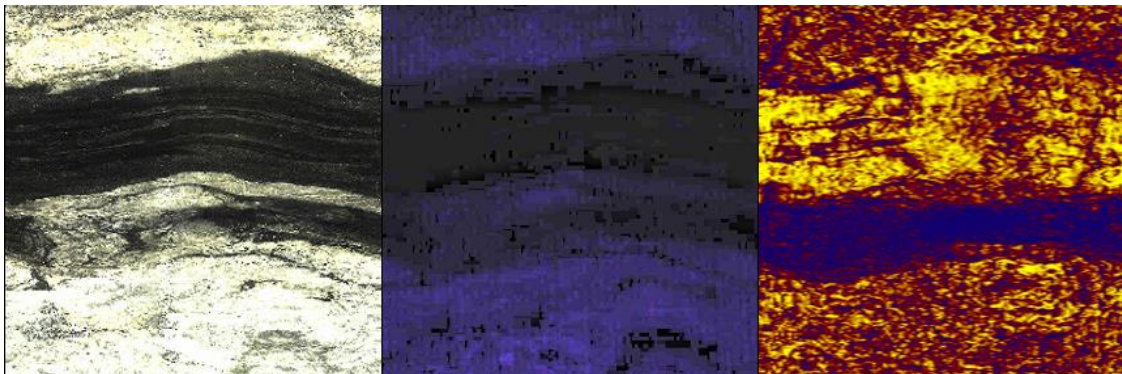
Hammerhull NO-H19 er boret i en svakhetssone (antatt mektighet mindre enn 5 m) ca. 180 m sørøst for Nedre Hellerstøvann. Bergmassen hammerhullet gjennomskjærer består hovedsakelig av amfibolittisk og granittisk gneis i tillegg til amfibolitt og pegmatitt. Svakhetssoner og soner med betydelig oppsprukket berg er kartlagt ved 22–29 m og 113–117 m boret dyp. I tillegg er det kartlagt bergsprekker ved 42 m, 80 m, 97–102 m, 141 m og 149 m boret dyp.

IP-loggen antyder at det kan være mulighet for syredannende berg ved 14 m og 19 m boret dyp.

Loggdataene antyder at vannførende sprekker/soner forekommer hyppig i NO-H19. To soner antas å være svært vannførende (høy hydraulisk ledningsevne). Disse sonene befinner seg henholdsvis ved 22-30 og 114–117 m boret dyp. I tillegg er det tolket vannførende sprekker/soner ved 42, 49, 54, 58, 63, 80, 102 og 147–150. Elektrisk konduktivitet i grunnvannet er målt til ca. 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  øverste 20 m, deretter 255-270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  fra ned til 120 m og deretter gradvis avtagende ned til 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  i bunn av borehullet.

Digitalisering/tolkning av sprekkeforløp antyder at de vannførende sprekkeene i NO-H19 har stor variasjon med tanke på orientering/steilhet.

Strømningsloggen antyder ingen vertikal vannstrømning i hammerhullet. Dette tyder på at grunnvannstrykket i sprekkesystemene hovedsakelig er i likevekt med målt grunnvannstand ved 19,5 m boret dyp.



Figur 3-17: Akustisk og optisk televiewer i NO-H19 ved antatt vannførende sprekk ved 28 m dyp som er en del av en større oppsprukket sone ved 22-29 m.

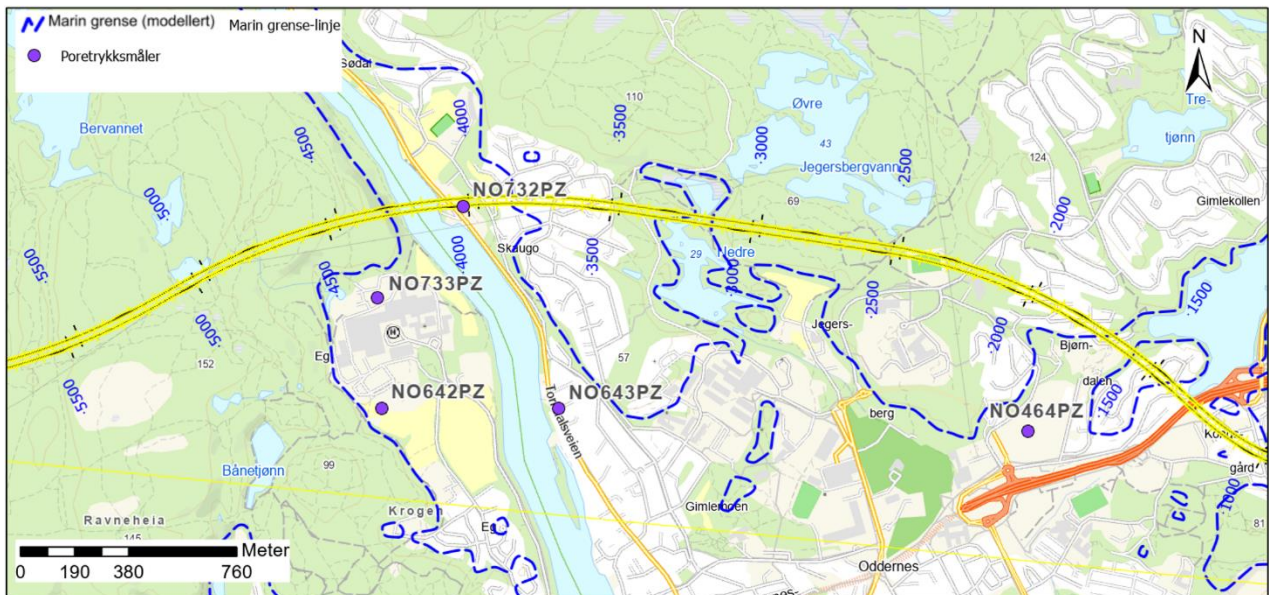
### 3.2.6 Poretrykksmålere

For å undersøke poretrykk i løsmasser er det installert poretrykksmålere ved seks lokaliteter langs tunneltraseen (figur 3-18). Disse er omtalt i mer detalj i Geoteknisk datarapport [19] og Vedlegg 3. Det er benyttet uventilert sensor av type svingende streng fra Geosense, med unntak av i poretrykksmåler NO510PZ som er av typen PVT fra Geotech AB. Sensorene er koblet til en logger for registrering og lagring av måledata. Installasjonen ble utført av Norconsult Boreteknikk AS, mens oppkobling av logger og innhenting av data (fjernavlesing) ble utført av Cautus Geo AS. Loggedata er lastet ned fra CautusWeb [22]. Koordinater til poretrykksmålerne er gitt i Vedlegg 3.

Poretrykksmåler NO464PZ (Bjørndalen), NO642PZ (Sykehuset på Eg, syd) og NO643PZ (Torrivalsveien) ble installert i juni 2021. Poretrykksmåler NO732PZ (Sødal) og NO733PZ (Sykehuset på Eg, nord) ble installert i desember 2021. Sensor i NO732PZ-11 m sluttet å fungere 22. mars 2022, mens sensor i NO464PZ-26,5 m sluttet å fungere 6. juli 2022. Overvåking av poretrykk i leire ble avsluttet i mai 2023. Poretrykksmåler NO510PZ ble installert i september 2021 og måling ble avsluttet i desember 2021.

Poretrykksmålere er plassert på lokaliteter med leire, der det kan være fare for setninger ved poretrykkreduksjon. NO510PZ ble etablert mtp. vurdering av områdestabilitet (se Geoteknisk datarapport [19]). For hver lokalitet er det installert to til tre poretrykksmålere på

ulik dybde under terreng. Dybdene ble identifisert ved hjelp av resultater fra totalsondering og/eller CPT sondering (presentert i Geoteknisk datarapport [19]). På hver lokalitet er den dypeste sensoren installert like over berg og den vil normalt gjenspeile grunnvannstrykket i underliggende berg. Detaljer om og installasjonsdyp for sensorer og gjennomsnittlig poretrykkshøyde (i moh.) er vist i tabell 3-10. Overvåkningsresultater er presentert i kap. 3.4 og vedlegg 3.



Figur 3-18: Oversiktskart for poretrykksmålere langs tunneltrasé relevante for setningsfare. NO510PZ, som ligger nord for NO732PZ, er ikke vist på figuren, men vist på kart i Vedlegg 3.

Poretrykksmåleren i Torridalsveien (NO643PZ) viser et svært lavt grunnvannstrykk. Sensor som er angitt å være på 14 m dybde, dvs. 4 m under havnivå viser sug (negativt trykk). Poretrykksmåleren står nær Otra, og det var forventet et poretrykksnivå noe høyere enn havnivå, slik som måleren ved Sødal (NO732PZ). I forbindelse med bygging av Oddernestunnelen noe lenger syd, ble det målt et grunnvannstrykk på rundt kote +1,5 til +2,5 (se figur 2-4). Årsaken til det svært lave trykknivået som er målt i NO643PZ er ikke kjent, men det kan ikke utelukkes at sensorene er plassert grunnere enn det som er oppgitt av boreentreprenør. Selve trykknivået som er målt i NO643PZ antas å være feil.

Tabell 3-10: Oversikt over poretrykksmålere og gjennomsnittlig målt poretrykshøyde (moh). Merk at det antas at installasjonsdyp oppgitt fra boreentreprenør er feil, og at trykkhøyden derfor er feil.

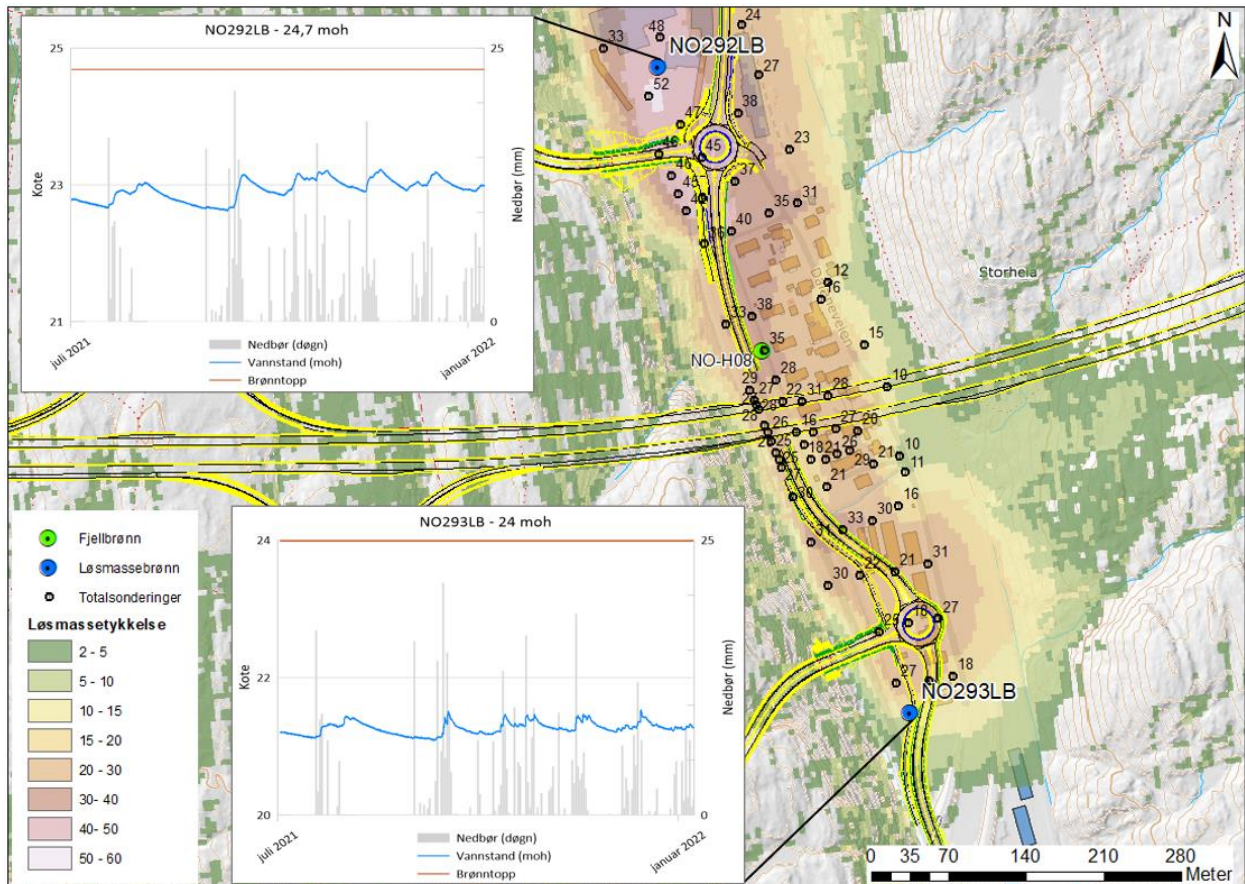
Poretrykks- måler	Lokalitet	Installasjons- dyp (m)	Sensor- kote	Terreng (moh)	Poretrykk (moh)	Måle- periode
NO510PZ	Sødal	6,5	7,8	14,3	10,65	Sep 21- des 21
	Sødal	15	-0,7	14,3	3,79	Sep 21- des 21
NO642PZ	Eg	6,5	19,8	26,3	23,01	Juni 21- mai 23
	Eg	16	10,3	26,3	21,08	Juni 21- mai 23
NO464PZ	Bjørndalen	14,4	-5,2	9,2	7,93	Juni 21- mai 23
	Bjørndalen	26,5	-17,3	9,2	10,64	Juni 21- mai 23
NO643PZ	Torridalsveien	14 (trolig feil, sensor viser negativt trykk)	-4,1	9,9	-4,92	Juni 21- mai 23
	Torridalsveien	19 (trolig feil)	-9,1	9,9	-6,41	Juni 21- mai 23
NO732PZ	Sødal	5	-2,71	2,3	0,26	Des 21- mai 23
	Sødal	11	-8,71	2,3	0,67	Des 21- mai 23
NO733PZ	Eg (nord)	5	15,7	20,7	19,38	Des 21- mai 23
	Eg (nord)	15	5,7	20,7	18,52	Des 21- mai 23
	Eg (nord)	19	1,2	20,7	18,53	Des 21- mai 23

### 3.2.7 Løsmassebrønner i Dalane

Det er boret to løsmassebrønner ved Dalane (figur 3-19). Formålet med brønnene var å kartlegge grunnvannstand i løsmasser med tanke på etablering av en undergang. Etter en tverrfaglig vurdering ble det besluttet å ikke etablere undergang.

Løsmassebrønnene er 4–5 m dype. Ved nedsetting av NO292LB ble det observert fyllmasser de øverste 4 m av massene. Ved nedsetting av NO293LB ble det observert sandige masser øverst, med en gradvis overgang til finere masser av sandig silt/leire ved 3–5 m.

Måling av grunnvannstand er utført ved hjelp av trykkmålere av typen Diver®. Loggerintervall ble satt til hver halvtime. For å kompensere for lufttrykk er det installert en trykkmåler for barometrisk trykk. Overvåkningsresultater er presentert i kap. 3.4 og vedlegg 3.



Tabell 3-11: Oppsummering av grunnvannstand og litologi i løsmassebrønner.

Hull-ID	Brønntopp (moh)	Lengde (m)	Grunnvannstand (moh)	Observasjoner ved nedboring	Kommentar
NO-292LB	24,7	4,6	22,9	Fyllmasser	Brønn er etablert i kum som er i flukt med asfalt. Brønntopp tilsvarer asfaltnivå.
NO-293LB	24,0	5,6	21,2	Siltig og sand	Brønn er etablert i hage. Brønntopp er 0,94 m over terreng.

### 3.3 Vann- og naturforekomster

#### 3.3.1 Kartlegging av vann- og naturforekomster

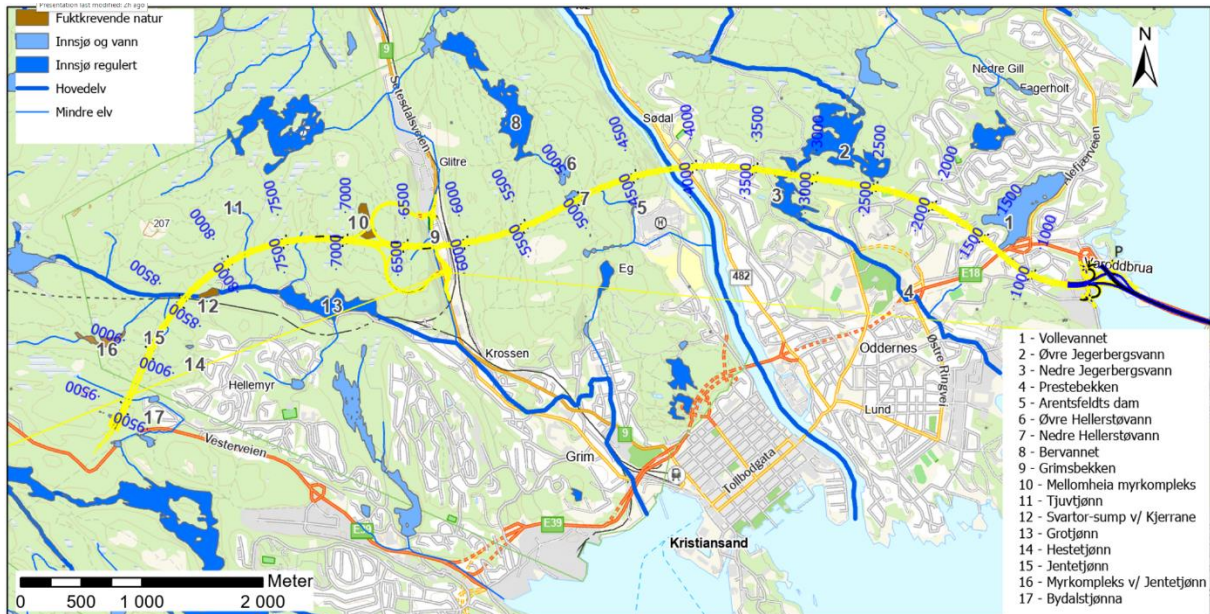
Statens vegvesens publikasjon nr. 103 gir føringer for ivaretagelse av ytre miljø og sårbare naturforekomster i forbindelse med bygging av tunneler og bergrom [23]. Dette omfatter at bygging av tunnel og bergrom ikke bør medføre negative innvirkninger på naturforekomster som har betydning for biologisk mangfold, vannressurser samt friluft og kultur. Sett fra et hydrogeologisk perspektiv er det viktig å kartlegge vann og fuktkrevede naturforekomster og vurdere om disse kan bli negativt påvirket av en grunnvannssenkning som følge av vannlekkasjer i tunnel. Slike naturforekomster omfavner eksempelvis vann/tjern, vassdrag og myrområder. Disse naturforekomstene kan utgjøre en viktig betydning i forbindelse med biologisk mangfold, friluftsliv og kultur, særlig i bynære områder. I områder hvor det er risiko for at vannlekkasjer i tunnel påvirker natur og miljø i negativ forstand må det vurderes om det skal iverksettes omfattende tettetiltak for å bevare naturforekomster.

Figur 3-20 viser en oversikt over alle kartlagte vannforekomster og fuktkrevede naturtyper i prosjektområdet. Ved kartleggingen av sårbare naturforekomster er det tatt utgangspunkt i Miljødirektoratets kartdatabase (Naturbase) [24], kartdatabase fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) over elvenettverk (ELVIS) [25], samt kartlegging i felt.

Fra Figur 3-20 fremkommer det hvilke vann som er registrert som regulert i NVE's kartdatabase. Øvre Jegersbergvann og Nedre Hellerstøvann er i dag oppdemmet eller regulert. Nedre Jegersbergvann og Øvre Hellerstøvann har tidligere vært regulerte vann og i dag renner vannet fritt ut. I tillegg er Vollevann oppdemmet/regulert, selv om det er vist som uregulert på Figur 3-20. Fordi vannene har vært eller er regulert vil de være mindre sårbare for endring i vannstand, ettersom strandsonebiologien allerede er påvirket av endringer i vannstand.

Flere av vannene ligger nær tunneltraseen og har forholdsvis små nedslagsfelt. Disse vannene har blitt befart (se Vedlegg 1). Blant dem er Jentetjønn, Hestetjønn, Bydalstjønn, Nedre Hellerstøvann, Øvre Hellerstøvann, Arenfelts dam og Vollevannet. I disse vannene har det blitt målt konduktivitet ved en eller flere anledninger. Flere av tjernene er definert som myrtjern og en endring i vannstand kan føre til endring i myrmattene og utglidning av tilstøtende myrer [4].

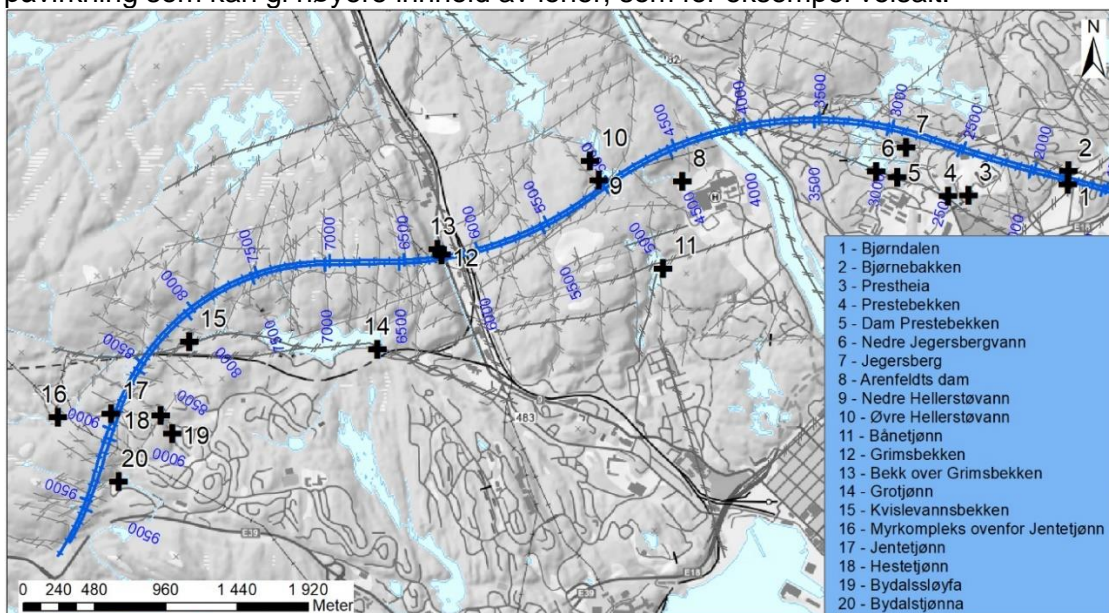
Norconsult utførte våren 2021 en feltkartlegging av og naturforekomster i veitraseens område. Observasjoner fra feltbefaring, beskrivelse og verdsetting av fuktkrevede naturforekomster er beskrevet i rapport for Ikke prissatte konsekvenser [4]. Der omtales blant annet myrforekomster som fremkommer på kart, men som i senere tid er grøftet og drenert, samt kartlegging av naturtyper som ikke er registrert i Miljødirektoratets kartdatabase (Naturbase).



Figur 3-20: Oversikt over identifiserte vannforekomster og fuktnevende natur langs tunneltrasé. Tunneltrasé er vist med gul linje.

### 3.3.2 Måling av elektrisk konduktivitet i overflatevann

Tabell 3-12 og figur 3-21 viser elektrisk konduktivitet som er målt i flere overflatevann langs traseen. Konduktivitet er et mål på vannets spesifikke ledningsevne, noe som stiger med økende innhold av ioner. Høy konduktivitet indikerer dermed høyt innhold av oppløste mineraler og/eller metaller. Grunnvann har som regel høyere konduktivitet enn overflatevann. Vannforekomster med høy konduktivitet kan indikere påvirkning fra grunnvann, eller annen påvirkning som kan gi høyere innhold av ioner, som for eksempel veisalt.



Figur 3-21: Oversikt over hvor det er tatt konduktivitetstester av overflatevann langs traseen.

Tabell 3-12: Oversikt over målt konduktivitet i overflatevann, lokalitetene er indikert i figur 3-21.

Lokalitet	Mai 2021 (mS/cm)	September 2021 (mS/cm)	Desember 2021 (mS/cm)
Bjørndalen (bekk)	104		
Bjørnebakken (bekk)		115	
Prestheia (utspring)	138		
Prestebekken	54		
Dam Prestebekken		49	
Nedre Jegersbergvann		42	
Jegersberg (dam)		239	
Arenfeldts dam		54	
Nedre Hellerstøvann		35	
Øvre Hellerstøvann		25	
Bånetjønn		34	
Grimsbekken	61		
Bekk over Grimsbekken	37		
Grotjønn		60	
Kvislevannsbekken		86	51
Jentetjønn	41	30	
Myrkompleks ved Jentetjønn			57
Hestetjønn	37	28	
Bydalssløyfa	94		
Bydalstjønn		6	

### 3.3.3 Overvåking av vannstand i tjern

Det er utført overvåking av vannstand i følgende utvalgte tjern og vannforekomster i prosjektområdet: Vollevannet, Øvre og Nedre Jegersbergvann, Øvre og Nedre Hellerstøvann, Kvislevannsbekken, Jentetjønn, Hestetjønn og Bydalstjønn. Hensikten med overvåkingen er å dokumentere naturlige variasjoner i vannstand, som grunnlag for å vurdere sårbarhet og eventuell påvirkning som følge av tunnelanlegget. Overvåkingen ble utført med trykksensor av typen Diver®. Loggerintervall ble satt til hver halvtime.

Overvåkningsresultater er vist i kap. 3.4 og Vedlegg 3.

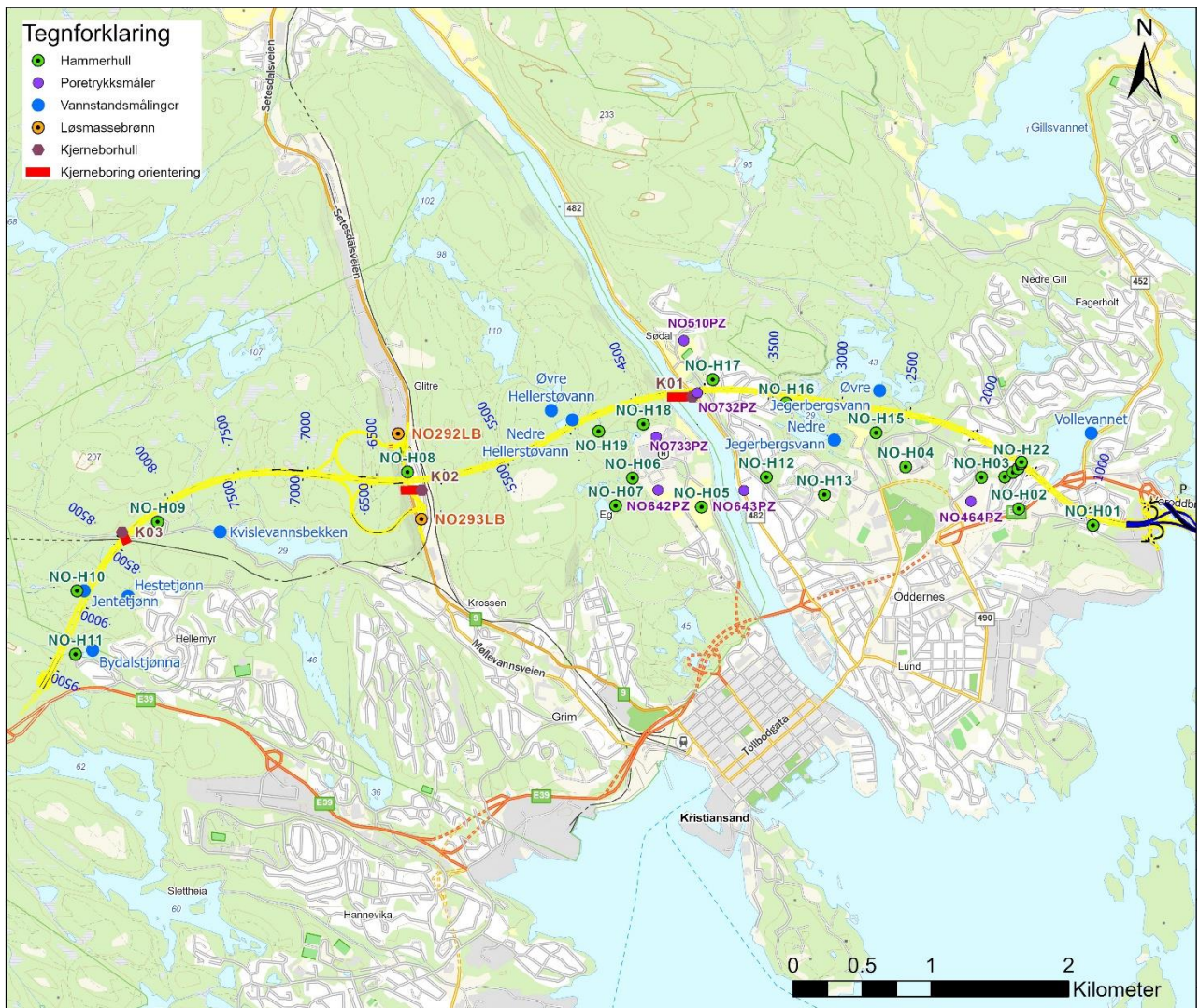
### 3.4 Overvåkningsresultater av grunnvannstand, poretrykk og vannstand i tjern

I dette kapittelet omtales overvåkningsresultater av grunnvannstand i berg (hammerhull), løsmassebrønner, poretrykk i leire og vannstand i tjern som er utført i forbindelse med reguleringsplan. Formålet har vært å kartlegge naturlig variasjon i vannstand som gir bedre grunnlag for å vurdere om det er kontakt mellom grunnvann og overflatevann, setningsfare,



samt skille mellom påvirkning fra tunneldrift og naturlige svingninger under og etter byggefase.

Plassering av overvåkingsstasjonene er vist på Figur 3-22 og detaljkart i påfølgende delkapitler. Det henvises til Vedlegg 3 for ytterligere detaljer om overvåkingsstasjonene og overvåkingsdata.



Figur 3-22: Oversiktskart med overvåkingsstasjoner for grunnvannsnivå, poretrykk og vannstand i tjern.

### 3.4.1 Vige til Bjørndalen

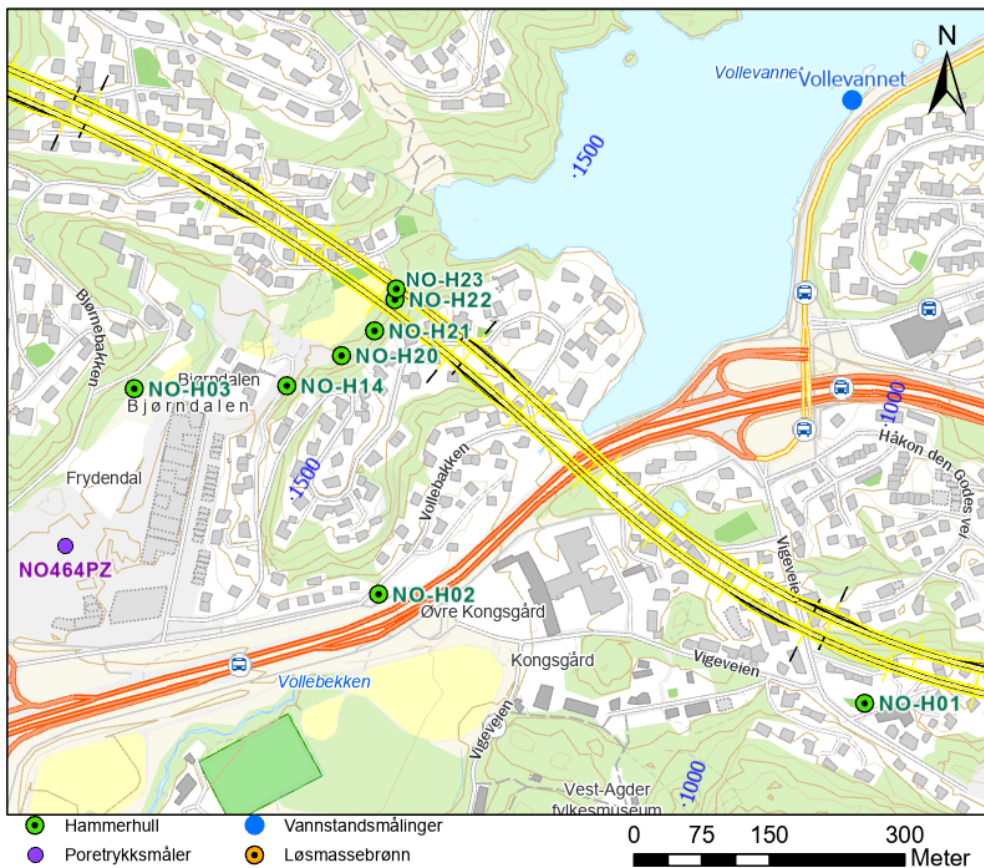
Plassering av overvåkingsstasjoner er vist på Figur 3-23. Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og poretrykksmåler ved mellom Vige og Bjørndalen, samt vannstand i Vollevann, er vist på Figur 3-24. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.

Ved Vige varierer grunnvannsnivå fra ca. kote +16,2 til +18,6, som tilsvarer ca. 3,1-5,2 m under terreng. Grunnvannsnivå viser årstidsvariasjoner og respons på nedbør, men i mindre omfang enn i Bjørndalen.

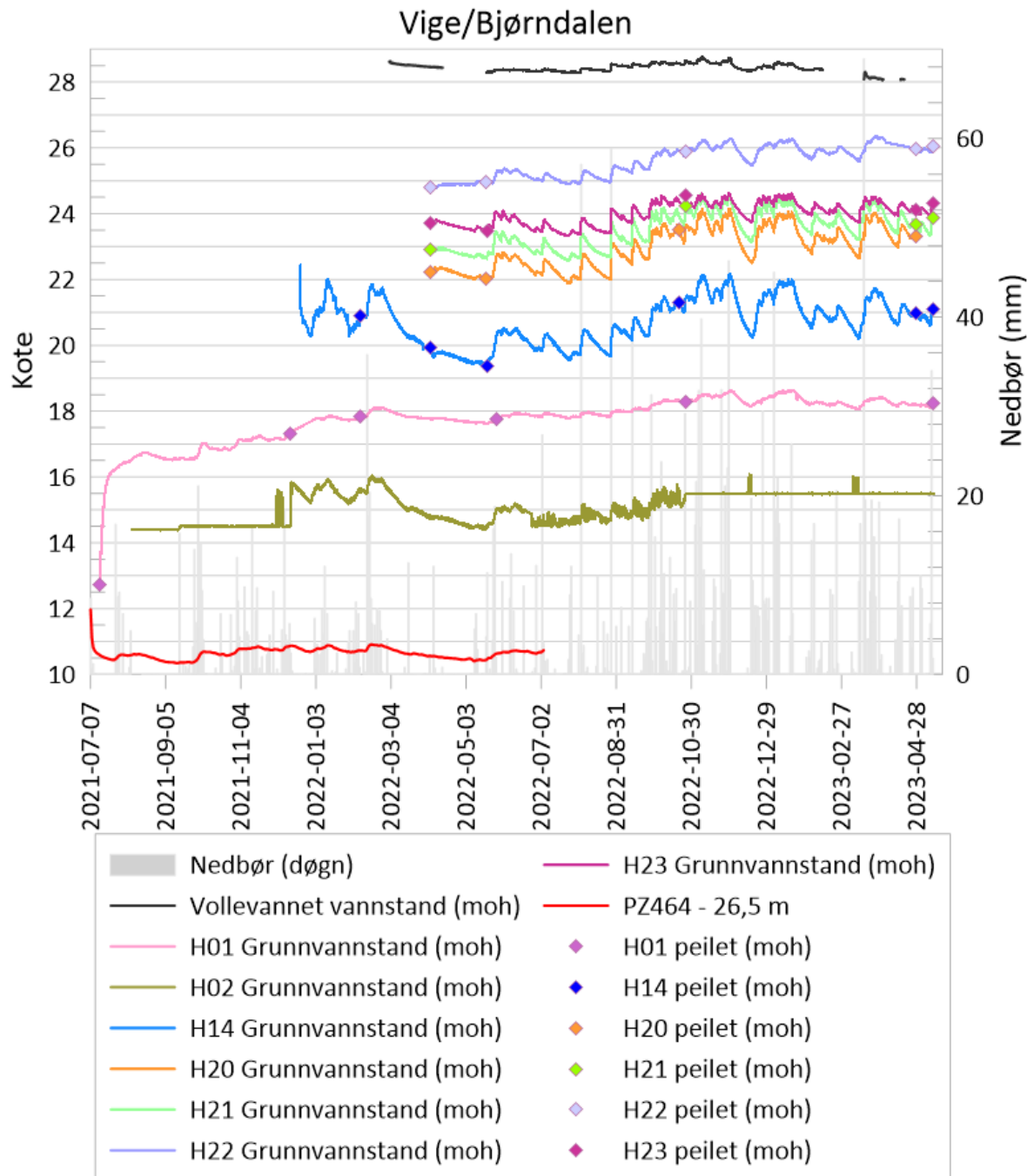
I NO-H02 er det artesisk trykk med en trykkehøyde på rundt kote +14,5-16. Grunnvannstrykket responderer på nedbør, og variasjonene følger grunnvannstrykket i Bjørndalen. På grunn av lekkasje i kollektorlokk på H02 er det kun måleperioden november 2021-juni 2022 som kan antas å vise reelt trykknivå.

Langs Bjørndalen er det avtagende trykk fra Vollevann på kote +28-29 i nordøst mot Oddernestunnelen i sørvest. Den dypeste sensoren i poretrykksmåleren i Bjørndalen (NO464PZ) antas å representere grunnvannstrykket i berg eller overgangen til berg. Trykkehøyden er her rundt kote +10,4-10,7, som tilsvarer 1,2-1,5 m over brønntopp. Høyere trykknivå i dypeste sensor sammenlignet med sensor midt i leiravsetningen (se Vedlegg 3), viser at det er overtrykk ned mot berg. Samtlige målere viser årstidsvariasjoner, med laveste vannstand i mai-september, og mindre topper som respons på nedbør.

Hammerhull NO-H03 vises ikke i figuren, men er vist i Vedlegg 3. Det er svært tett berg i dette hullet og det tok nesten 3 måneder for trykket i brønnen å stige opp til brønntopp. Deretter står trykket på nivå med brønntopp, fordi det ikke var installert tett lokk. Trykknivået i NO-H03 antas å stå noe høyere enn brønntopp på kote +17,7.



Figur 3-23: Detaljkart med plassering av overvåkingsstasjoner og planlagt tunneltrase fra Vigevæien til Bjørndalen.

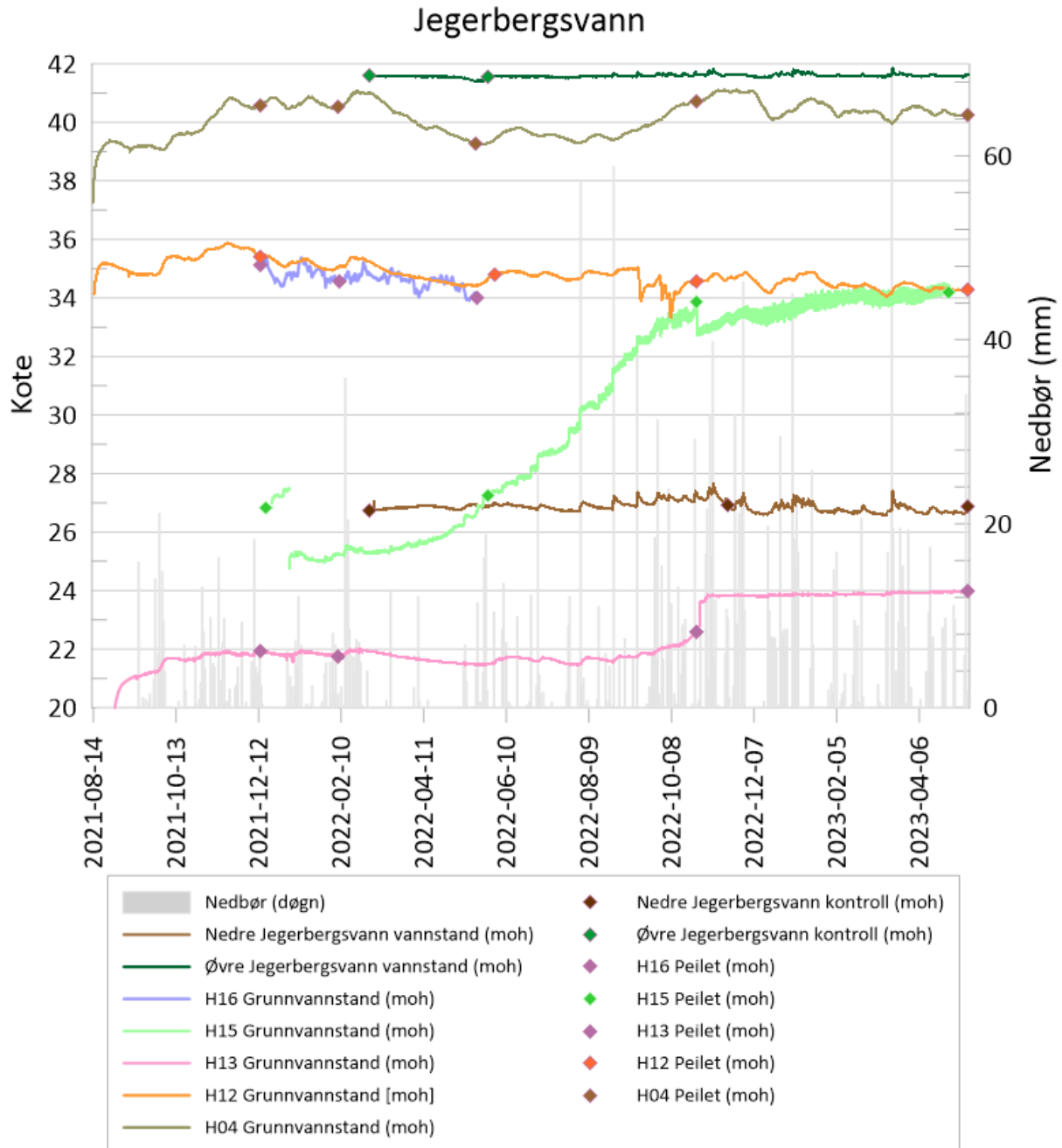


Figur 3-24: Tidsserie over grunnvannets trykkehøyde (moh) i hammerhullene og poretrykksmåler (dypeste sensor på 26,5 m) mellom Vige og Bjørndalen, samt vannstand i Vollevann.

### 3.4.2 Jegersbergvann, Prestheia og UiA

Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull ved Jegersberg, Prestheia og universitetet i Agder (UiA), samt vannstand i Øvre Jegersbergvann (regulert) og Nedre Jegersbergvann (tidligere regulert) er vist på Figur 3-25. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.

Tidsserie fra poretrykksmåler ved Torridalsveien (NO643PZ) er ikke vist på Figur 3-25, da måledataene antas å være feil. Måledata er likevel vist i Vedlegg 3.

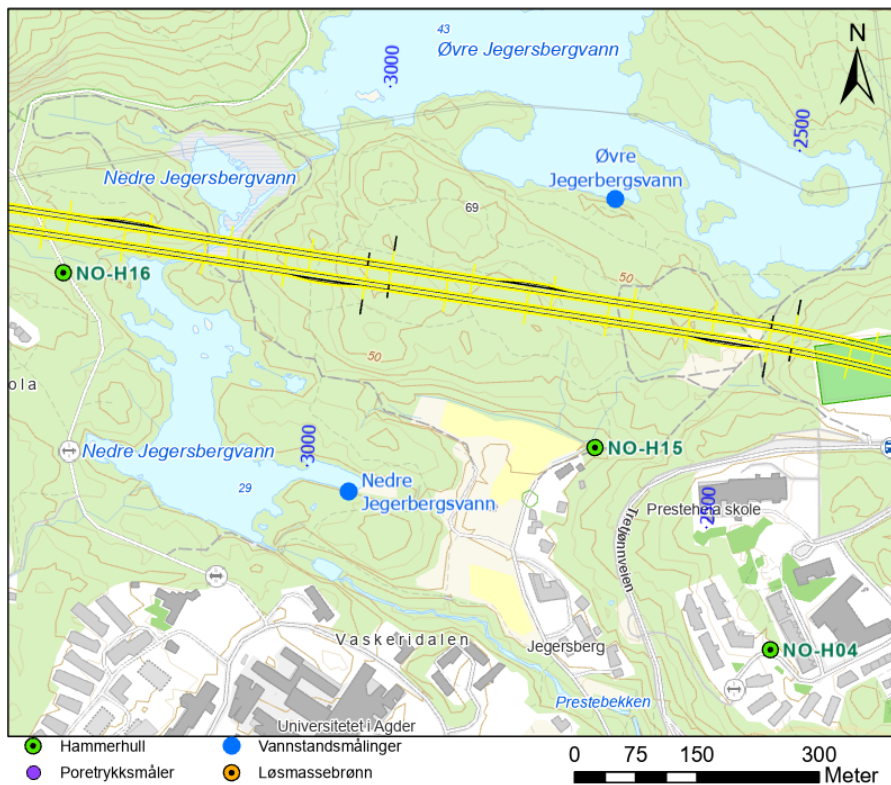


Figur 3-25: Tidsserie over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull ved Jegersberg, Prestheia og UiA, samt vannstand i Jegerbergsvannene.

Det er artesisisk grunnvannstrykk i hammerhull NO-H15 og NO-H16. Det tok nærmere ett år for trykknivået i NO-H15 å stabilisere seg, men mot slutten av måleperioden er trykknivået omtrent på nivå med eller noe lavere enn NO-H16. Det var problemer med avlesing av sensor fra NO-H16 og det foreligger derfor ikke måledata fra denne etter mai 2022. Grunnvannstrykket ligger på rundt kote +34 til +35 i disse to hullene, omtrent midt mellom vannstanden i Øvre og Nedre Jegersbergvann.

NO-H04 ligger på høydedraget Prestheia og viser et grunnvannstrykk på ca. kote +41 til +37, som tilsvarer rundt 16-20 m under brønntopp.

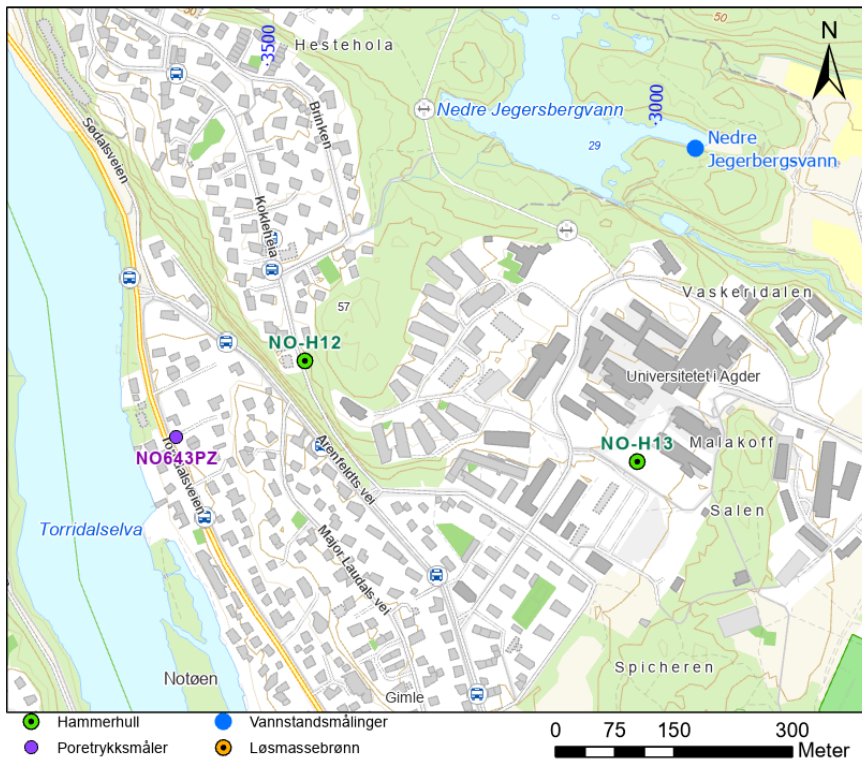
I NO-H04 sees det variasjoner som følge av årstider og nedbør, tilsvarende som i Bjørndalen. Trenden er ikke like tydelig for stasjonene omkring Jegersberg, men det sees noe variasjon og i Nedre Jegersbergvann er det spisse topper ved nedbør.



Figur 3-26: Detaljkart med plassering av overvåkningsstasjoner og planlagt tunneltrase ved Prestheia og Jegersberg.

Ved Universitetet i Agder (NO-H13) lå grunnvannstrykket opprinnelig stabilt omkring kote +21 til +22. I løpet av oktober 2022 steg trykket markant opp til brønntopp på kote +23,7. I perioden oktober 2022 til mai 2023 har vannstanden stått helt opp til brønntopp (som ligger i kum i flukt med terreng). Det er ikke installert tett kollektorlokk, så den faktiske trykkehøyden er ikke kjent. Årsaken til denne økningen i trykk er ukjent.

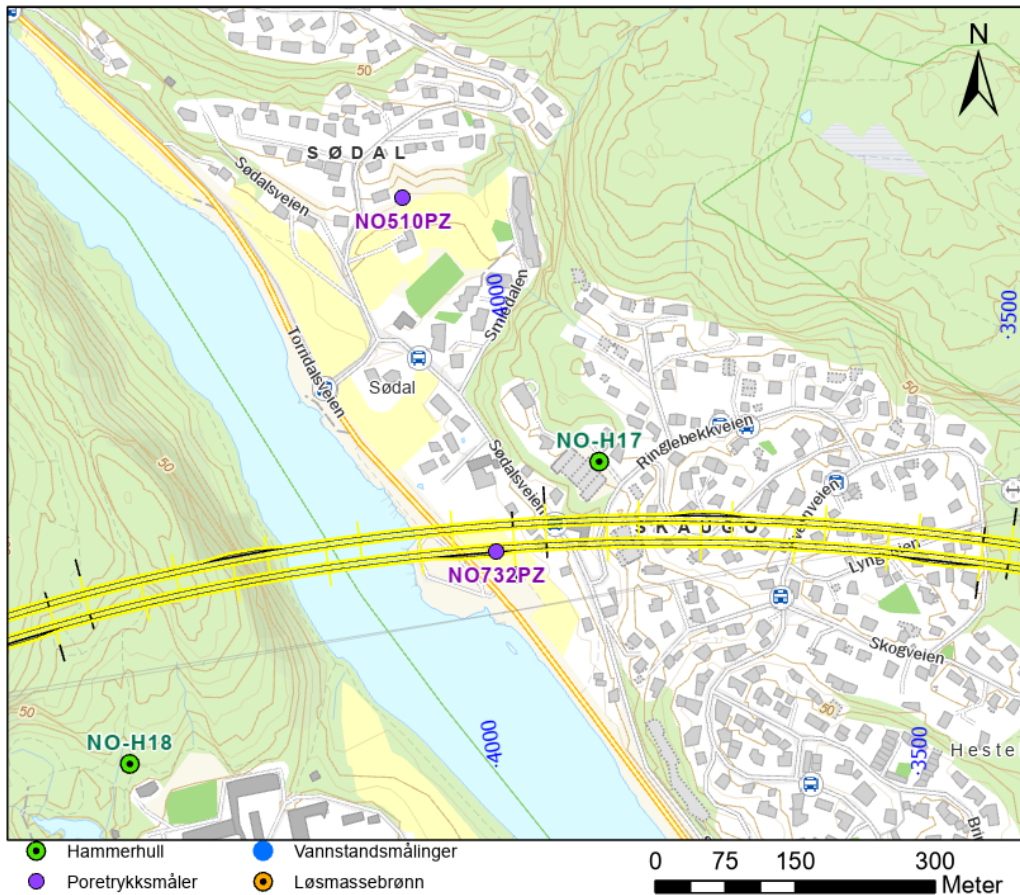
Ved Kokeheia vest for UiA (NO-H12) varierer grunnvannstrykket mellom kote +35,9 til +33,3, som tilsvarer rundt 1,6-4,2 m under terreng. Vannstanden viser årstidsvariasjoner og respons på nedbør tilsvarende NO-H04 og stasjonene i Bjørndalen.



Figur 3-27: Detaljkart med plassering av overvåkningsstasjoner ved universitetet i Agder (UiA) og vestover mot Otra. Planlagt tunneltrase ligger nord for det som vises i utsnittet.

### 3.4.3 Sødal

Plassering av overvåkingsstasjonene ved Sødal er vist på detaljkart i Figur 3-28. Tidsserier over grunnvannets trykkhøyde i hammerhull og poretrykksmålere (dypeste sensor) ved Sødal er vist på Figur 3-29. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.

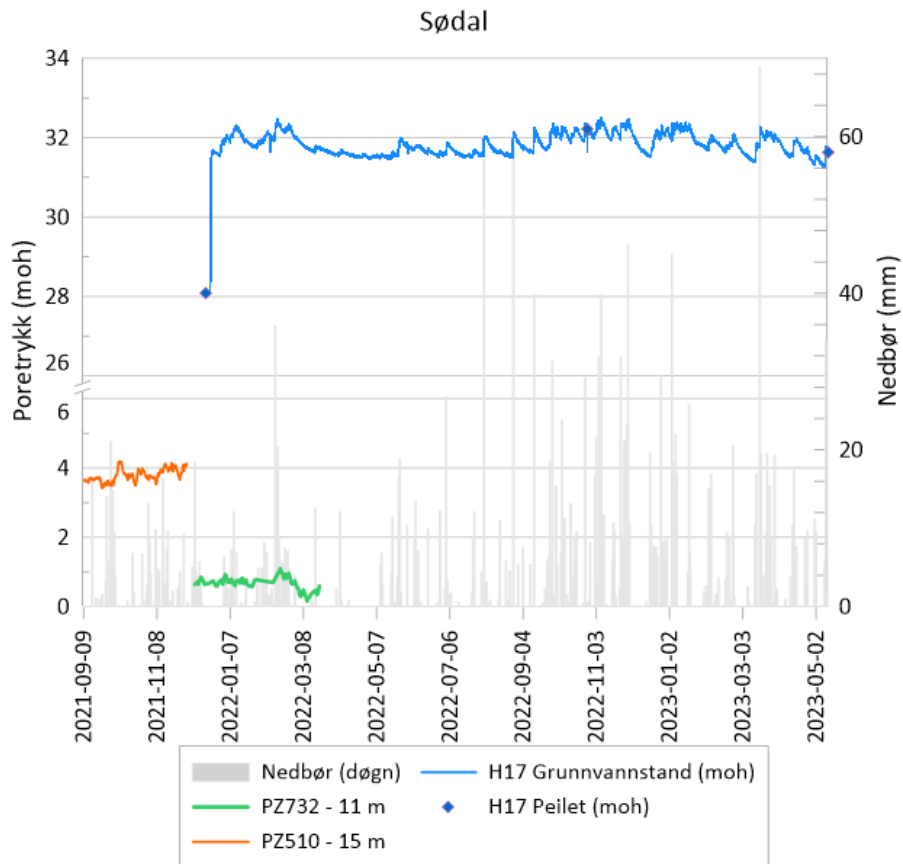


Figur 3-28: Detaljkart med plassering av overvåkingsstasjoner og planlagt tunneltrase ved Sødal.

I hammerhull NO-H17 er det artesisk trykk som varierer rundt kote +32, som tilsvarer 5 m over brønntopp. Det er installert tett kollektorlokk, men det forekommer litt lekkasje gjennom lokket. Når lokket tas av fosser det vann opp av hullet. Grunnvannstrykket viser årstidsvariasjoner og respons på nedbør.

I poretrykksmåler NO732PZ som står nær Otra, øker grunnvannstrykket noe mot dypet (ca. 0,4 m forskjell mellom sensor på 5 m dybde og 11 m dybde). Grunnvannstrykket i dypeste sensor antas å gjenspeile grunnvannstrykket i underliggende berg, varierer mellom kote +1,1 til +0,1, som tilsvarer rundt 1,2-2,1 m under terreng. Poretrykket i begge sensorene varierer som følge av tidevann/variasjoner i Otra.

I poretrykksmåler NO510PZ er det markant lavere poretrykkshøyde mot dypet. Sensor på 6,5 m dyp har poretrykkshøyde på rundt kote +10,3 til +11, mens sensor på 11 m dyp har poretrykkshøyde på kote +3,8 til +4,2.

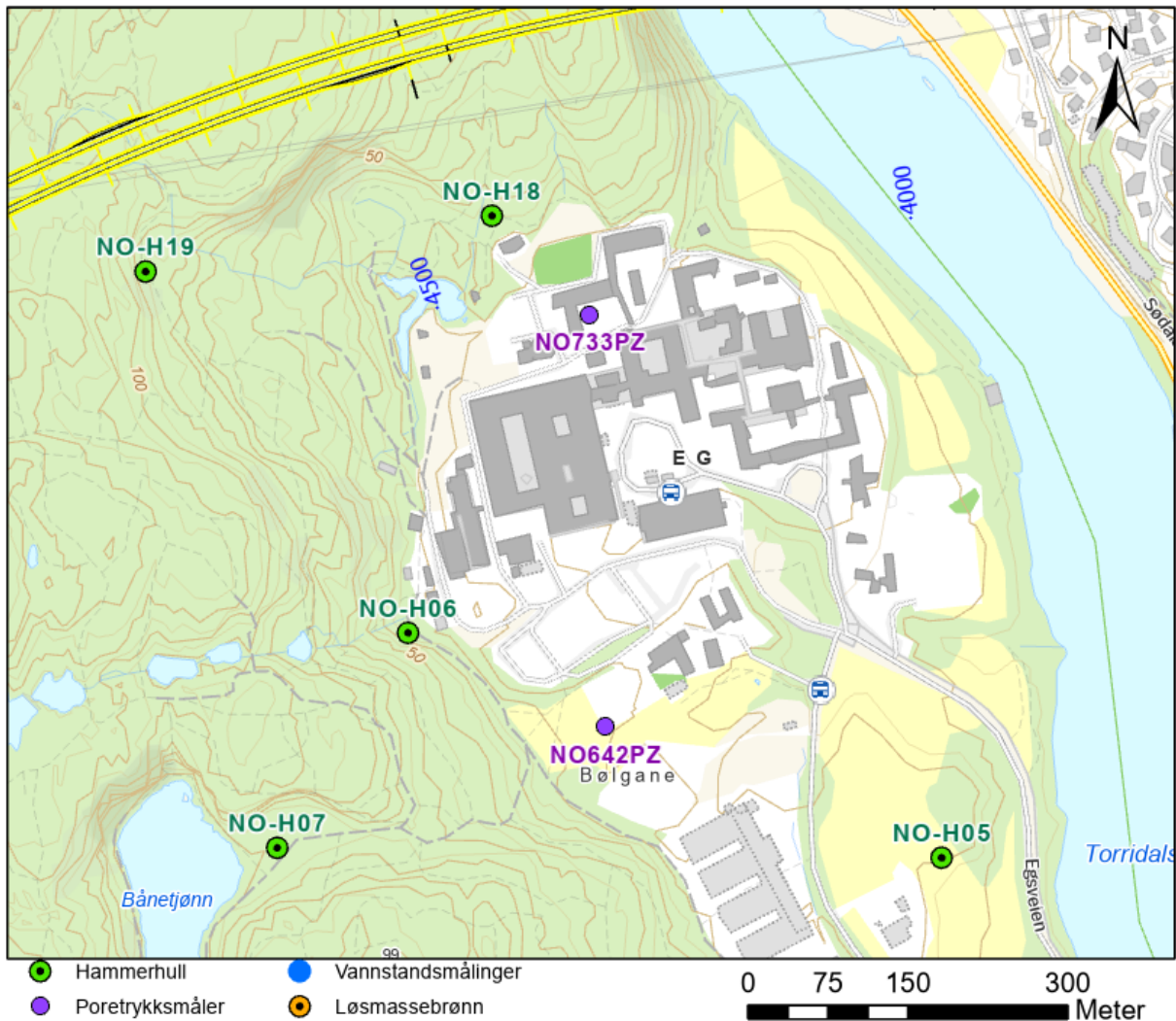


Figur 3-29: Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og poretrykksmålere (dypeste sensor i overgang til berg) ved Sødal.



### 3.4.4 Eg

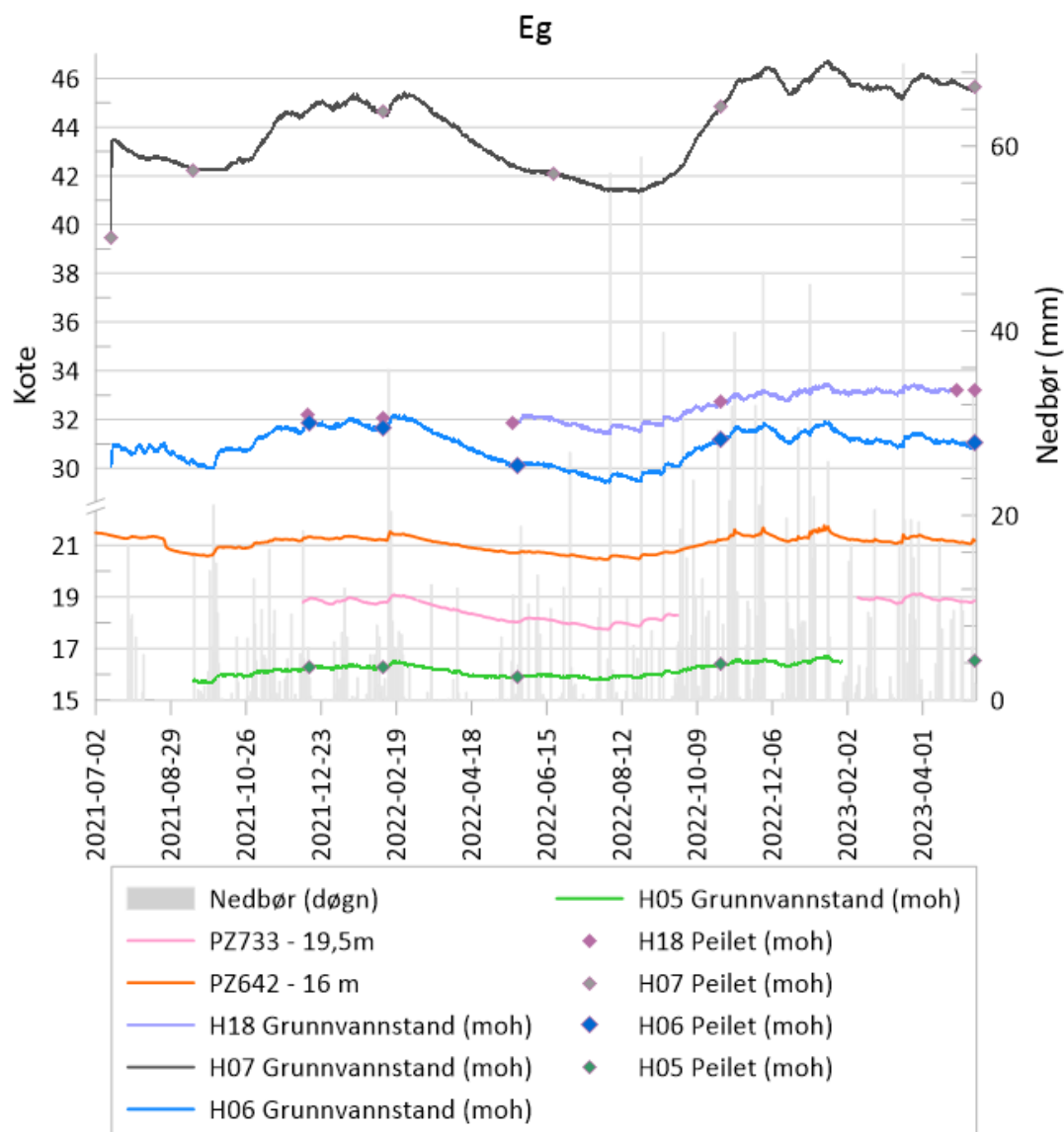
Plassering av overvåkingsstasjonene ved Eg er vist på detaljkart i Figur 3-28. Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og poretrykksmålere (dypeste sensor) ved Eg er vist på Figur 3-29. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.



Figur 3-30: Detaljkart med plassering av overvåkingsstasjoner og planlagt tunneltrase ved Eg.

Grunnvannsmålingene viser at grunnvannstand ved Bånetjønn (NO-H07) varierer mellom kote +46,7 og +39,5, som tilsvarer 15-22,2 m under brønntopp. Grunnvannsnivå er også vesentlig lavere enn vannstanden i Bånetjønn på ca. kote +57,5. Det sees tydelig årstidsvariasjoner, med laveste grunnvannsnivå i mai til september, samt mindre variasjoner som følge av nedbør.

Merk at laveste grunnvannstand i NO-H07 er usikker fordi grunnvannstand sensoren var tørrlagt mellom 14. september og 10. oktober 2021. Sensor ble da senket dypere ned i brønnen. Det forventes likevel at vannstanden var lavere enn det som er målt i august 2022, som er det laveste målte i øvrige målepunkter i området.



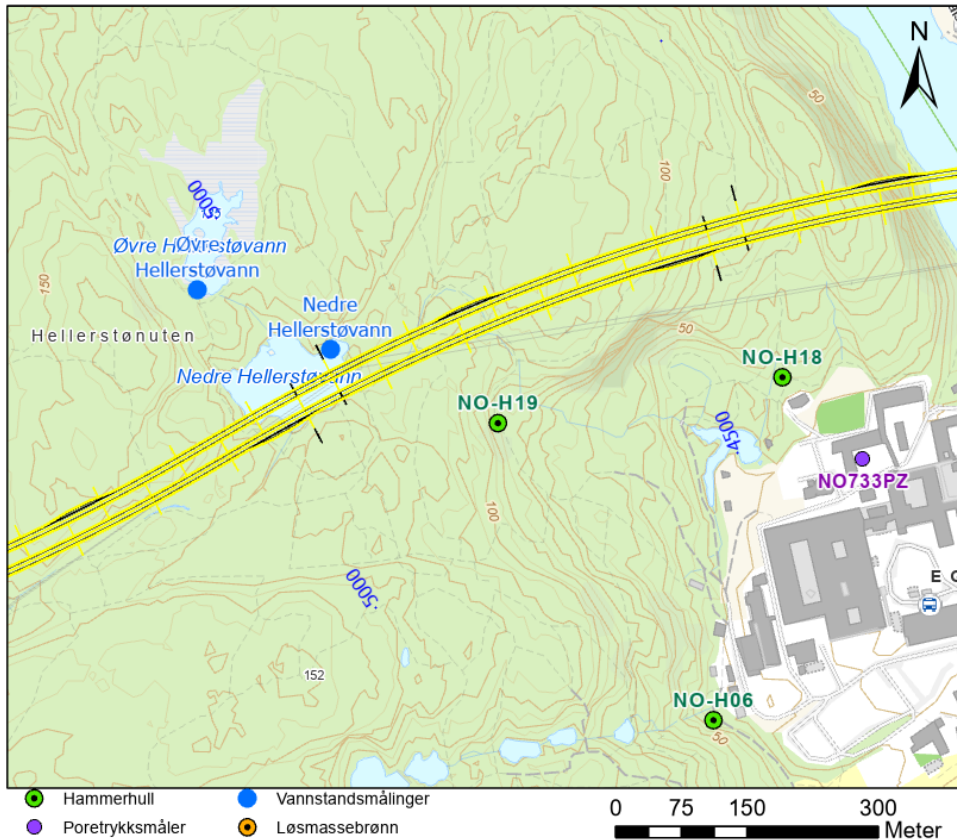
Figur 3-31: Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og poretrykksmålere ved Eg. Merk brytning på vertikalaksen.

Vest og nord på Eg (NO-H06 og NO-H18) varierer grunnvannsnivå med rundt 2-3 m omkring kote +31 til +32,5, som tilsvarer rundt 3-6 m under brønntopp. Grunnvannsnivå følger samme trend som NO-H07 med årstidsvariasjoner, og enda tydeligere respons på nedbør.

Poretrykksmålerne på Eg (NO642PZ og NO733PZ) viser at poretrykkets trykkehøyde avtar ned mot berg (se Vedlegg 3). Syd for sykehuset er grunnvannstrykket i dypeste sensor 4,5-5,8 m under terreng (tilsvarer kote +20,5 til +21,8), mens nord for sykehuset er grunnvannstrykket i dypeste sensor 1,6-2,9 meter under terreng (tilsvarer kote +19,1 til +17,7). De samme årstidsvariasjonene og respons på nedbør sees i poretrykksmålerne og i NO-H05, som i de øvrige hammerhullene, men i mindre omfang. Grunnvannsnivået synker fra vest mot øst, og i NO-H05 varierer grunnvannstrykket mellom kote +15,6 og +16,7, som tilsvarer 6,3-5,2 m under terreng.

### 3.4.5 Hellerstøvann

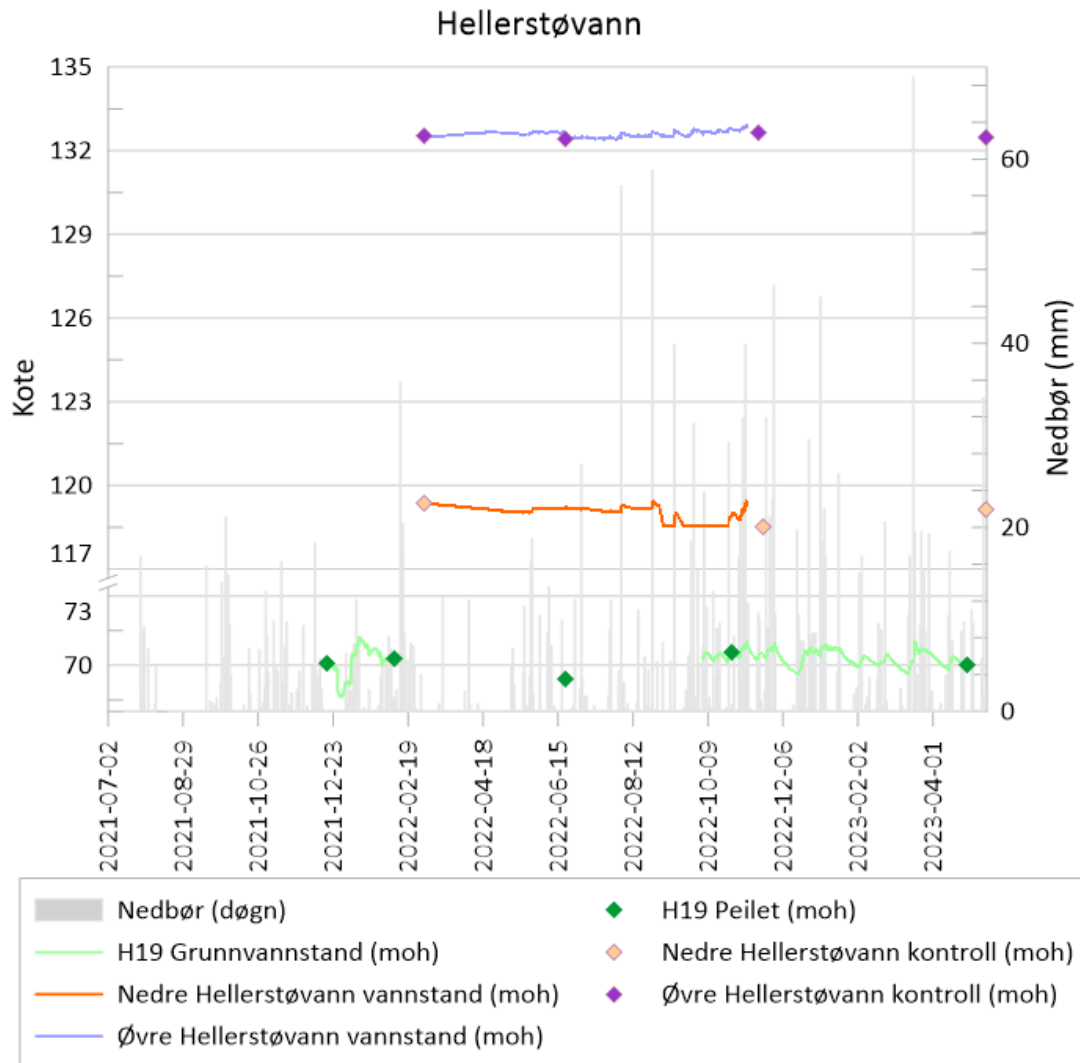
Plassering av overvåkingsstasjonene ved Hellerstøvann i Bymarka er vist på detaljkart i Figur 3-32. Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og vannstand i Øvre Hellerstøvann (tidligere regulert) og Nedre Hellerstøvann (regulert) er vist på Figur 3-33. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.



Figur 3-32: Detaljkart med plassering av overvåkingsstasjoner og planlagt tunneltrase ved Hellerstøvann.

Vannstanden i Øvre Hellerstøvann (tidligere regulert) varierer med rundt 0,5 m omkring kote +132,5, mens i Nedre Hellerstøvann (regulert) er det rundt 1 m variasjon omkring kote +119. Det sees spisse topper i forbindelse med nedbør, spesielt i Øvre Hellerstøvann (se Vedlegg 3).

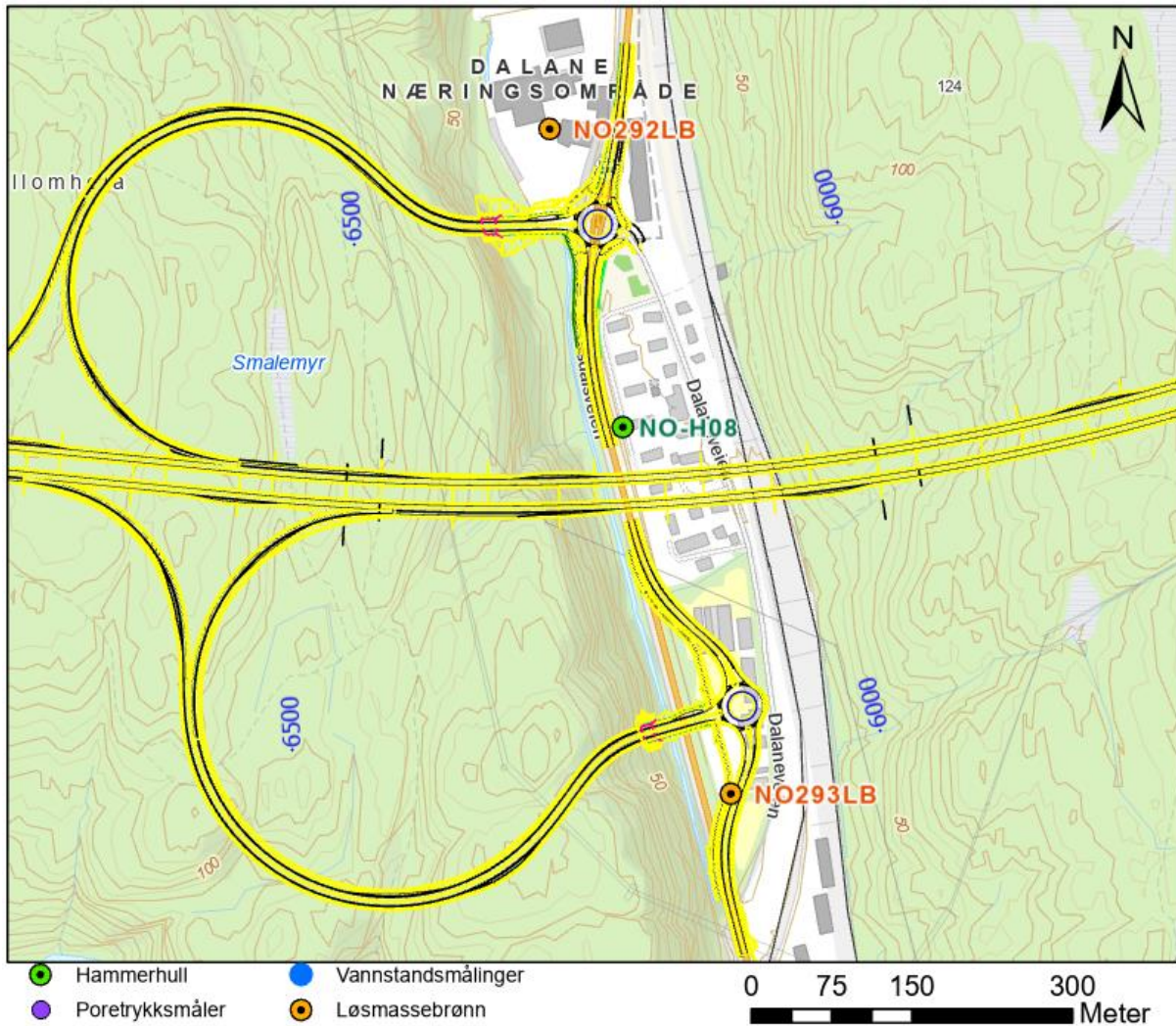
Grunnvannstrykket i berg sørvest for vannene varierer fra kote +68,6 til +71,2, som tilsvarer 19,8-17,2 m under brønntopp. Det er også tydelig respons på nedbør i grunnvannstrykket. Overvåkingsdataene for NO-H19 er ikke sammenhengende, men en manuell peiling viser laveste trykk sommeren 2020.



Figur 3-33: Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull sydvest for Hellerstøvann, samt vannstand i Øvre Hellerstøvann (tidligere regulert) og Nedre Hellerstøvann (regulert). Merk brytning på vertikalaksen.

### 3.4.6 Dalane

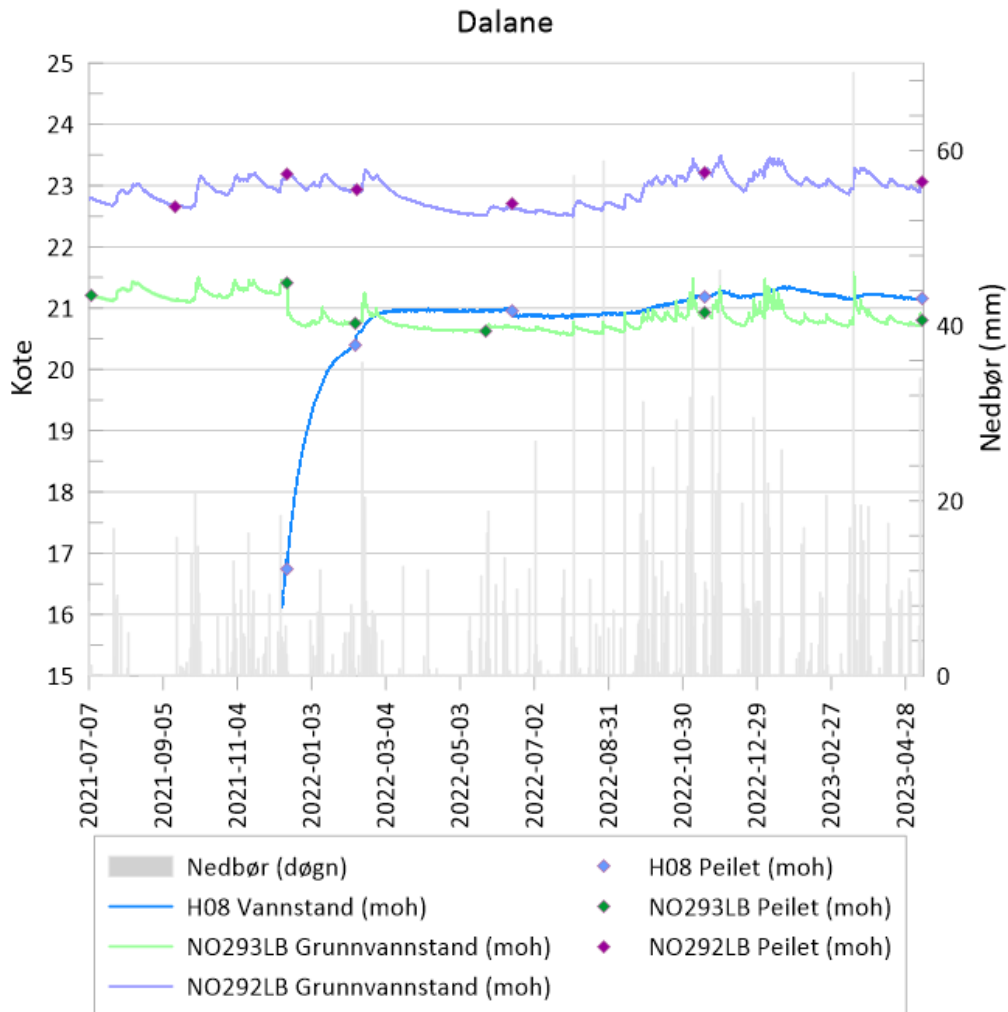
Plassering av overvåkingsstasjonene i Dalane er vist på detaljkart i Figur 3-34. Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og løsmassebrønner i Dalane er vist på Figur 3-35. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.



Figur 3-34: Detaljkart med plassering av overvåkingsstasjoner og planlagt tunneltrase i Dalane.

Grunnvannsstand i løsmassebrønnene i Dalane varierer med ca. 1 m omkring hhv. kote +23 i (NO292LB) og kote +21 (i NO293LB), som tilsvarer 2-3 m under terreng (brønntopp ligger i kum i flukt med terreng).

Det tok flere måneder før grunnvannstrykket i hammerhull NO-H08 hadde stabilisere seg etter boring. Grunnvannsnivå ligger omtrent på nivå med løsmassebrønn NO293LB på kote +21. Det er mindre variasjon i grunnvannstrykket i berg enn i løsmasser.



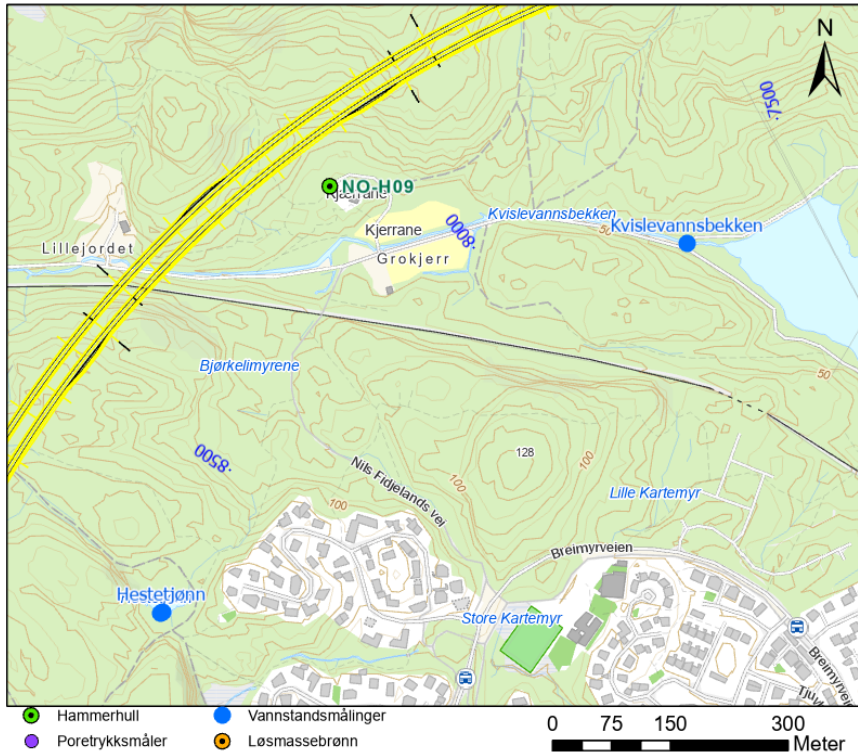
Figur 3-35: Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og løsmassebrønner i Dalane.

### 3.4.7 Kjerrane

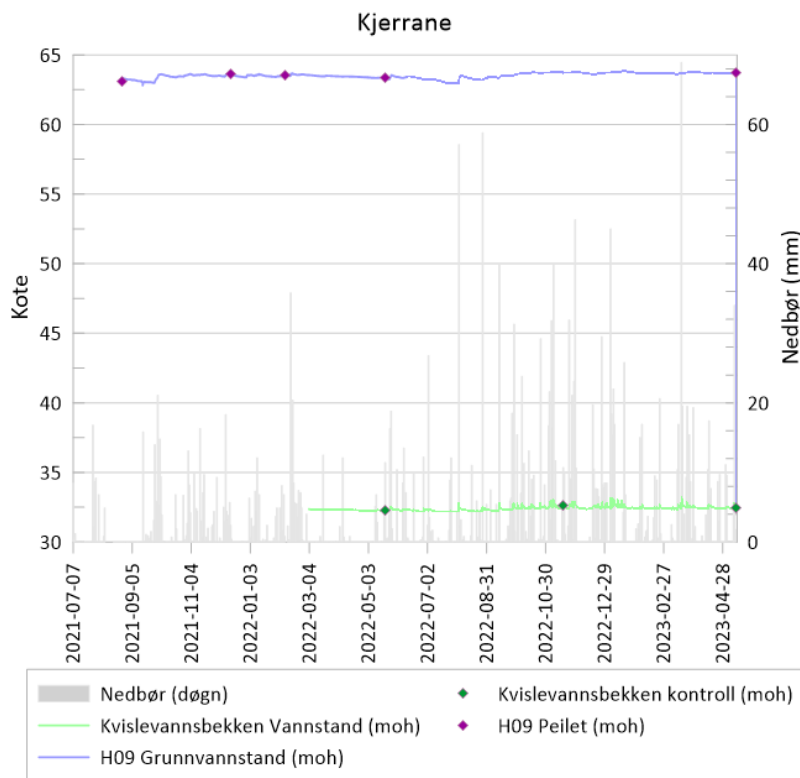
Plassering av overvåkingsstasjonene i Kjerrane er vist på detaljkart i Figur 3-36. Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og vannstand i Kvislevannsbekken er vist på Figur 3-37. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.

Grunnvannsnivå i hammerhull NO-H09 varierer med 1 m omkring kote +63,5, som tilsvarer 4 m under brønntopp. Det sees respons ved nedbør (se Vedlegg 3), og laveste grunnvannsnivå er målt i august 2022, men ellers er det ikke like tydelig trend for årstidsvariasjoner som øvrige brønner langs planområdet.

Vannstanden i Kvislevannsbekken ligger på omkring kote +32,5 og viser spisse topper i forbindelse med nedbørshendelser (se Vedlegg 3).



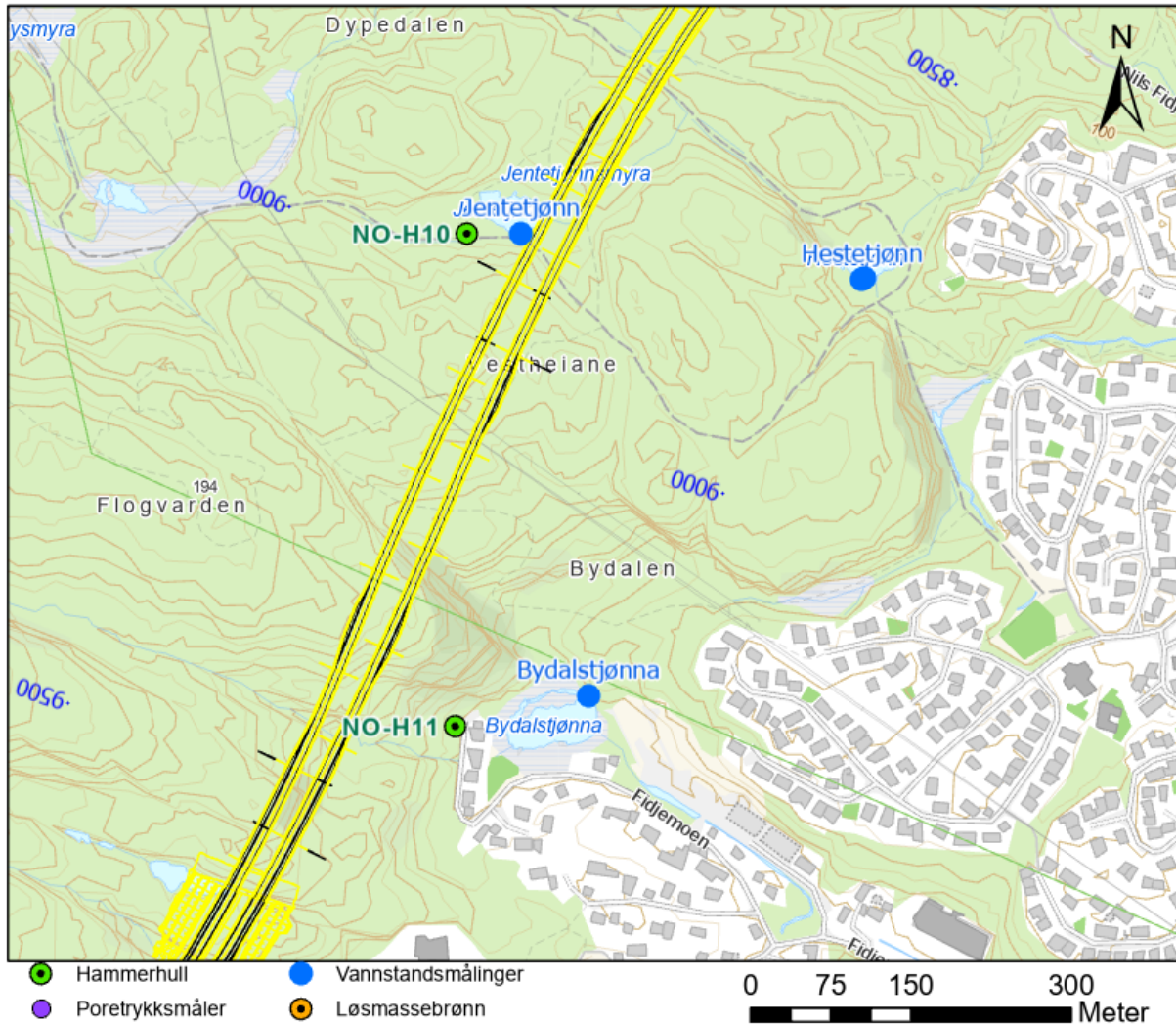
Figur 3-36: Detaljkart med plassering av overvåkingsstasjoner og planlagt tunneltrase i Kjerrane.



Figur 3-37: Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull i Kjerrane, samt vannstand i Kvislevannsbekken.

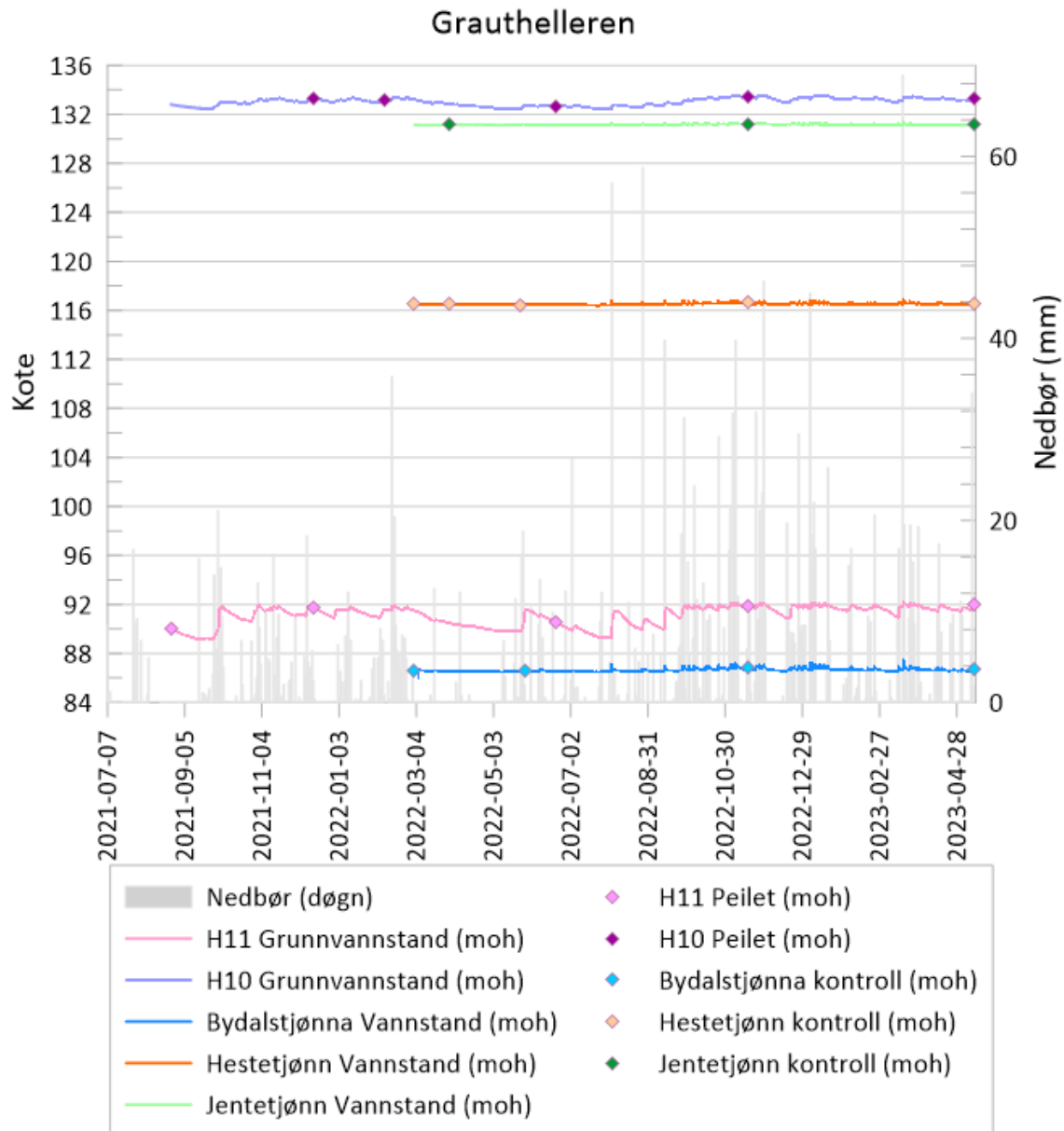
### 3.4.8 Grauthelleren

Plassering av overvåkingsstasjonene mellom Kjerrane og Grauthelleren er vist på detaljkart i Figur 3-38. Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og vannstand i tjern er vist på Figur 3-39. Tidsserier over enkeltmålere er vist i Vedlegg 3.



Figur 3-38: Detaljkart med plassering av overvåkingsstasjoner og planlagt tunneltrase mellom Kjerrane og Grauthelleren.





Figur 3-39: Tidsserier over grunnvannets trykkehøyde i hammerhull og vannstand i tjern mellom Kjerrane og Grauthelleren.

Grunnvannsnivå i NO-H10, som står nær Jentetjønn, viser et grunnvannstrykk som varierer med rundt 1 m omkring kote +133. Grunnvannstrykket er artesisk, men vannstand står som regel under eller nær toppen av foringsrøret (brønntopp står over terreng).

Vannstanden i Jentetjønn ligger noe lavere og varierer med rundt 0,3 m omkring kote +131,6. Både grunnvannsnivå og vannstand i tjernet viser rask respons ved nedbør (se Vedlegg 3). I grunnvannsnivå er det i tillegg tydelig årstidsvariasjoner, tilsvarende hammerhull ved Hellerstø, Eg og Bjørndalen, med laveste vannstand i mai-september.

Vannstanden i Hestetjønn varierer med ca. 0,5 m omkring kote +116,5, og viser spisse toppe i forbindelse med nedbør.

Ved Bydalstjønn (NO-H11) fluktuerer grunnvannstanden med 3 m omkring kote +91,1, som tilsvarer 1,4 m under brønntopp. Grunnvannstanden viser rask og markant stigning i forbindelse med nedbør. Det sees årstidsvariasjoner med laveste grunnvannsnivå i mai-september som for de fleste hammerhull i planområdet, men motsetning til øvrige målepunkter er variasjonene som følge av nedbør større enn årstidsvariasjoner i NO-H11 (se Vedlegg 3).

Vannstanden i Bydalstjønn varierer med 1,4 m omkring kote +86,6, altså lavere enn grunnvannstand i NO-H11, og viser rask respons ved nedbør.

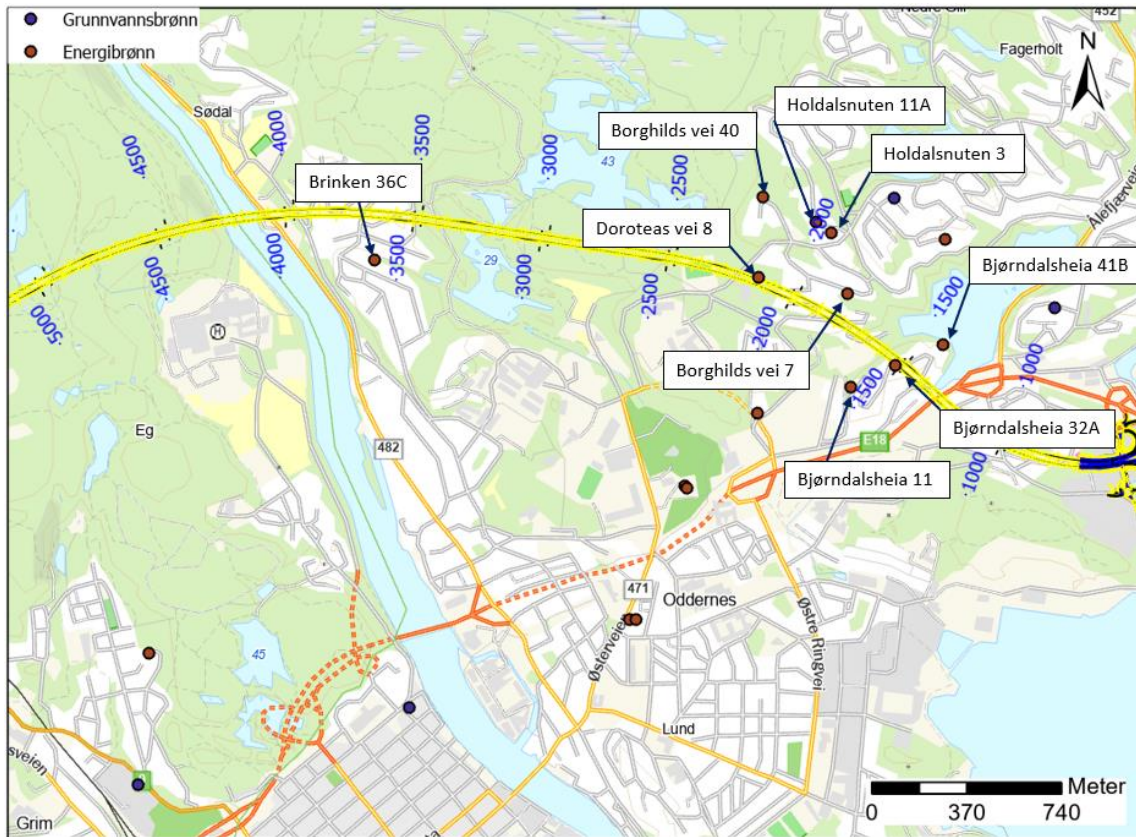
### 3.5 Registrering av eksisterende brønner

Kartlegging av eksisterende brønner i tunnelens nærområde er basert på NGU's grunnvannsdatabase og høringsinnspill. Det kan eksistere flere brønner enn det som fremgår her. Det anbefales å utføre en ytterligere kartlegging av energi- og grunnvannsbrønner i tunnelens område før anleggsstart.

Opp til 300 m fra tunnelen er det i NGU's grunnvannsdatabase GRANADA registrert to energibrønner [26]. De ligger ca. 150 og 300 m unna tunnelen i henholdsvis Bjørndalsheia 41B og Borghilds vei 40. Gjennom høringsuttalelser er det meldt inn syv private energibrønner som ikke inngår i grunnvannsdaten. Figur 3-40 gir oversikt over registrerte brønner. Tabell 3-13 lister avstand fra tunnel til private energibrønner.

Statsbygg har i høringsuttalelse [27] presisert at det på sikt kan være aktuelt å etablere energibrønner på campus i Kristiansand ved Universitetet i Agder (UiA).

Brønner som ligger i direkte konflikt med tunneltraseen (anslagsvis <50 m fra tunnel) må tettes før anleggsstart, for å unngå utgang av injeksjonsmasse via brønnene til terreng. Brønner som ikke blir direkte påvirket av injeksjonsmasse kan også bli negativt påvirket av tunnelanlegget som følge av senkning i grunnvannsnivå.



Figur 3-40: Grunnvannsbrønner og energibrønner nær tunneltraséen. Data er hentet fra NGU's database GANADA og supplert med brønner meldt inn med høringsuttalelser.

Tabell 3-13: Seks energibrønner ligger innenfor en buffersone på 300 m fra tunnel.

Brønntype	Plassering	Avstand til tunneltrasé
Energibrønn	Bjørndalsheia 32A	0 m
Energibrønn	Doroteas vei 8	0 m
Energibrønn	Borghilds vei 7	90 m
Energibrønn	Bjørndalsheia 41B	150 m
Energibrønn	Brinken 36C	160 m
Energibrønn	Bjørndalsheia 11	170 m
Energibrønn	Holdalsnuten 3	270 m
Energibrønn	Holdalsnuten 11A	280 m
Energibrønn	Borghilds vei 40	300 m

### 3.6 Registrering av kulturminner

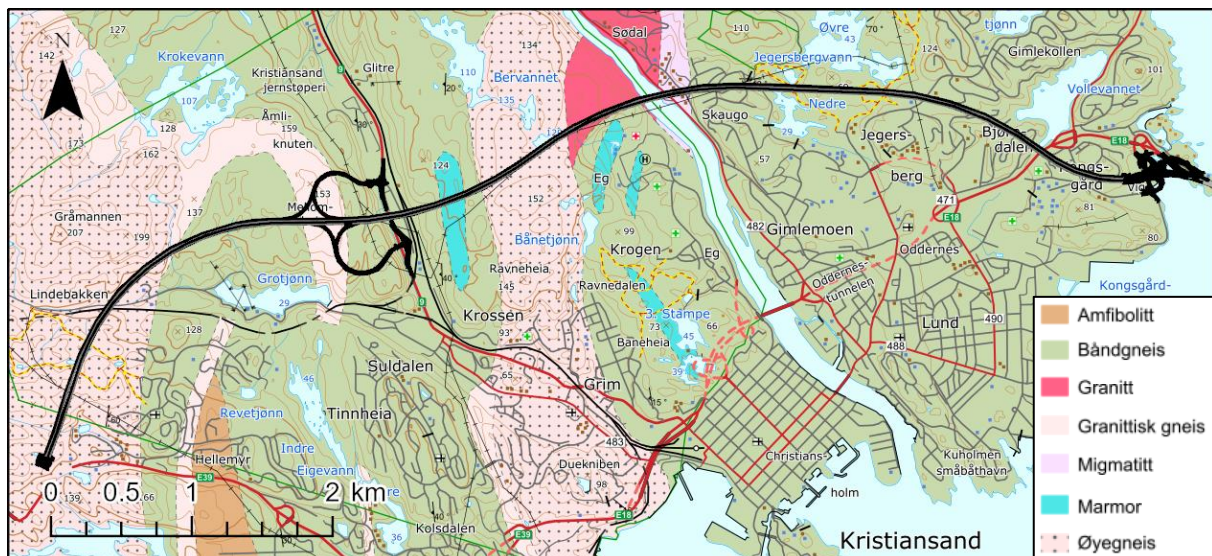
I rapport for Ikke prissatte konsekvenser [4] er kulturminner innenfor en buffersone på 300 m fra tunnelen registrert. Enkelte typer kulturminner vil være utsatt for forringelse dersom grunnvannstanden synker. Slike kulturminner vil være kulturlag, bygninger som blir utsatt for setningsskader og demninger i vann som er påvirket av grunnvann. En vurdering av registrerte kulturminner er gitt i kapittel 5.4.

## 4 Geologi, hydrogeologi og setningsfare

Tolkning av de geologiske og hydrogeologiske forholdene i berggrunnen er basert på resultater fra borehullslogging, grunnvannsovervåkning, vanntapsmålinger og observasjoner under brønnboring. Denne rapporten belyser i hovedsak de hydrogeologiske forholdene som fremgår av undersøkelsene. Geologiske forhold som for eksempel bergartsinndeling er i denne rapporten gjengitt i kun korte trekk. For flere detaljer vedrørende geologiske/ingeniørgeologiske forhold henvises det til Ingeniørgeologisk fagrapport [18].

### 4.1 Berggrunnsgeologi

Prosjektet ligger innenfor grunnfjellsområdet i Sør-Norge. Dette domineres av prekambriske bergarter som granitt og gneis. NGUs berggrunnskart [28] over området (kartleggingsmålestokk 1:250 000) er vist i figur 4-1.

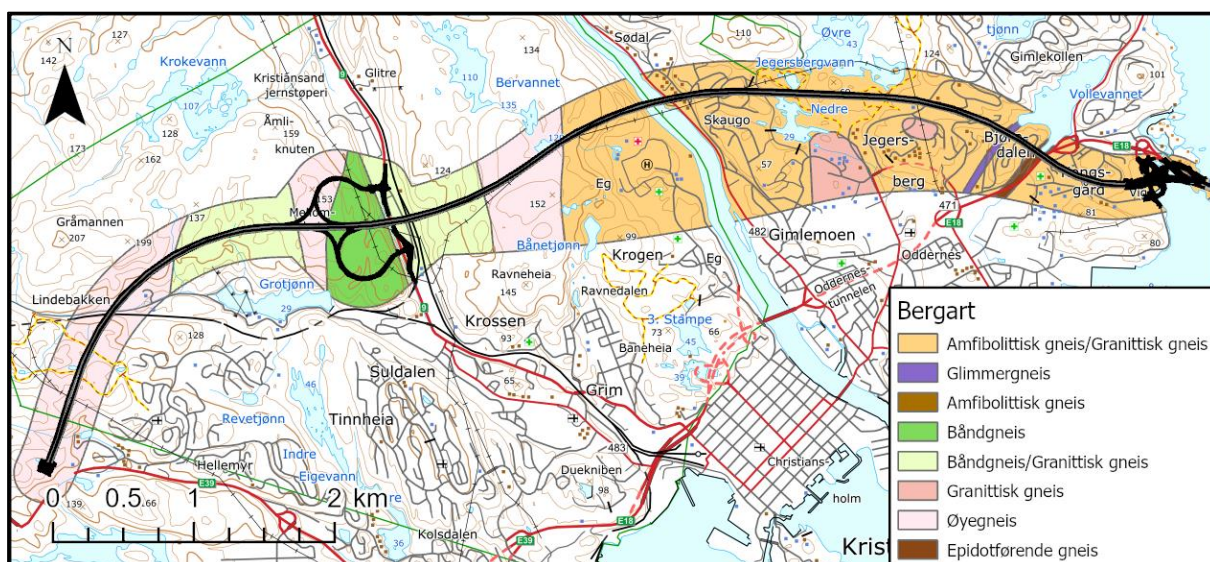


Figur 4-1: Berggrunnskart fra NGU (kartleggingsmålestokk 1:250 000), hentet fra [28].

I området finnes det ifølge NGU bergarter som øyegneis, båndgneis, pegmatitt, migmatitt, kvartsitt, glimmergneis, granittisk gneis og marmor. Hoveddelen av tunnelen vil gå gjennom forskjellige typer gneiser. Gneisene har en varierende sammensetning, typisk amfibolittisk eller granittisk. Båndgneis og øyegneis er vanlig. I tillegg er det registrert innslag av pegmatitt. Pegmatittlinjene har en typisk størrelse på cm- til meter-skala.

NGU-kartet over området viser at det finnes linser av marmor direkte over og nært tunneltraseen, for eksempel i Bymarka. Det er ikke registrert marmor under ingeniørgeologisk befaring [18]. På grunn av målestokken på NGU-kartet (1:250 000), vil størrelsen på disse forekomstene være overdrevet. Nyere kartlegging av NGU nær prosjektområdet har påvist slike soner med typisk mektighet 3–4 m. Det kan ikke utelukkes at det kan påtreffes mindre linser av marmor på tunnelnivå.

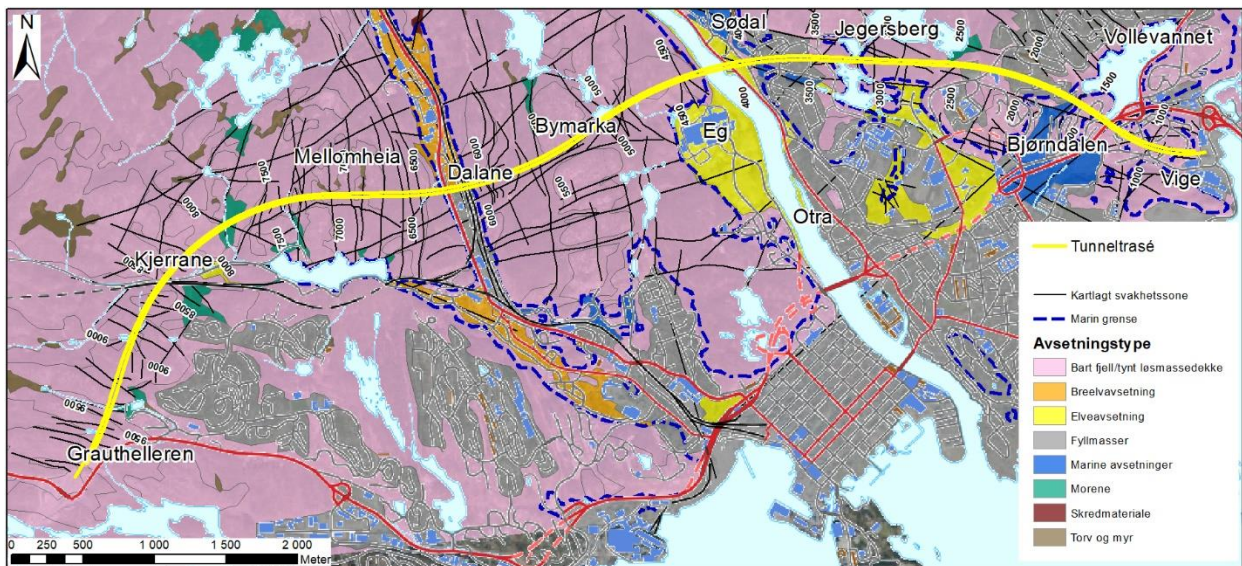
Registreringer av bergarter i forbindelse med feltkartlegging stemmer bare til en viss grad med registreringene på NGUs berggrunnskart [18]. Typisk veksler det mellom båndgneis, pegmatitt og granittisk/amfibolittisk gneis over korte avstander, dette er ikke mulig å representere på kart med målestokk 1:250 000. Et modifisert berggrunnskart basert på en detaljert kartlegging over tunneltraseen er vist i figur 4-2. Bergartene er i dette kartet ikke inndelt på samme måte som på NGUs kart. På grunn av hyppige vekslinger mellom ulike gneistyper, er det delt inn i områder basert på hvilke bergarter som er mest representert. Bergartsgrensene på kartet representerer derfor ikke nødvendigvis skarpe overganger, men en endring i mengdeforholdet av de ulike gneistypene. Det eneste unntaket fra dette er grensen mellom øyegneis og granittisk gneis/båndgneis i Bymarka (profil 5 600). Denne sammenfaller med en forventet svakhetssone og et gjennomgående søkk i terrenget. Geologien i dette området er vekslende, men hovedsakelig karakterisert av amfibolittisk/granittisk gneis med innslag av epidotførende gneis og glimmergneis. Det er observert partier med høyt kvartsinnhold. Det er registrert varierende sprekkeorientering langs hele traseen. Svakhetssonene er i hovedsak vurdert til å være steile, med enkelte unntak. Dette er ikke verifisert med grunnundersøkelser i de fleste tilfeller.



Figur 4-2: Berggrunnskart basert på detaljert ingeniørgeologisk kartlegging over tunneltraseen [18].

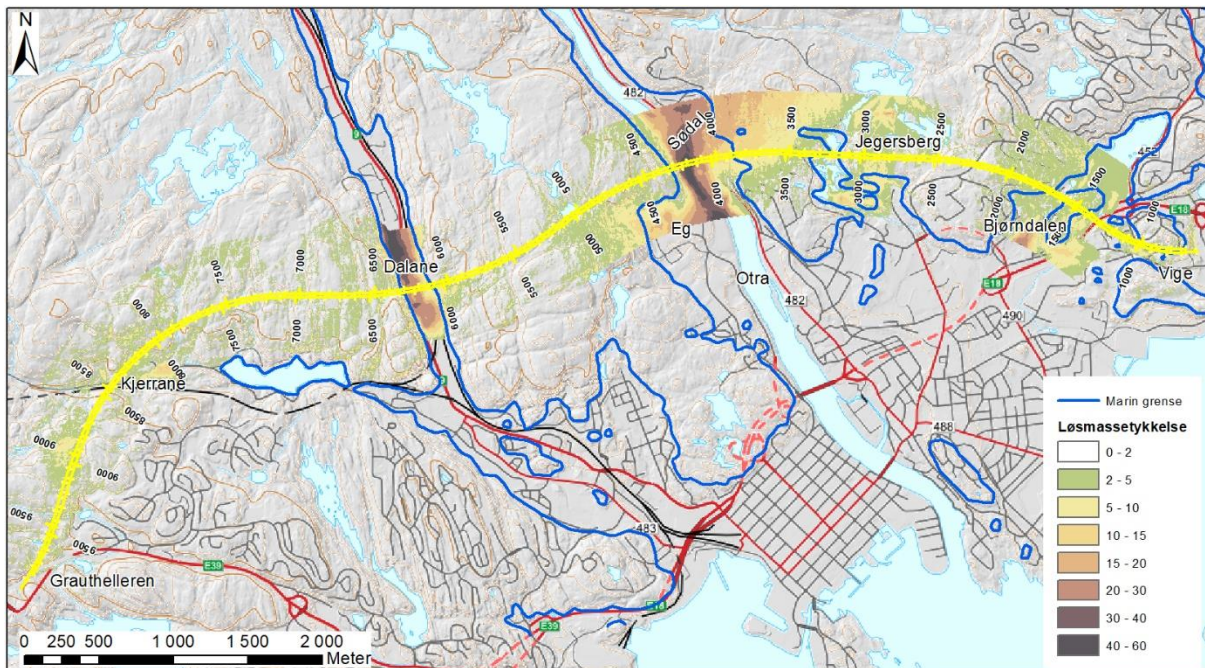
#### 4.2 Kvartærgeologi og løsmasser

Figur 4-3 viser et utsnitt fra NGUs kvartærgeologiske kart som gir en grov oversikt over kvartærgeologiske avsetninger i området. Kartet viser hvilke løsmasser som ligger øverst, og gir ikke direkte informasjon om løsmassene i dypet. Løsmassefordelingen i området preges av at østre deler av tiltaksområdet hovedsakelig ligger under eller nær marin grense, mens vestre del av tiltaksområdet ligger over marin grense (figur 4-3). Under marin grense varierer avsetningstypene mellom fyllmasser, marin leire, elveavsetninger og breelavsetninger. Selv om det er kartlagt breelavsetninger i Dalane, elveavsetninger ved Eg og fyllmasser i tettbygde strøk, er det forventet at det ligger marine avsetninger under. Over marin grense er løsmassedekket generelt tynt.



Figur 4-3: Løsmassekart og maringrense ved tunneltrasé. Kartdata er hentet fra NGU's løsmassekart (1:50 000) [29].

Kartlagt løsmasseykkelse basert på grunnundersøkelser langs traseen er vist i figur 4-4. Dette viser at det er kartlagt tykke løsmasseavsetninger under marin grense ved Dalane, Eg og Bjørndalen. I Dalane viser geotekniske grunnundersøkelser veksling mellom sand og silt. Ved boring av NO-H08 ble det kartlagt ca. 30 m med sand og silt over et morenelag over berg. Ved Eg, Otra og i Bjørndalen viser grunnundersøkelsene leire, til dels tykke leiravsetninger. Det er også leiravsetninger på Sødal, men avsetningen inneholder flere lag med silt og sand. Løsmasseforholdene langs traseen er nærmere beskrevet i tabell 4-1. For detaljer om geotekniske grunnundersøkelser og geotekniske egenskaper henvises det til Geoteknisk datarapport [19] og Geoteknisk fagrapport [3].

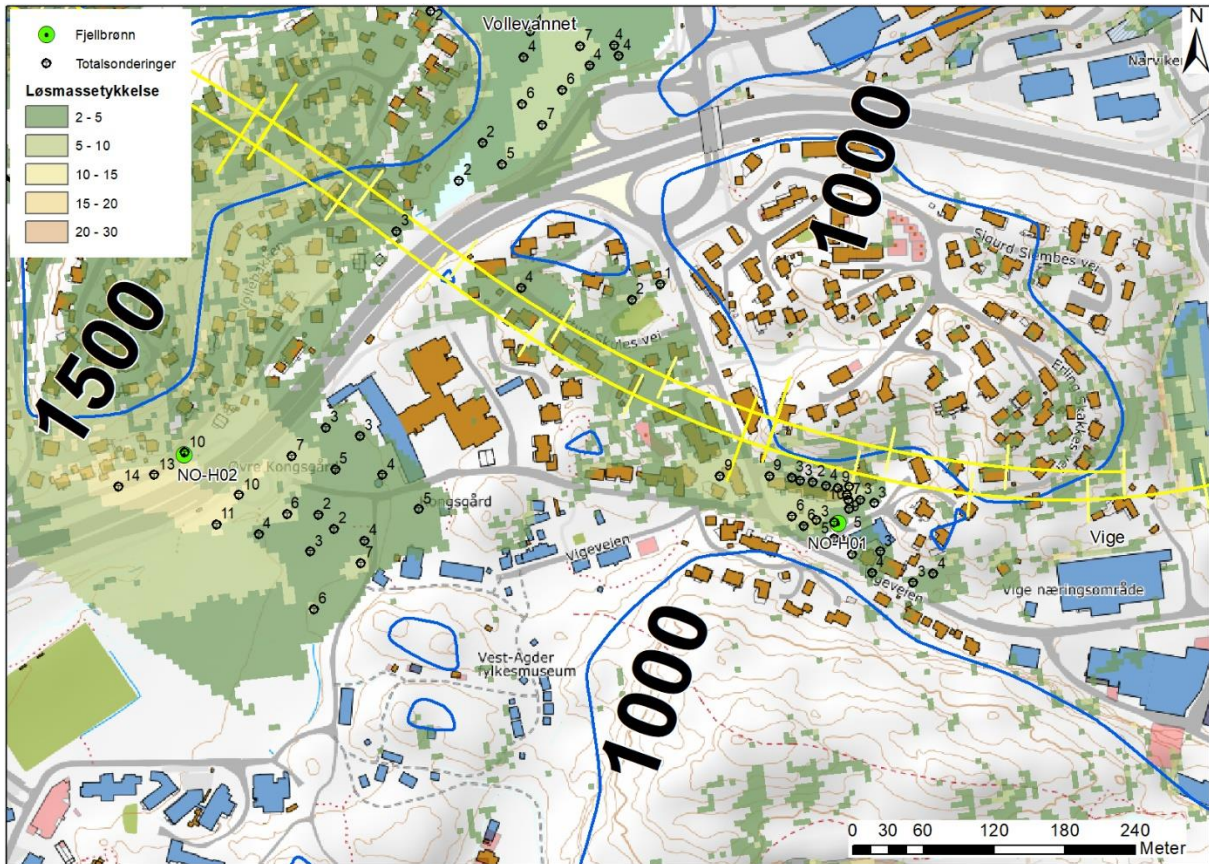


Figur 4-4: Oversikt over løsmassetykkelse langs traseen. Tunneltraseen er vist i gult. Løsmassetykkelse er basert på bergmodell som strekker seg 400 m ut fra traseen. Modellen er basert på totalsonderinger [18].

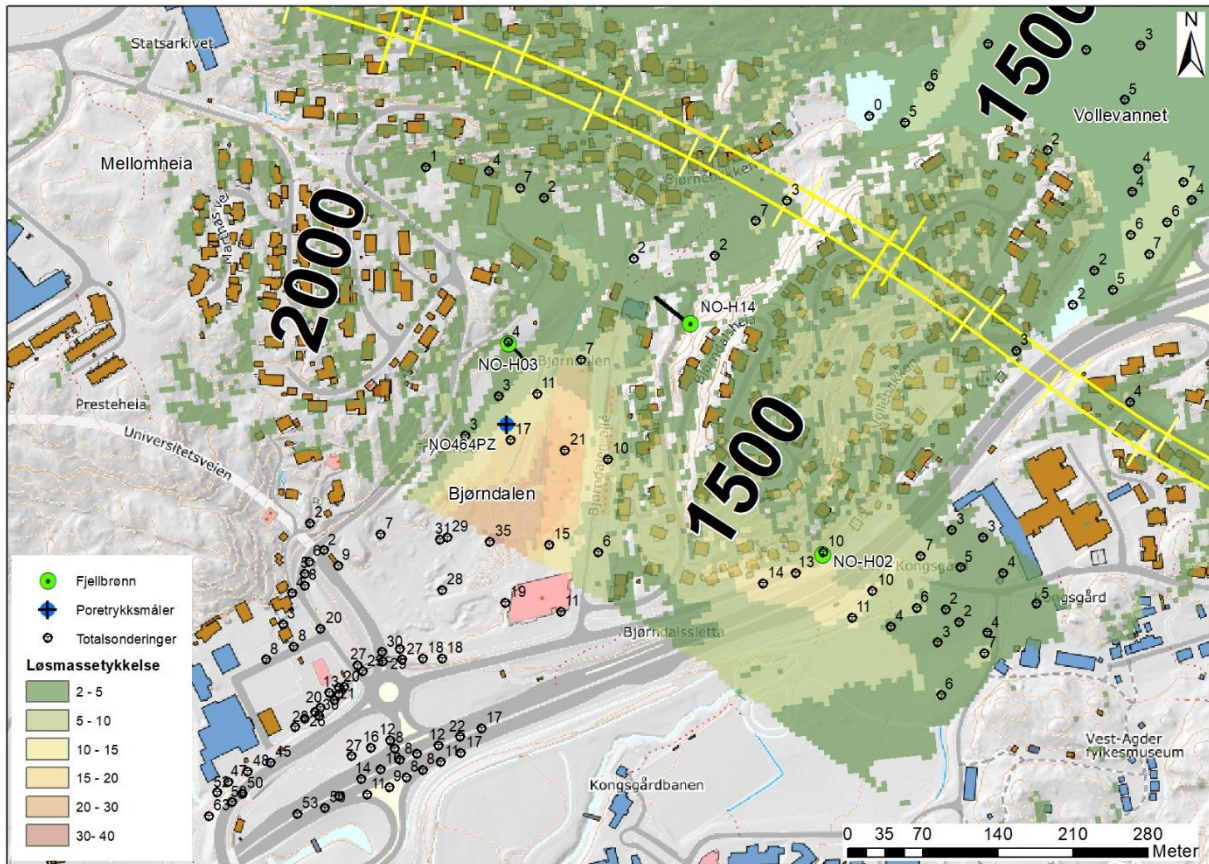
Tabell 4-1: Oversikt over løsmasseforhold langs tunneltraseen.

Profil fra	Profil til	Løsmasseforhold
714	1 500	Ved Vige er det fyllmasser og noen marine avsetninger i lokale forsenkninger i berggrunnen, og ellers berg i dagen og tynt løsmassedekke (figur 4-5).
1 500	2 000	Marine avsetninger rett sør for traseen består av tørrskorpeleire opp til 7 m tykkelse som er ikke setningsømfintlige. Ca. 170 m sør for traseen ligger tykkere leiravsetninger i Bjørndalen. Leiravsetningene er svært bløte og til dels kvikke [30]. Disse ligger i en dyprenne rettet nord-nordøst til sør-sørvest. De største mektighetene på 35 m opptrer i midten og avsetningene tynner ut mot sidene (figur 4-6).
2 000	3 700	Mellom Bjørndalen og Sødal ligger terrenget over traseen over marin grense, det er hovedsakelig bart fjell og tynt løsmassedekke. Det er stedvis noe leire i områder, men lite bebyggelse.
3 800	4 100	Ved Sødal viser kvartærgeologisk kart elveavsetninger. Grunnundersøkelsene viser silt og sand i veksling med leire ned mot berg. Det er noe kvikkeleire i området. Leirlaget fortsetter under Otra, og videre til Eg [31] [19]. Løsmassemektigheten øker vestover mot Otra til ca. 30 m (figur 4-7).
4 100	4 250	Ved Otra viser kvartærgeologisk kart elveavsetninger. Grunnundersøkelsene viser at det ligger marin leire under elveavsetningene, stedvis kvikk [31] [19]. Det er store løsmassemektigheter over traseen på opptil 45 m (figur 4-7).
4 250	4 700	Traseen ligger ca. 230 m nord for leiravsetningene på Eg. På Eg er det registrert varierende løsmassemektigheter med bløt leire, til dels kvikk. Like over berg er det kartlagt et grovt lag, tolket som morene [19]. Ved nordre del av Eg er løsmassemektigheten hovedsakelig mindre enn 20 m. Mektigheten øker sørover og østover mot Otra, der mektigheten hovedsakelig ligger rundt 20-30 m, men største registrerte mektighet er 57 m (figur 4-7).
4 700	6 000	Mellom Eg og Dalane ligger terrenget over marin grense, og området er preget av fjell i dagen og tynt løsmassedekke.
6 000	6 300	I Dalane er det en dyprenne med kartlagte breelvavsetninger. Her viser grunnundersøkelsene at det hovedsakelig er silt og sand. Største registrerte løsmassemektighet er 53 m (figur 3-19).
6 300	9 628	Videre vestover forbi Kjerrane og byfjellene ligger terrenget over marin grense, og området er preget av berg i dagen og tynt løsmassedekke.

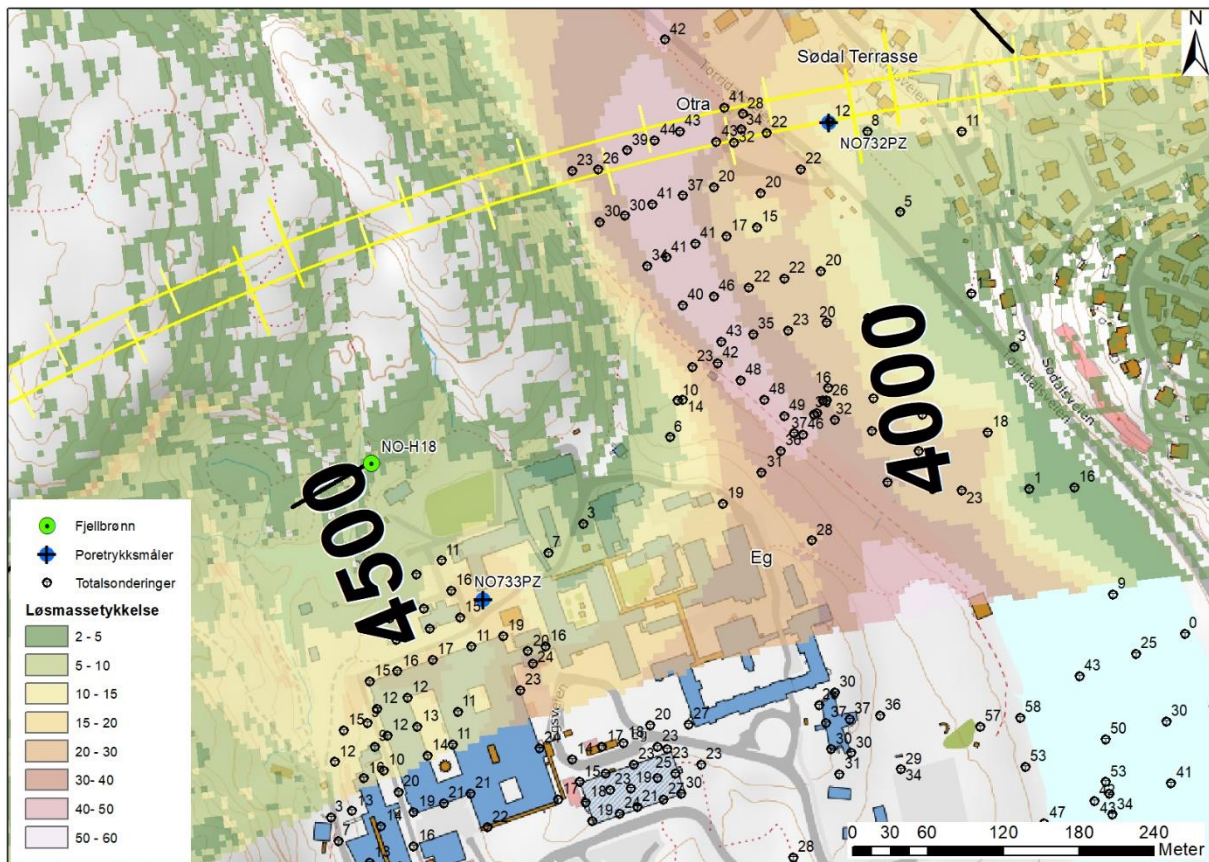




Figur 4-5: Oversikt over løsmasstykkelse ved Vige. Tunneltraseen er vist i gult. Løsmasstykkelse er basert på bergmodell som strekker seg 400 m ut fra traseen. Modellen er basert på totalsonderinger, der løsmasstykkelsen er vist i tall. Der det er få sonderinger er modellen svært usikker [18].



Figur 4-6: Oversikt over løsmasstykkelse ved Bjørndalen. Tunneltraseen er vist i gult. Løsmasstykkelse er basert på bergmodell som strekker seg 400 m ut fra traseen. Modellen er basert på totalsonderinger, der løsmasstykkelsen er vist i tall. Der det er få sonderinger er modellen svært usikker [18].



Figur 4-7: Oversikt over løsmassetykkelse ved Sødal, Otra og Eg. Senterlinje til hvert tunneløp er vist i gult. Løsmassetykkelse er basert på bergmodell som strekker seg 400 m ut fra traseen. Modellen er basert på totalsonderinger, der løsmassetykkelsen er vist i tall. Der det er få sonderinger er modellen svært usikker [18].

### 4.3 Hydrogeologiske forhold

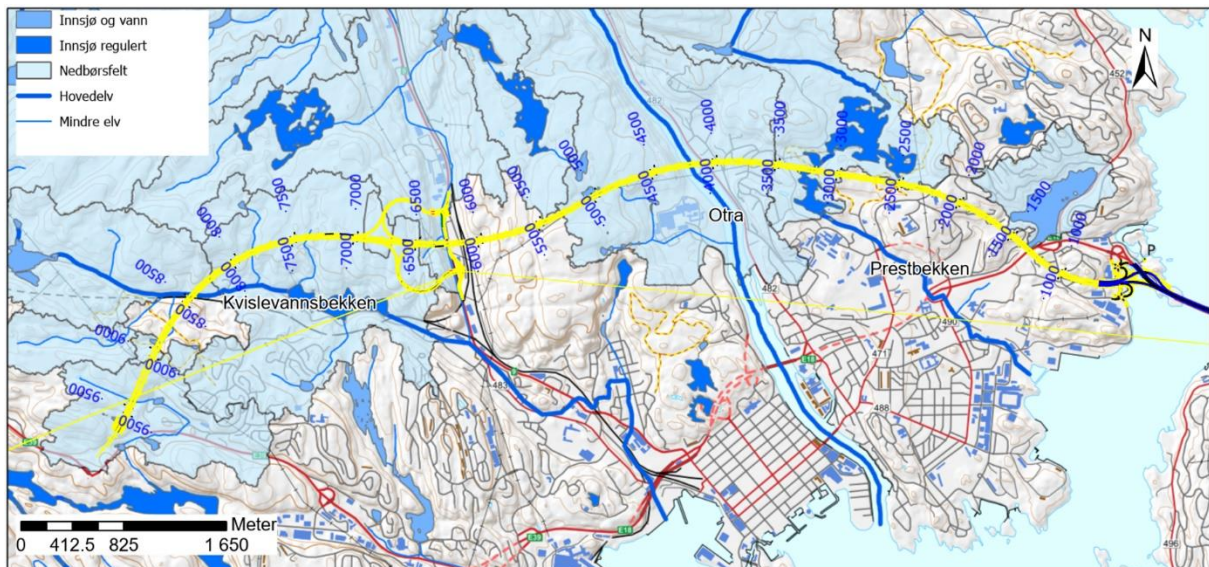
#### 4.3.1 Topografi og hydrologi

Veitraseen går gjennom varierende terreng og kupert landskap. Øst for Otra går veitunnelen under lokale høydetrug med skog og flatliggende områder som i hovedsak er bebygde. Vest for Otra er terrenget mer kupert og veitraseen går her for det meste under skogs- og fjellområder. Tunnelen passerer et større dalsøkk ved Dalane og et mindre dalsøkk ved Kjerrane.

Figur 4-8 viser en kartoversikt over topografiske forhold og nedbørsfelt i tillegg til vassdrag, innsjøer og tjern i tunneltraseens nærområde. Tunnelen krysser tre hovedvassdrag for elvene Prestbekken, Otra og Kvislevannsbekken, som igjen består av flere mindre vassdrag. Alle vassdragene renner hovedsakelig langs markerte svakhetssoner ned mot sjøen i sør/sørøst. Vassdragene som tidvis er tørrlagte forventes å få vanntilsig hovedsakelig fra nedbør og overflatevann. I de høyereliggende områdene langs traseen, hvor det forekommer bart berg/tynt løsmassedekke, forventes det meste av nedbøren å ende opp som avrenning og følge vannveiene ned mot sjøen.

Kristiansand har et varmt og temperert klima. Dette resulterer i gjennomsnittlige vintertemperaturer rundt 0 °C, og gjennomsnittlige sommertemperaturer rundt 15 °C. Vårmånedene mars, april og mai har som gjennomsnitt minst nedbør gjennom året, mens det faller mest nedbør på høsten i september, oktober og november. Vintertemperaturene tilsier at nedbøren faller som regn det meste av året og at det er lite lagring i form av snø.

Flere av de større innsjøene i prosjektområdet er kunstig demmet opp fra gammelt av og er, eller har vært regulert (Vollevann, Øvre og Nedre Jegersbergvann og Øvre og Nedre Hellerstøvenn (se kap. 3.3.1).



Figur 4-8: Kartfiguren viser nedbørsfelt og innsjøer i prosjektområdet. Tunneltrasé er vist med gul linje. Merk at Vollevann er regulert, selv om figuren angir den som uregulert.

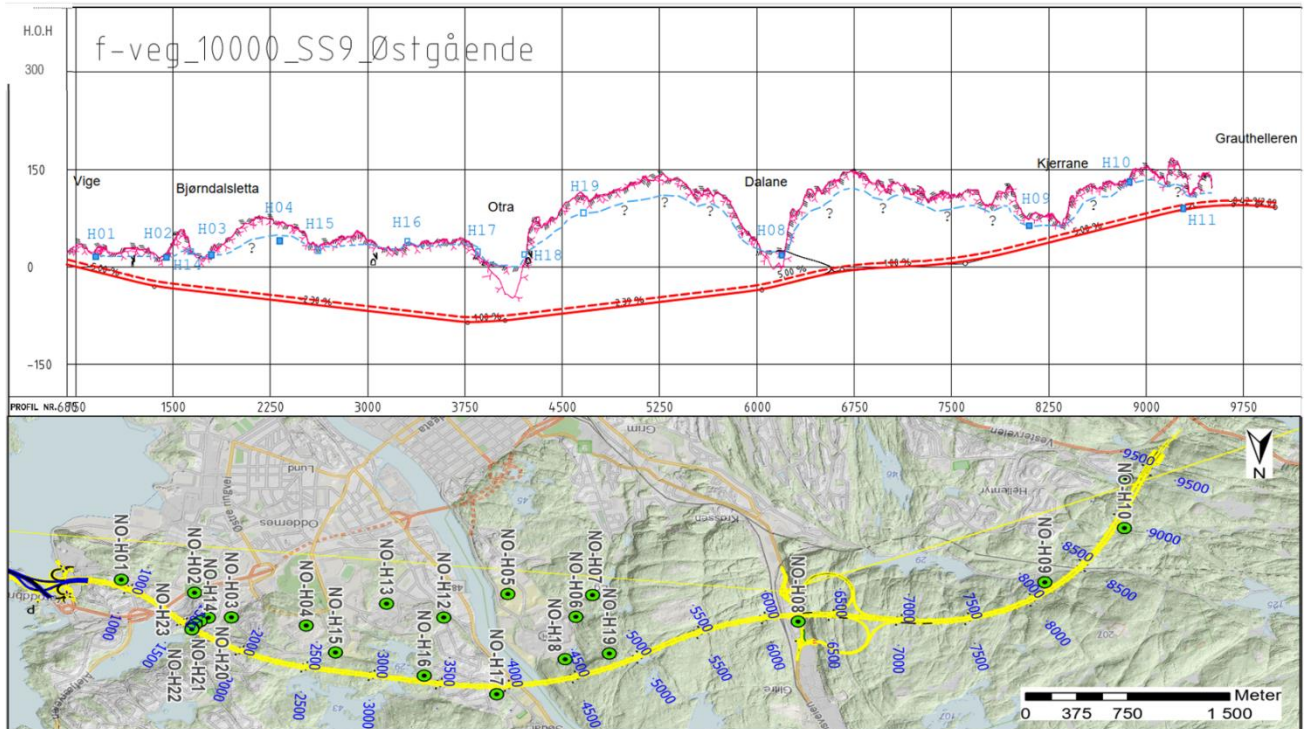
#### 4.3.2 Grunnvannstand

Grunnvannstand vil normalt sett følge terrengvariasjonene og gjenspeile en avdempet versjon av terrengtopografien. Da grunnvannet drenerer fra høyereliggende til lavereliggende områder vil grunnvannet ved fjellknoller og andre høydedrag ligge dypere under terreng enn ved laveriggende områder. Terrengforsenkninger og dalsøkk vil få tilført grunnvann og overvann fra høyereliggende områder og grunnvannet ligger derfor nærmere eller over terreng.

Målinger av grunnvannsnivå viser delvis dette mønsteret (se kap. 3.4). Under Prestheia og ved Bymarka er grunnvannsnivå 15-20 m under terreng. I de lavereliggende områdene ved Bjørndalen og Sødal er det registrert artesisk grunnvannstrykk (dvs. et trykknivå over terreng). Det er også registrert grunnvannsnivå tett opp mot terreng eller artesisert trykk i Dalane, langs Jegersbergvannene og ved Jentetjønn.

I Figur 4-9 vises et lengdeprofil av tunneltraséen med terreng og grunnvannsnivå. Grunnvannstand er basert på målinger i hammerhull. For hammerhull NO-H01 - NO-H13 er grunnvannstand gitt som gjennomsnittsverdi for målinger mellom juli-desember 2021, i

perioden med stabilisert grunnvannstand etter boring. For hammerhull NO-H14 - NO-H19, som ble etablert i desember 2021, er tolkning av grunnvannstand gjort basert på enkeltmålinger i felt. Hammerhull H04 og H11 befinner seg noe lenger sør for tunneltraseen og ligger dermed lenger i terrenget enn terrenget i profilet vist i figur 4-9. Antatt grunnvannstand i disse punktene er derfor estimert til å være noe høyere enn målepunktet i figuren. Ettersom noen partier langs profilet har lavere dekningsgrad av målinger vil det være større usikkerhet knyttet til antatt grunnvannstand.



Figur 4-9: Antatt grunnvannstrykk (blå stiplet linje) under terreng (rosa linje) for østgående profil. Rød linje viser tunneltrasé.

Grunnvannstanden vil normalt variere med sesong og nedbør. Nedbør forårsaker korte, midlertidige grunnvannsflyktuasjoner mens sesongvariasjoner forårsaker et sesongbetinget mønster i grunnvannsflyktuasjoner. Grunnvannsnivå i tiltaksområdet viser naturlige variasjoner på 1-5 m, med laveste grunnvannsnivå i perioden mai-september og høyeste nivå i november-mars. De fleste av overvåkningsstasjonene viser at grunnvannstand og poretrykket responderer på nedbør og har mindre toppe med kortere varighet som følge av nedbør.

### 4.3.3 Grunnvannstrømning

Vannbalansen til en grunnvannsressurs/akvifer er en funksjon av nedbør, infiltrasjon, evapotranspirasjon og utstrømning. Nydannelse av grunnvann foregår i områder der det er løsmasseoverdekning eller via sprekker i berg. Tett skog øker transpirasjonen mens tette flater eller uoppsprukket berg gir økt overflateavrenning, som begge fører til mindre infiltrasjon i grunnen. Grunnens infiltrasjonsevne er sterkt knyttet til permeabiliteten til løsmasser. Sandige avsetninger som elv- og breelvavsetning, og til dels morene og strandavsetning, vil ha god infiltrasjonsevne, mens det vil være svært lite infiltrasjon i leire eller usortert morene med mye finstoff. For det aktuelle planområdet vil nydannelse av grunnvann hovedsakelig foregå i høyereliggende områder uten leiroverdekning.

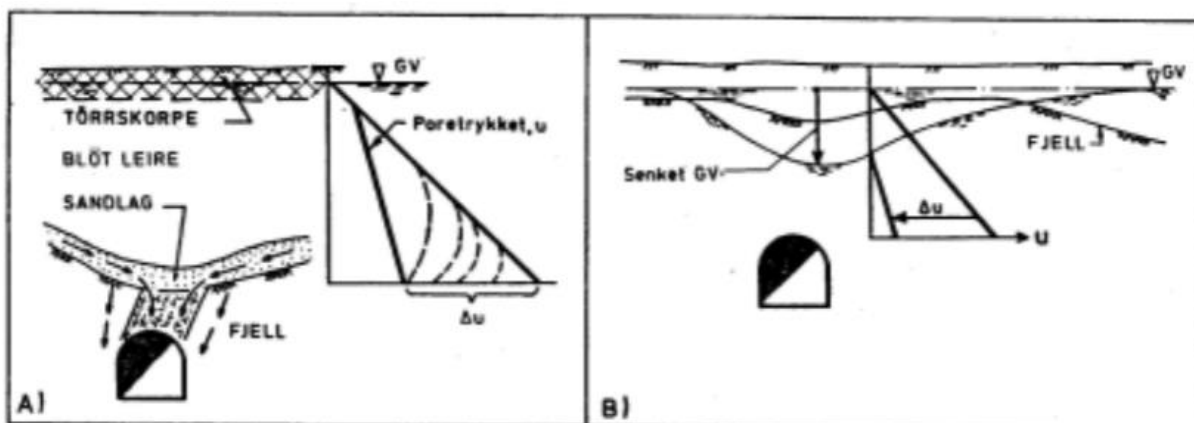
Strømningsretning til grunnvann i permeable media bestemmes i hovedsak av grunnvannsgradienten (helingen på grunnvannsspeilet). Grunnvann vil derfor generelt strømme fra høyereliggende områder til lavereliggende områder. Dette sees også av overvåkning av vannstand i tjern og grunnvannsovervåkning (se kap. 3.4). Grunnvannets strømningsretning i Bjørndalen er fra Vollevann i nordøst mot Oddernes i sydvest. Ved Jegersberg viser overvåkning at det trolig forekommer nydannelse av grunnvann fra Øvre Jegersbergvann og omkringliggende høydedrag, mens Nedre Jegersbergvann og de små vannspeilene omkring er utstrømningsområde for grunnvann. Dette støttes av at vannet i en liten dam øst for Nedre Jegersbergvann, som ligger på ca. kote +29 og har begrenset med tilsig av overflatevann, har høy elektrisk ledningsevne, tilsvarende som grunnvannet i området (se kap. 3.2.5.2).

I berggrunnen foregår grunnvannsstrømningen i komplekse sprekenettverk og kanaler, hvor faktorer som berggrunnens oppsprekkingsmønster, tilstedeværelse av finstoff i sprekken og hovedspenninger i berget er av viktig betydning for grunnvannsstrømning. Oppsprekkingsmønsteret er igjen ofte styrt av faktorer som lagdeling, foliasjon samt tektoniske forhold. Spenningsforhold i berget er avhengig av dyp under terreng, anisotriske forhold på grunn av topografi samt tektoniske forhold. Antatte hovedspenninger går på tvers av tunnelen [18]. Det forventes at sprekesett parallelt med største hovedspenning er mest vannførende, som vil si at det er størst potensiale for å innlekkasje via sprekker og svakhetssoner som går tvers av tunnel. Generelt sett er det høyere vannføring i berg langs svakhetssoner, bergartsgrenser og i forbindelse med gangbergarter på grunn av større oppsprekking i berget langs slike soner. Det vises til Ingeniørgeologisk fagrapport for tolkning av sprekker og svakhetssoner i berggrunnen [18].

Basert på NGU's rapport om hydrauliske egenskaper i løsmasser og fjell er gjennomsnittlig hydraulisk ledningsevne i norske gneiser mellom  $6-9 \times 10^{-6}$  m/s [32]. Det er generelt målt lave vanntap og lav hydraulisk konduktivitet under vanntapsmålinger og pumpetester, og beregnet konduktivitet er i all hovedsak  $<10^{-7}$  m/s (se kap. 3.2.3.2 og kap. 3.2.4). Det er imidlertid registrert enkelte sprekesoner med antatt høyere konduktivitet, som ikke var mulig å måle pga. ustabil berg.

#### 4.4 Setningsømfintlige løsmasser

Marine løsmasser er ofte setningsømfintlige, og det er flere områder langs traseen med denne type avsetninger. Setninger oppstår ved belastning av massene og/eller ved reduksjon av poretrykket. Figur 4-10 skisserer hvordan poretrykket kan bli påvirket ved lekkasje av grunnvann inn i et tunnelanlegg. Ved redusert poretrykk får man en tilsvarende økning i effektivspenninger, som fører til setninger [23]. Når løsmassene har lav permeabilitet vil reduksjonen av poretrykk oppover i løsmassene ta tid, og dermed også setningsforløpet.



Figur 4-10: Innvirkning på poretrykk og grunnvannstand fra lekkasje i tunnelanlegg. A) viser hvordan poretrykket i løsmasser kan bli påvirket over tid der tunnelanlegget gir redusert poretrykk B) skisserer hvordan grunnvannstanden kan bli redusert som følge av redusert poretrykk over tid [33].

I forbindelse med poretrykksreduksjon som følge av innlekkasje i tunnel er det kartlagt områder med setningsømfintlige løsmasser langs tunneltraseen [34]. Dette er oppsummert i tabell 4-2.

Tabell 4-2: Oversikt over maksimal tillatt senkning av grunnvannstand for å unngå skadelige setninger (sammenstilt fra notat om setningsvurdering [34]).

Fra profil	Til profil	Område	Forhold	Oppsummering krav
714	1 000	Vige-Bjørndalen	Tett bebyggelse. Lommer av løsmasser som kan være setningsgivende.  Rekkehus i Vigeveien 3, 5, 7 og 11 ligger på setningsgivende marin leire med opptil 9 m tykkelse.	Det er nødvendig med tetthetskrav for å unngå setninger i lokale setningsutsatte områder.  Maksimalt tillatte setninger ved rekkehus i Vigeveien er 40 mm. For tillatte maksimale setninger på 40 mm kan det være akseptabelt med grunnvannssenkning i berg opptil 1 m.
1 000	1 850	Bjørndalen	Utbygging av nytt boligfelt. Bygg fundamentert på RD-peler, andre bygg	Maksimalt tillatte setninger er 3,4 mm. Unngå grunnvannssenkning, dvs. grunnvannssenkning begrenses slik at effekten ikke blir større enn

Fra profil	Til profil	Område	Forhold	Oppsummering krav
			direktefundamentert på forbelastet grunn.  Setningsgivende marin leire med dybde til berg opptil 35 m. Massene ligger i en dyprene med varierende dybde til berg.	normal/naturlig variasjon av poretrykk i grunnen.
1 850	3 800	Bjørndalen – Jegersberg - Sødal	Lite bebyggelse.  Antas tynt dekke over berg eller berg i dagen.	Det er ikke behov for setningsberegninger, men det nødvendig med tetthetskrav for å unngå setninger i enkelte områder som ligger ca. 400 m fra traseen.
3 800	4 100	Sødal	Setningsgivende leire, store variasjoner i dybde til berg. Topplag med sand/grus over leire og kvikkleire. Under leiren/kvikkleiren et det et lag med morene over berg.	Av hensyn til setninger kan det være akseptabelt med grunnvannssenkning opptil 1-2 m.
4 250	4 700	Eg (vest for Otra)	Setningsgivende leire, store variasjoner med dybde til berg, opp til 58 m under terreng. Topplag bestående av sand og silt over leire og kvikkleire.  Sørlandet sykehus, eksisterende bygg på peler, se [34]. Noen eldre murbygg.	Tillatte maksimale setninger på 10 mm. Det bør unngås grunnvannssenkning, eller grunnvannssenkning begrenses slik at effekten ikke blir større enn normal/naturlig variasjon av poretrykk i grunnen.
4 700	6 000	Eg – Dalane	Antas tynt dekke over berg eller berg i dagen.	Det er ikke behov for setningsvurdering.
6 000	6 300	Dalane	Bebyggelse, vei og jernbane.  Massene i Dalane består av silt, sand og grus med mektighet som varierer opptil 50 m.	Tillatte maksimale setninger på 40 mm. Det er ikke stor fare for setninger i dette området. Med tanke på tillatte maksimale setninger på 40 mm kan det være akseptabelt med grunnvannssenkning opptil 3 m.
6 300	9 628	Dalane- Grauthelleren	Lite eller ingen bebyggelse. Antas tynt dekke over berg eller berg i dagen.	Det er ikke behov for setningsvurdering.

Setningsvurderingene viser at små lommer med løsmasser i Vige kan gi setninger og grunnvannstand må ikke senkes mer enn 1 m.



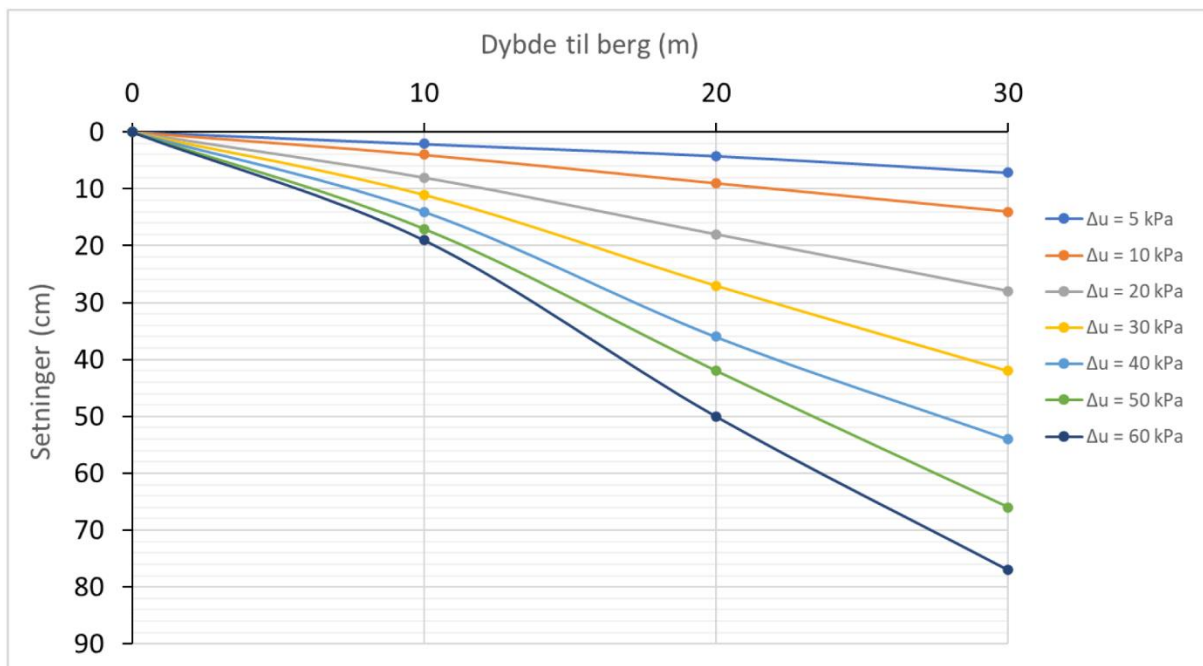
Grunnvannstanden må opprettholdes i Bjørndalen og ved Eg for å unngå potensielt skadelige setninger. Sødal tåler 1–2 m grunnvannssenkning.

Dalane er et område med stor løsmassemekktighet av sand og silt og er ikke setningsømfintlig. Området tåler 3 m grunnvannssenkning.

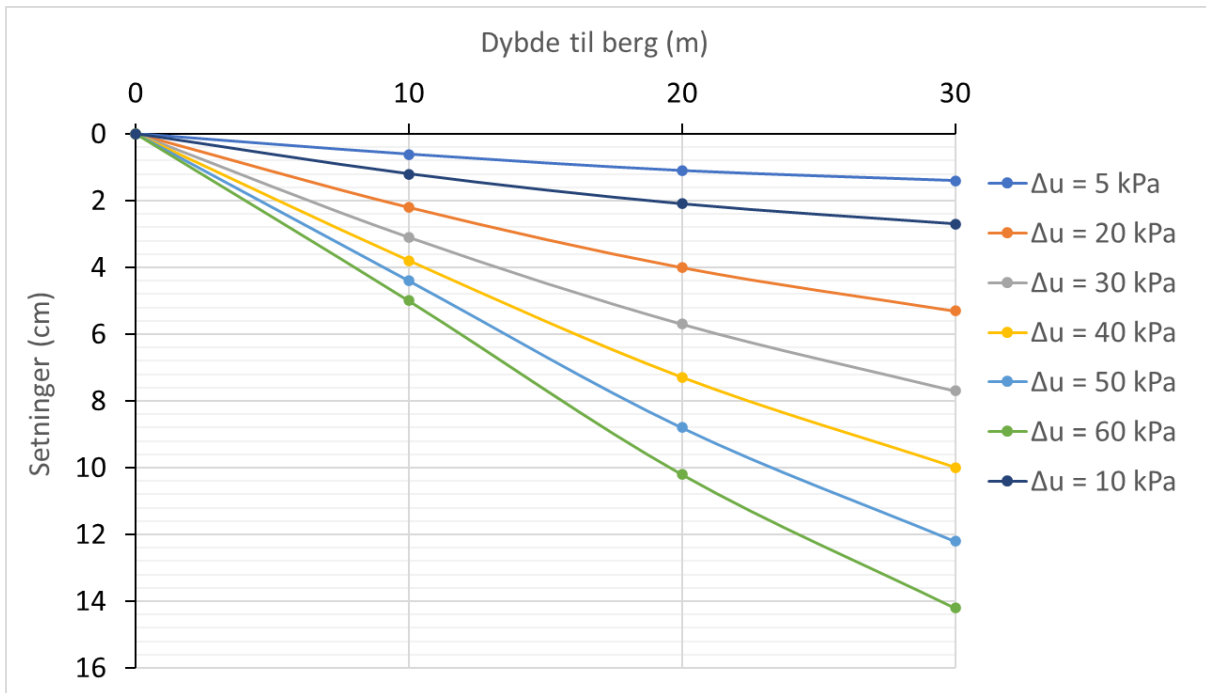
Krav til maksimal grunnvannssenkning for å unngå skadelige setninger er basert på beregninger, der resultatene er vist i figur 4-11, figur 4-12, figur 4-13 og figur 4-14.

Disse beregningene viser at setningspotensialet er svært varierende avhengig av egenskapene i løsmassene på de ulike lokalitetene. Her estimerer beregningene blant annet at 30 m løsmasser og 1 m senkning i grunnvann fører til setninger på:

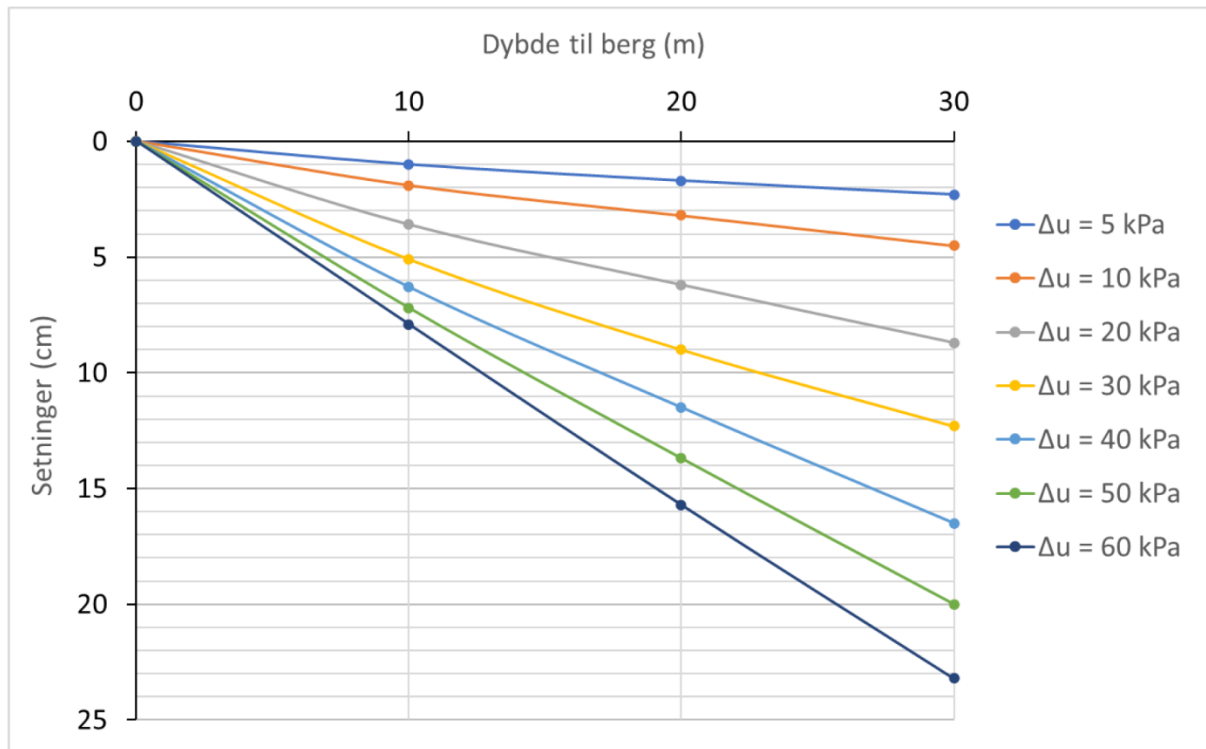
- 14 cm i Bjørndalen
- 2,5 cm i Sødal
- 4,5 cm på Eg
- 1,5 cm i Dalane



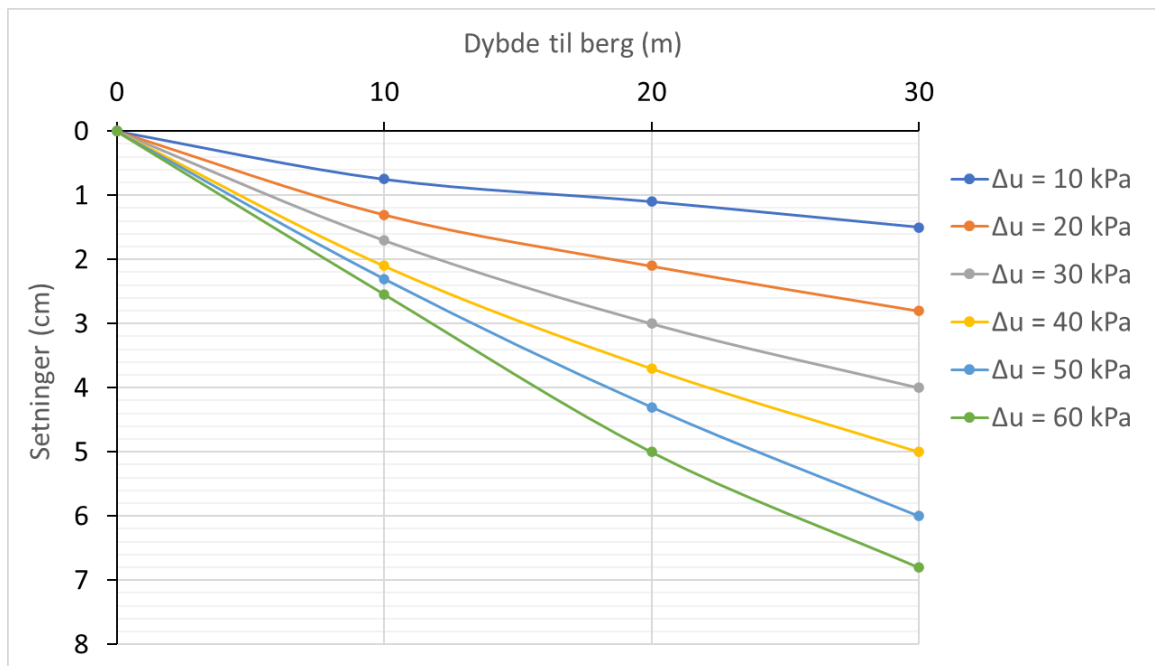
Figur 4-11: Beregnet setninger for Bjørndalen. Setningene er vist som en funksjon av poretrykksreduksjon og dybde til berg [34].



Figur 4-12: Beregnet setninger for Sødal. Setningene er vist som en funksjon av poretrykksreduksjon og dybde til berg [34].



Figur 4-13: Beregnet setninger for Eg. Setningene er vist som en funksjon av poretrykksreduksjon og dybde til berg [34].



Figur 4-14: Beregnet setninger for Dalane. Setningene er vist som en funksjon av poretrykksreduksjon og dybde til berg [34].

Setningsvurderingene tilsier at grunnvannstanden må opprettholdes i Bjørndalen og ved Eg for å unngå setninger som kan medføre skade på bygg og infrastruktur. Ved Sødal er det estimert at grunnvannssenkning på inntil 1-2 m ikke vil medføre uakseptable setninger.

Dalane er et område med stor løsmassemekktighet av sand og silt og er i mindre grad setningsømfintlig. Det er estimert at grunnvannssenkning på inntil 3 m ikke vil medføre setningsskader.

#### 4.5 Oppsummering av hydrogeologiske forhold langs traseen

Langs traseen er det hovedsakelig kartlagt gneis med lav permeabilitet og flere vannførende svakhetssoner. I vestre del av traseen går tunnelen hovedsakelig gjennom tolket granittisk/amfibolittisk gneis, mens i øst går tunnelen hovedsakelig igjennom tolket båndgneis/øyegneis, granittisk gneis (figur 4-15 og figur 4-16). Langs hele traseen er det hovedsakelig kartlagt subvertikale svakhetssoner, men noen unntak. I hammerhull som er boret tilnærmet loddrett blir vannføring i vertikale svakhetssoner underestimert. Overordnet forventes det generelt tett berg, med stedvis vannførende vertikale svakhetssoner.

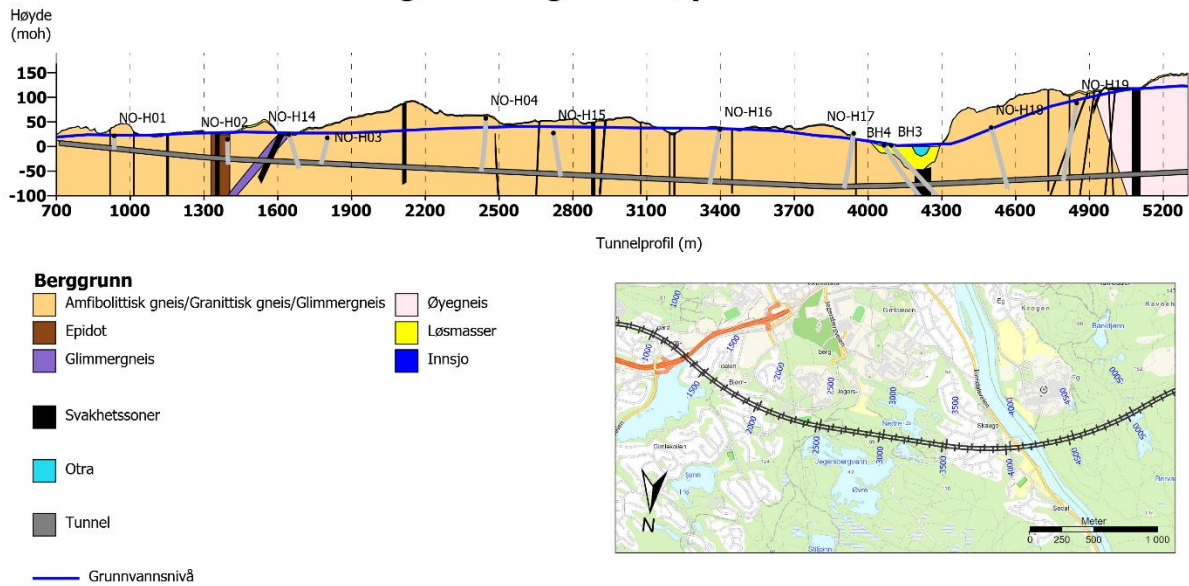
Grunnvannstanden er artesisk, dvs. trykkehøyden står over terrengnivå, ved Bjørndalen (NO-H02 og NO-H03), omkring Jegersbergvannene (NO-H15 og NO-H16) og ovenfor Sødal (NO-H17), samt tidvis ved Jentetjønn (NO-H10) og UiA (NO-H13). Ved Presteheia (NO-H04) og under høydedraget vest for sykehuset (NO-H19) er grunnvannsnivå 15-20 m under terreng.

Holmøy (2008) [35] viste gjennom sitt arbeid at de største vannlekkasjer i norske tunneler ofte ble registrert der overdekning/grunnvannstand var høyest. Grunnvannstrykket ved

tunnelnivå forventes derfor å ha betydning for omfang av vannlekkasje i tunnel. Maksimalt antatt grunnvannstrykk ved tunnelnivå tilsvarer ca. 150 m (15 bar), og ligger ved profil 5 250, mellom Otra og Dalane (se kap. 4.3 og Figur 4-15 og Figur 4-16). Det forventes også økt innlekkasje der tunnelen krysser under større vannforekomster.

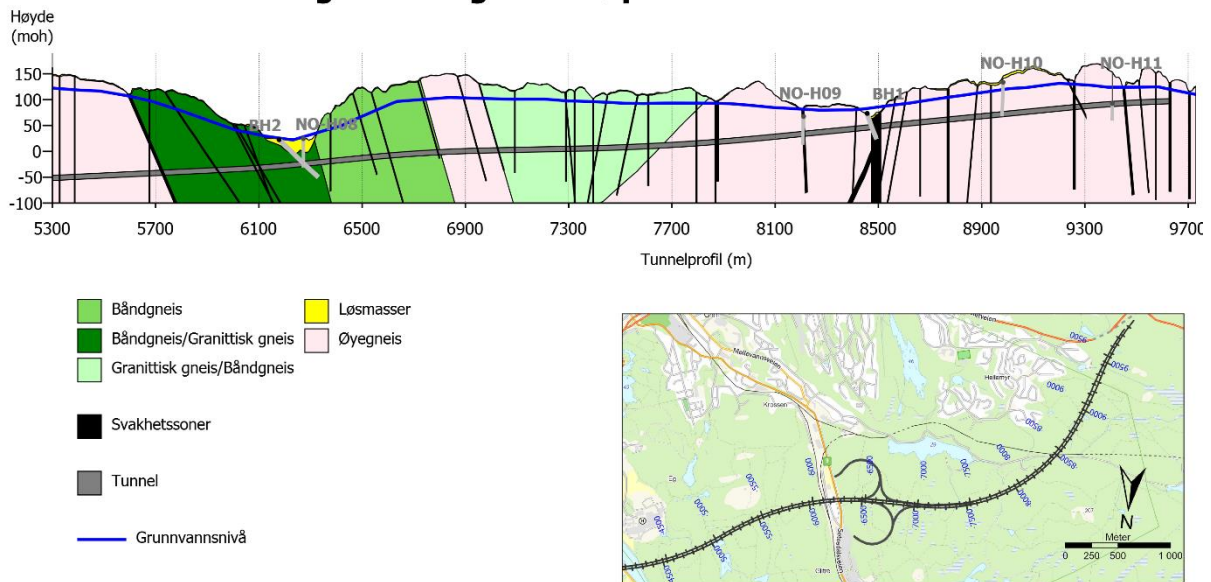
Forventet vannførende forhold langs traseen er nærmere beskrevet i tabell 4-3. Dette er basert på resultater og tolkninger av grunnundersøkelsene, noe som betyr at det er store usikkerheter i tabellen og den må anses som veiledende.

### Ytre Ringvei: Vestgående løp 700 - 5300 m



Figur 4-15: Vertikalt lengdesnitt langs tunneltrasé (vestgående løp) som viser hammerhull, kartlagt geologi, svakhetssoner og grunnvannsnivå.

### Ytre Ringvei: Vestgående løp 5300 - 9730 m



Figur 4-16: Vertikalt lengdesnitt langs tunneltrasé (vestgående løp) som viser hammerhull, kartlagt geologi, svakhetssoner og grunnvannsnivå.

Tabell 4-3: Oppsummering av forventet vanninnslag langs tunneltraseen, basert på hydrogeologiske tolkninger.

Fra profil	Til profil	Område	Hydrogeologiske forhold	Forventet vanninnslag
714	1 250	Vige	Ikke påtruffet vannførende svakhetssoner, hammerhull indikerer tett berg.	Generelt tett berg
1 250	1 400	Vige, ved Vollevannet	Tunnel ligger veldig nær Vollevannet og gjennomskjærer steil svakhetszone som går under Vollevannet. Vertikale hammerhull i området viser tett berg, men vertikale hull kan underestimere vannføring i de steile svakhetssonene.	Forventer påtreff av vannførende soner, kan være mye vann.
1 400	1 550	Vige	Ingen kartlagte svakhetssoner.	Generelt tett berg
1 550	1 700	Vollevannet/ Bjørndalen	Nær Vollevannet, tunnel gjennomskjærer steil svakhetszone som også går under Vollevannet.	Forventer påtreff av vannførende soner.
1 700	2 450	Mellom Bjørndalen og Jegersberg	Kartlagt noen mindre svakhetssoner	Generelt tett berg, kan forekomme enkelte vannførende soner.
2 450	3 150	Jegersbergvann	Kartlagt flere steile svakhetssoner, hammarhull med artesisk trykk, moderat permeabilitet. Ligger rett ved Jegersbergvann.	Stedvis enkelte soner med mye vann.
3 150	3 400	Jegersbergvann	Krysser Nedre Jegersbergvann. Hammerhull med artesisk trykk og målt moderat permeabilitet.	Forventer påtreff av vannførende soner, kan være mye vann.
3 400	3 850	Mellom Jegersbergvann og Sødal	Ingen store kartlagte svakhetssoner. God overdekning.	Generelt tett berg
3 850	4 050	Sødal	Flere kartlagte svakhetssoner, artesisk trykk svært mye vann under boring.	Forventer enkelte slepper med mye vann.
4 050	4 350	Otra	Krysser under Otra med liten overdekning. Leire i Otra, noe som betyr at det ikke er direkte kobling mellom elven og berget. Kartlagt dårlig oppsprukket berg. Registrert tap av returvann.	Dårlig berg, moderat vannførende soner, kan påtreff mer vannførende soner enn kartlagt.
4 350	4 900	Eg	Kommer inn i godt berg, men hammerhullene rett ved svakhetssoner viser knust og	Forventer flere kryssende soner med moderat vannføring.

Fra profil	Til profil	Område	Hydrogeologiske forhold	Forventet vanninnslag
			oppsprukket berg, steil orientering og moderat permeabilitet. God overdekning.	
4 900	5 400	Nedre Hellerstøvvann	Krysser under Nedre Hellerstøvvann ved en større svakhetsone. Kartlagt flere svakhetssoner som krysser og ligger langs traseen. God overdekning.	Kryssende og langsgående svakhetssoner med moderat vannføring.
5 400	6 100	Bymarka	Få grunnundersøkelser, flere kartlagte svakhetssoner som krysser tunnelen. God overdekning	Forventer hovedsakelig lite vannførende berg, kan forekomme enkelte vannførende soner.
6 100	6 350	Dalane	Dyprenne, mindre overdekning. Vanntap i kjerne hull viser sporadisk tilstedeværelse av moderat vannførende soner, ellers lite vannførende berggrunn.	Forventer lite vannførende berg med noen moderat vannførende soner.
6 350	8 400	Mellomheia	Få grunnundersøkelser, flere kartlagte svakhetssoner som krysser tunnelen. Går under myrkompleks og flere bekker. God overdekning.	Forventer lite vannførende berg, kan forekomme enkelte vannførende soner.
8 400	8 550	Kjerrane	Liten overdekning, dårlig berg. Leirfylte sprekker. Ved kjerneboring ble det registrert tap av returvann.	Dårlig berg med vannførende soner.
8 550	8 850	Mellom Kjerrane og Jentetjønn	Kartlagt øyegneis, generelt massiv med lite oppsprekking. Flere kryssende svakhetssoner, god overdekning.	Forventer hovedsakelig lite vannførende berg, kan forekomme enkelte vannførende soner.
8 850	9 050	Jentetjønn	Krysser rett ved Jentetjønn, steile svakhetssoner.	Moderat vannføring i svakhetssoner.
9 050	9 628	Grauthelleren	Flere kryssende store svakhetssoner som også ligger under vann- og myrforekomster høyere opp i terrenget.	Moderat vannføring i svakhetssoner.

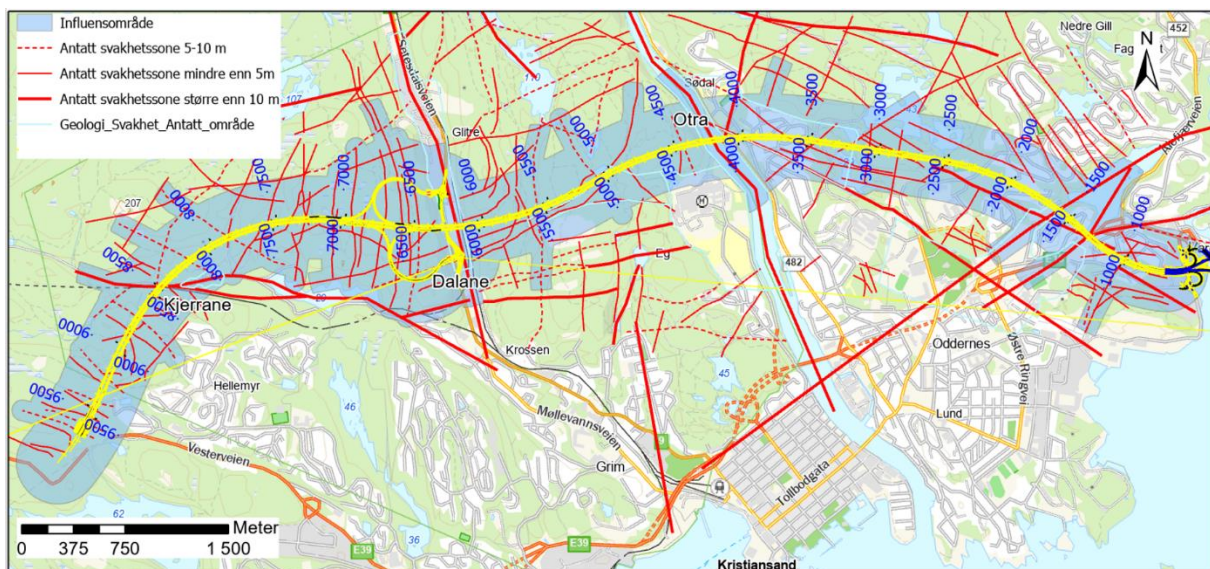
## 5 Tiltakets effekt på grunnvannsforhold

### 5.1 Hensyn til naturmiljø

#### 5.1.1 Influensområde for påvirkning på naturmiljø

Med influensområde i denne sammenhengen menes det området som vil kunne få en grunnvannssenkning som følge av vannlekkasjer i tunnel. Størrelsen på influensområdet vil i hovedsak avhenge av størrelse på vannlekkasjen og de geologiske forholdene i området. Det er viktig å merke seg at tettetiltak som anbefales i denne rapporten vil redusere utstrekningen av influensområdet.

Ifølge Statens vegvesens publikasjon nr. 103 vil man generelt ikke forvente grunnvannssenkninger lengre enn 300 m fra tunnelanlegget [36]. Senere erfaringer har imidlertid vist at betydelige vannlekkasjer i tunnel vil i enkelte tilfeller kunne medføre grunnvannssenkning lengre enn 300 m fra tunnel [37]. Det kan forventes påvirkning i en avstand over 300 m i tilfeller der det er god kontakt mellom ulike sprekkesett i berget og lite tilsig av vann. Områder langs svakhetssoner som krysses av tunnel kan få betydelig grunnvannsreduksjon på grunn av god drenasjevei. Ved kartlagte svakhetssoner som krysser traseen antas influensområdet å ha en større utstrekning. Influenssonen er derfor satt til 600 m langs markante svakhetssoner og 300 m mellom sonene (figur 5-2).



Figur 5-1: Tunnelens antatte influensområde og kartlagte svakhetssoner.

#### 5.1.2 Vannforekomster og sårbarhet for grunnvannssenkning

For grunnvannsavhengige naturforekomster er sårbarheten ovenfor grunnvannssenkning en funksjon av vannbalansen, der størrelse på nedbørsfelt, avrenningsforhold, løsmassedekke og omfanget av grunnvannstilsig i forhold til overflateavrenning er medvirkende faktorer. Videre vil en naturforekomsts sårbarhet i forhold til grunnvannssenkning avhenge av om artene som inngår i naturforekomsten er fuktrevende eller tørketolerante, og i hvilken grad grunnvannstilsig er en viktig faktor for opprettholdelse av markfuktigheten.

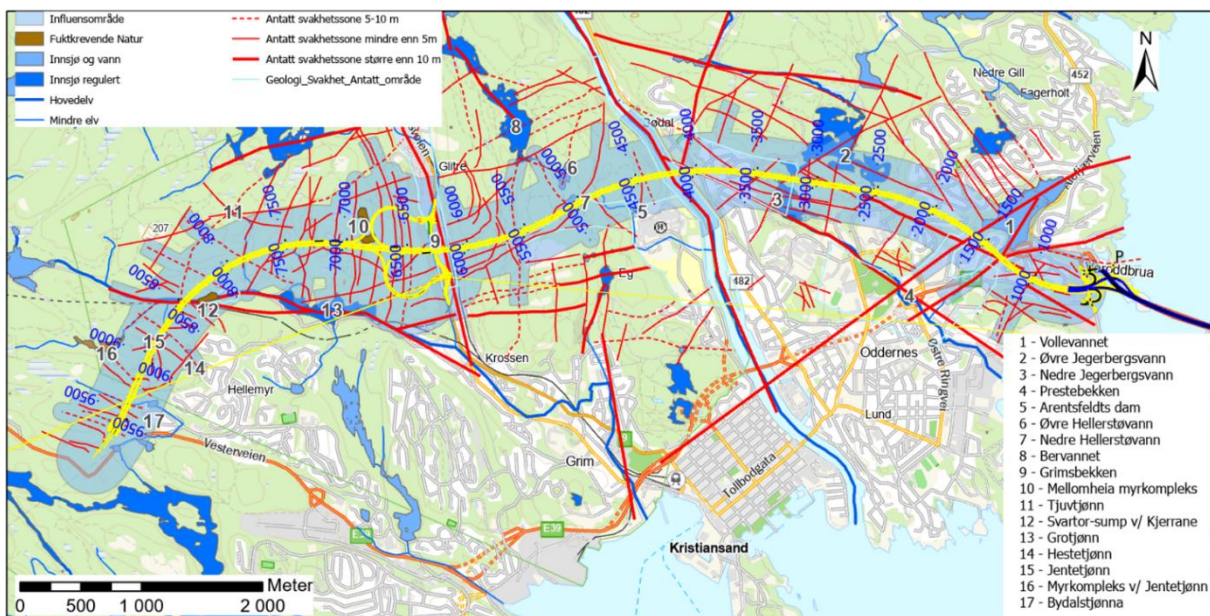


I områder med tynt løsmassedekke er det generelt større variasjoner i grunnvannstand enn i områder med tykke løsmasseavsetninger [23]. Naturforekomster i områder med tynt løsmassedekke er ofte mer sårbare da grunnvannstand i disse områdene gjerne har en hurtigere respons som følge av lekkasje til tunnel. Løsmasser bestående av finkornet eller usortert materiale har god evne til å holde på markfuktigheten og vil være positivt med tanke på sårbarhet til naturforekomster.

Forekomster som har lite nedbørsfelt, er mer sårbare enn tilsvarende forekomster med stort nedbørsfelt. Grunnen til dette er at en lekkasje av en bestemt størrelse vil ha større betydning i et område hvor det er lite tilsig av vann. Sårbarhet kan klassifiseres etter størrelsen på nedbørsfeltet til vannforekomsten [38]. I tillegg påvirker menneskelige inngrep, slik som regulering av vannstand, sårbarheten. Regulerte vann er generelt mindre sårbare enn uregulerte vann.

Tabell 5-1: Sårbarhetsklasser for vannforekomster basert på størrelse på nedbørsfelt [38].

Sårbarhetsklasse	Størrelse på nedbørsfelt (km <sup>2</sup> )
1	< 0,5
2	0,5-1
3	1-2
4	2-5
5	Vann tilhørende vassdrag som renner gjennom modellområdet. Betydelig nedbørsfelt og liten sårbarhet



Figur 5-2: Kartillustrasjonen viser vann og naturforekomster langs tunneltrasé, samt influensområde og kartlagte svakhetssoner. Merk at Vollevannet er regulert, selv om det vises som uregulert på figuren.

Tabell 5-2 oppsummerer sårbarhetsklasser for kartlagte vann og fuktkrevende naturtyper innenfor tunnelens antatte influensområde basert på størrelse på nedbørsfeltet.

Tabell 5-2: Sårbarhetsklassifisering av vannforekomster og fuktkrevende naturtyper basert på grenser i Tabell 5-1. Sårbarhetsklasse 1 representerer høyeste sårbarhet og sårbarhetsklasse 5 laveste sårbarhet.

Vannforekomst	Sårbarhetsklasse
1 – Vollevannetb (regulert)	2
2 - Øvre Jegersbergvann (regulert)	4
3 - Nedre Jegersbergvann (tidligere regulert)	4
4 - Prestebekken	4
5 - Arentsfeldts dam	1
6 - Øvre Hellerstøvann (tidligere regulert)	1
7 - Nedre Hellerstøvann (regulert)	1
8 - Bervannet	2
9 - Grimsbekken	4
10 - Mellomheia myrkompleks	1
11 - Tjuvtjønn	1
12 - Svartor sump v/ Kjerrane	3
13 - Grotjønn	4
14 - Hestetjønn	1
15 - Jentetjønn	1
16 - Myrkompleks v/ Jentetjønn	1
17 - Bydalstjønn	2

I tillegg til størrelsen på nedbørsfeltet, er avrenning mot forekomstene en viktig faktor for sårbarheten. Deler av avrenningen i nedbørsfeltet vil bidra til grunnvannsdannelse. Det er få studier som har sett på hvor mye av avrenningen som kan lekke inn i en tunnel uten at vannforekomster eller fuktkrevende natur blir påvirket. Ett studie av Holsfjorden har anslått at en innlekkasje på 10 % av middelavrenningen gir liten eller ingen påvirkning [38]. For å estimere tetthetskrav i tunnel er det tatt utgangspunkt i at ikke mer enn 10 % av middelavrenningen kan lekke inn til tunnelen. Middelavrenning er hentet fra NEVINA [39].

Beregningene forutsetter en gjennomsnittlig hydraulisk ledningsevne for hele området. I realiteten vil svakhetssoner og sprekker ha høyere hydraulisk ledningsevne mens fast berg vil være mindre vannførende. På denne måten kan det lokalt bli betydelig høyere lekkasjer enn gjennomsnittet. Forekomster med kort avstand til tunneltraseen samt kryssende svakhetssoner og sprekker vil være særlig utsatt for å bli negativt påvirket av en grunnvannssenkning som følge av lekkasje til tunnel. Videre er sårbarheten avhengig av hydraulisk kontakt mellom overflatevann og grunnvann. Dersom naturlig grunnvannstand ligger godt under nivået for en fuktkrevende naturtype kan dette indikere at naturtypen ikke er avhengig av grunnvannet.

Basert på kartlegging av naturforekomster har flere sårbare områder blitt identifisert [4].

#### 5.1.2.1 Særlig utsatte forekomster

Vollevannet er i sårbarhetsklasse 2 og flere svakhetssoner krysser vannet og tunneltraseen. Vannet vil være mer sårbart for senkning i grunnvannstand grunnet de vannførende svakhetssonene som vil kunne føre til lekkasje til tunnel. Arentsfeldts dam er i sårbarhetsklasse 1, men dammen ble anlagt som parkdam, sannsynligvis på 1800-tallet, og vil derfor trolig være mindre utsatt for endringer i grunnvannstand [40]. Nedre og Øvre Hellerstøvann er også i sårbarhetsklasse 1. Nedre Hellerstøvann ligger like over tunnelen med svakhetssoner som kysser både vannet og tunnel. Vannet vil derfor være særlig utsatt for lekkasje til tunnel. Øvre Hellerstøvann ligger i utkanten av influensområdet og vil sannsynligvis bli mindre påvirket av en endring i grunnvannstand, relativt til Nedre Hellerstøvann.

Mellomheia myrkompleks befinner seg like vest for Dalane i området med høyest overdekning langs traseen. Myrkomplekset er i sårbarhetsklasse 1, ligger like ved traseen og vil derfor være særlig utsatt for endring av grunnvannstand. Komplekset er klassifisert til å ha noe verdi [4]. Tjuvtjønn ligger like utenfor det antatte influensområdet, men bekken som renner fra tjernet og ned til Kvislevannsbekken krysser tunneltraseen. Vurderingen for Tjuvtjønn er gjort for vannets nedbørsfelt, noe som gir sårbarhetsklasse 1. Kartlagte svakhetssoner sammenfaller med bekken og det kan være risiko for at bekken fra Tjuvtjønn blir påvirket av en lekkasje til tunnel. Det er i midlertidig usikkert om bekken er påvirket av grunnvann.

Hestetjønn og Jentetjønn er begge i sårbarhetsklasse 1. Jentetjønn ligger like over tunnelen og flere svakhetssoner krysser under og like ved tjernet, noe som vil føre til økt potensiale for lekkasje til tunnel. Hestetjønn ligger lenger unna tunnelen, relativt til Jentetjønn, men også her er det kartlagte svakhetssoner under tjernet som kan gi lekkasje til tunnel. Myrkomplekset vest for Jentetjønn befinner seg i ytterkanten av influensområdet og har sårbarhetsklasse 1. Det er sannsynlig at det befinner seg svakhetssoner i nærheten av komplekset og det vil derfor også kunne være utsatt for innlekkasje til tunnel. Dette myrkomplekset har derimot en høyere toleranse for innlekkasje til tunnel (Tabell 5-2).

#### 5.1.3 Bakgrunn for tetthetskrav – tålegrense for naturmiljø

Tålegrense med hensyn på naturmiljø er satt basert på grunnlagsdata vist i Tabell 5-3. Med tålegrense menes den lekkasjen til tunnel som forekomsten forventes å tåle uten negative virkninger. Tålegrensen er beregnet basert på middelavrenning i forekomstens nedbørsfelt. Akseptert lekkasje på 10 % av middelavrenningen er satt basert på en studie i forbindelse med vannforsyningstunnel fra Holsfjorden [38]. Endelig tetthetskrav i tunnel er basert på den mest sårbare tålegrensen for enten naturmiljø eller setningsømfintlige områder. Tålegrensen gjenspeiler innlekkasje per tunnelløp.

Tabell 5-3: Tålegrense (maksimalt akseptable innlekkasje), angitt pr. tunnellop, for vannforekomster og andre fuktikrevende naturtyper.

Vannforekomst	Nedbørsfelt areal (m <sup>2</sup> )	Middelavrenning (m <sup>3</sup> /dag)	Lengde (m)	Andel av estimert influensområde dekket av nedslagsfelt	Akseptert lekkasje (10 %) (l/min)	Maksimal innlekkasje for liten/ingen påvirkning iht. [38] (l/min per 100m)
1 - Vollevannet	599 622	1 272	850	0.8	110	6
2 - Øvre Jegersbergvann	2 558 477	5 495	1 300	0.5	763	29
3 - Nedre Jegersbergvann	2 971 375	6 382	1 300	0.9	492	19
4 – Prestebekken	2 971 375	6 382	1 300	0.3	1 477	57
5 - Arentsfeldts dam	360 084	753	700	0.4	131	9
6 - Øvre Hellerstøvann	50 460	119	500	0.1	83	8
7 - Nedre Hellerstøvann	155 168	367	500	0.9	28	3
8 – Bervannet	888 751	2 078	700	0.3	481	34
9 - Grimsbekken	4 289 068	10 030	950	0.5	1 393	73
10 – Mellomheia myrkompleks	106 177	248	500	0.6	29	3
11 – Tjuvtjønn	177 067	424	400	0.2	147	18
12 - Svartor sump v/ Kjerrane	1 430 609	3 430	550	0.6	397	36
13 – Grotjønn	2 742 339	11 068	2 900	0.7	1 098	19
14 - Hestetjønn	46 110	111	400	0.2	38	5
15 - Jentetjønn	44 838	107	350	0.8	9	1
16 – Myrkompleks v/ Jentetjønn	472 065	1 132	450	0.2	393	44
17 - Bydalstjønn	786 259	1 885	500	0.7	187	19

#### 5.1.3.1 Tålegrense ved østgående profil 600–3 650

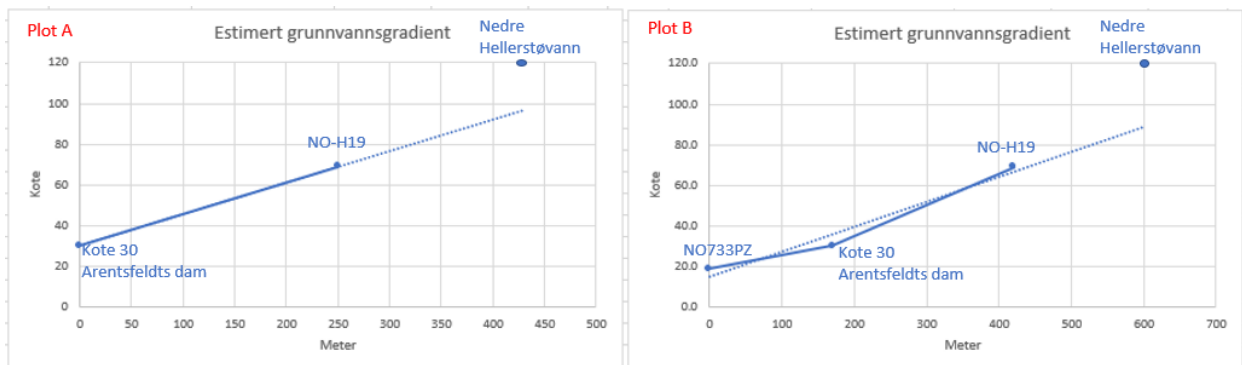
Fra profil 714–1 000 er det ingen kartlagte vannforekomster. Videre fra profil 1 000–1 850 er det høyeste aksepterte lekkasje satt til <10 l/min per 100 m pr. løp grunnet Vollevannet. Vannet ligger like ved tunnelen og to større svakhetssoner krysser under vannet og videre til tunnelen. Fra Vollevannet til profil 2 350 er det ingen kartlagte vannforekomster. Mellom profil 2 350–3 650 ligger Øvre og Nedre Jegersbergvann. Vannene deler nedbørsfelt og Prestebekken renner ut fra Nedre Jegersbergvann. Nedre Jegersbergvann er mest utsatt for lekkasje til tunnel ettersom vannet ligger rett under traseen. Vannet har et stort nedbørsfelt og maksimal lekkasje er satt til <20 l/min per 100m pr. løp.

### 5.1.3.2 Tålegrense ved østgående profil 3 650–5 400

Fra profil 3 650–4 350 er det ingen sårbare vannforekomster eller naturtyper innenfor influensområdet. Tålegrensen er derfor satt til <40 l/min per 100 m pr. løp.

Tålegrensen er strengere ved Arentsfeldts dam fordi vannet har en lavere sårbarhetsklasse. Tålegrensen er her satt til <10 l/min per 100 m pr. løp.

Mellom profil 4 700–5 400 er tålegrensen <5 l/min per 100 m pr. løp av hensyn til Øvre og Nedre Hellerstøvann som er sårbare for endringer i vannbalansen. Ettersom Nedre Hellerstøvann befinner seg like over tunneltraseen og har flere kryssende svakhetssoner kan vannet være særlig utsatt for innlekkasje til tunnel. På grunn av tilkomst var det ikke mulig å bore et hull ved Nedre Hellerstøvann, men det er boret et hammerhull lenger ned i terrenget (NO-H19) ca. 200 m syd for vannet. Ved NO-H19 ligger grunnvannstanden ca. 20 m under terreng. Basert på data av grunnvannstand i flere punkter sørøst for Nedre Hellerstøvann er grunnvannsgradienten fra Eg og opp til vannet estimert (figur 5-3). Grunnvannstanden under Nedre Hellerstøvann er estimert til å ligge 20–30 m under terreng. Dersom dette stemmer, vil ikke Hellerstøvann være sårbare for en senkning i grunnvannstand. Det er imidlertid usikkert knyttet til en slik ekstrapolering.



Figur 5-3: Estimert grunnvannsgradient fra Arentsfeldts dam til Nedre Hellerstøvann. Grunnvannsgradient mellom målepunkter vises i heltrukket linje, estimert gradient opp til Nedre Hellerstøvann er vist i stiplede linje.

### 5.1.3.3 Tålegrense ved østgående profil 5 400–8 650

Grimsbekken og Grotjønn har begge en relativt høy toleranse for innlekkasje til tunnel. Grunnet av- og påkjøringsrampene i Dalane vil antall tunnelløp øke fra to til fire som gjør at det samlede innlekkasjepotensialet øker. Basert på beregningsmetoden er tålegrense satt til <20 l/min per 100 m av hensyn til Grotjønn (Tabell 5-3).

Kvislevannsbekken renner rett ved en svartorsumpskog ved Kjerrane og beregninger for innlekkasje er gjort for begge forekomstene, ettersom de har samme nedbørsfelt. Tålegrense er satt til <20 l/min per 100 m.

For Mellomheia myrkompleks er toleransen for maks innlekkasje <3 l/min/100 m, basert på beregningsmetoden (Tabell 5-3). Myren ligger i et område med høyt grunnvannspotensiale, noe som gjør det utfordrende å imøtekomme en tålegrense på <3 l/min per 100 m. På grunn

av kompleksiteten ved slik tettearbeid, med stor sannsynlighet for at man ikke lykkes, i tillegg til myrens forholdsvis lave verdi, blir foreslåtte tålegrense satt til 20 l/min per 100 m. Dette vil kunne medføre at myren blir drenert over tid. Konsekvensen for dette er utredet i rapport for Ikke prissatte konsekvenser [4].

Tålegrensen ved Tjuvtjønn er satt til <20 l/min per 100 m. Basert på det antatte influensområdet er det lite sannsynlig at Tjuvtjønn vil påvirkes av en lekkasje til tunnel, men bekken som renner sør for tjernet og ned til Kvilsevannsbekken kan bli negativt påvirket. Det er usikkert om vannføringen i bekken er påvirket av tilførsel av grunnvann.

I tillegg til forekomstene diskutert over befinner det seg flere mindre bekker og myrer i området mellom profil 5 400–8 650 som kan bli negativt påvirket av en innlekkasje til tunnel. Som et føre var prinsipp er tålegrense satt til <20 l/min per 100 m for hele dette strekket av tunnelen.

#### 5.1.3.4 Tålegrense ved østgående profil 8 650–9 100

Jentetjønn og Hestetjønn har begge lav toleranse for innlekkasje til tunnel, basert på beregningsmetoden. Jentetjønn ligger rett over traseen og vil derfor være mer utsatt for lekkasje. Hammeruhlet, NO-H10, ved Jentetjønn viser at grunnvannstanden er høyere enn vannstanden i Jentetjønn. Dette tyder på at det er kontakt mellom grunnvannet og tjernet. På grunn av sårbarheten er tålegrensen ved Jentetjønn på <5 l/min per 100 m. Ved Jentetjønn kan svakhetssoner i dypet ha kontakt med grunnvann som kommer fra myrkomplekset vest for Jentetjønn, noe som antakelig gir tilførsel av grunnvann fra området utenfor Jentetjønns nedbørsfelt. Myrkomplekset tåler en større innlekkasje til tunnel enn Jentetjønn, og det er dermed Jentetjønn som styrer kravet for dette strekket (Tabell 5-3).

Selv med strenge tetthetskrav er Jentetjønn spesielt utsatt for redusert vannstand, og det anbefales derfor å overvåke vannstanden i Jentetjønn under anleggsfasen for å kunne iverksette ekstra tetttiltak dersom vannstanden reduseres.

#### 5.1.3.5 Tålegrense ved østgående profil 9 100–9 628

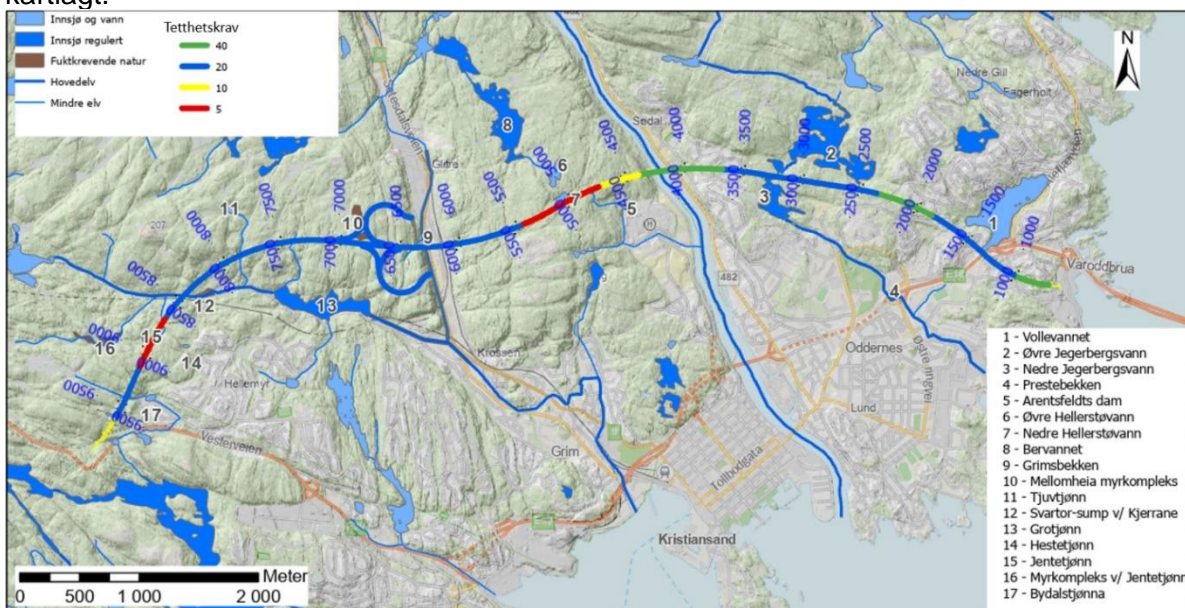
Tålegrense på <20 l/min per 100 m er satt med hensyn til Bydalstjønn. Tjernet er beregnet til å ha en større toleranse for innlekkasje enn både Jentetjønn og Hestetjønn. Kartlagte svakhetssoner krysser trolig både Bydalstjønn og tunnelen, og kan føre til økt innlekkasje til tunnel. I tillegg til Bydalstjønn befinner det seg flere mindre vann i dette området. Vannene har blitt helt eller delvis fylt ut som del av tilstøtende prosjekt og vannene er derfor ikke vurdert å være styrende tetthetskrav. Dette gjelder Grauthellertjønn og Tvitjønn.

#### 5.1.4 Oppsummering tålegrense med hensyn til naturmiljø

For vurdering av tålegrense er det tatt hensyn til hvordan vannforekomster, fuktgivende natur og nedbørsfelt ligger i forhold til tunneltrase og influensområde. I en forenklet tilnærming antas det at innlekkasjen til tunnelen fordeles over hele influensområdet. Andel av influensområdet som overlappes av nedbørsfeltet er hensyntatt (Tabell 5-3). For vann som ligger direkte over tunneltraseen er det antatt at senkningstrakten av grunnvannsspeilet vil ha

større effekt på vannet enn for vann som ligger lenger ut i influensområdet. Figur 5-4 viser tålegrenser for innlekkasje med hensyn til vannforekomster og fuktikrevende natur. Merk at tetthetskravet i flere områder er lavere enn tålegrensene angitt på Figur 5-4 på grunn av hensyn til setningsømfintlighet.

Selv med satte tetthetskrav vil det være restrisiko for skade på naturmiljø. De mest utsatte forekomstene er Nedre Hellerstøvann og Jentetjønn. Begge forekomstene befinner seg like over tunneltraseen med kartlagte svakhetssoner som krysser både tunnel og vann. Sprekkesystem kan ha større utstrekning i dypet enn det som er kartlagt på overflaten. Utstrekningen av tetthetskravene har blitt satt lenger ut fra de nevnte forekomstene for å minimere risiko. Det vil, til tross for dette, kunne forekomme forhold i dypet som ikke har blitt kartlagt.



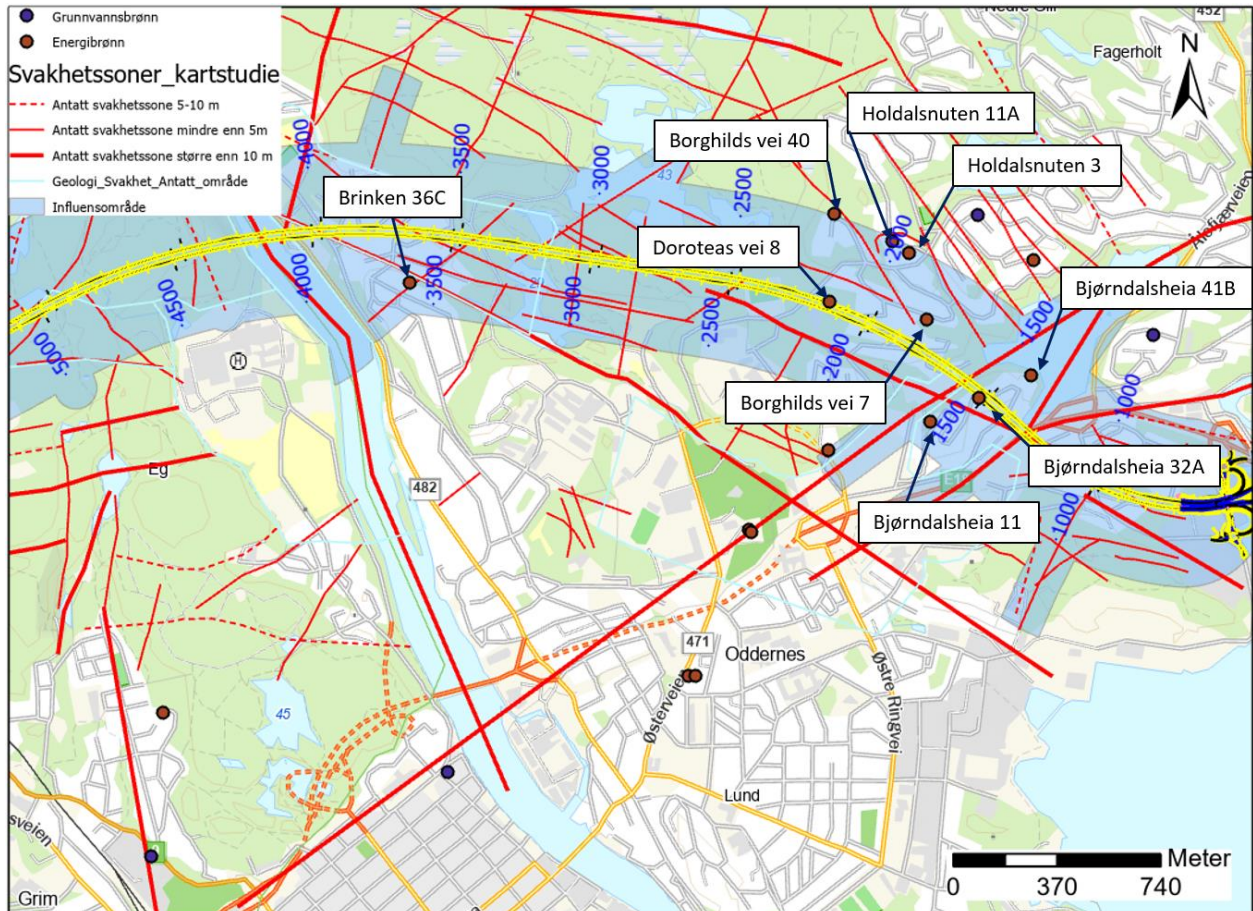
Figur 5-4: Maksimalt akseptabelt innlekkasjemengde for tunnel med hensyn til vannforekomster og fuktikrevende natur sin tålegrense. Merk at endelige tetthetskrav stedvis er lavere av hensyn til setningsømfintlighet. Merk at Vollevann er regulert, selv om det er vist som uregulert på figuren.

## 5.2 Hensyn til eksisterende brønner

Private brønner registrert i NGUs database GRANADA eller som ble meldt inn av eiere i forbindelse med oppstart av reguleringsplanarbeidet som ligger mindre enn 300 m fra tunneltraseen er listet i tabell 5-4. Det er forventet at ekstra hensyn må tas til disse. De to private brønnene i Bjørndalsheia 32A og Doroteas vei 8 vil gå tapt som følge av utbygging av tunnelen. Brønnene ligger like over traseen og må derfor tettes før anleggsfasen for å unngå utgang av injeksjonsmasse. Energibrønner i Borghilds vei 7 og Bjørndalsheia 41B ligger henholdsvis 90 og 150 m fra tunneltraseen. Det er usikkert i hvilken grad de to brønnene vil påvirkes som følge av tunnelens antatte influensområde. Energibrønn i Bjørndalsheia 11 ligger på andre siden av en svakhetssone (figur 5-5) og er dermed mindre sårbar mot påvirkning. Basert på ingeniørgeologisk kartlegging er det en antatt steil svakhetssone mellom brønnen og tunnelen [18]. Denne sonen kan være mindre fremtredende i dypet, men likevel forventes det at denne brønnen ikke vil bli ødelagt av injeseringsmasse. Brønnen ved

Brinken 36C befinner seg 160 m fra traseen og ligger også på andre siden av en svakhetszone og er dermed mindre sårbar mot påvirkning. Energibrønnene ved Holdalsnuten 3 og 11A er like ved ytterkanten av influensområdet og forventes i liten grad å bli påvirket av utbygging av tunnelen.

Tunneltraseen forventes ikke å komme i konflikt med mulige fremtidige energibrønner ved UiA, eller øvrige brønner som er registrert i GRANADA.





Tabell 5-4: Oversikt over innmeldte energibrønner som ligger mindre enn 300 m fra tunnelen.

Brønntype	Plassering	Avstand til tunneltrasé
Energibrønn	Bjørndalsheia 32A	0 m
Energibrønn	Doroteas vei 8	0 m
Energibrønn	Borghilds vei 7	90 m
Energibrønn	Bjørndalsheia 41B	150 m
Energibrønn	Brinken 36C	160 m
Energibrønn	Bjørndalsheia 11	170 m
Energibrønn	Holdalsnuten 3	270 m
Energibrønn	Holdalsnuten 11A	280 m
Energibrønn	Borghilds vei 40	300 m

### 5.3 Hensyn til setningsutsatte områder

Det er identifisert flere områder hvor det er strenge krav til hva som kan aksepteres av poretryksreduksjon for å unngå skadelige setninger. De mest setningsutsatte områdene er i Bjørndalen og Eg (tabell 4-2). Der hvor selv en beskjeden grunnvannssenkning kan medføre setningsrisiko er det gjort en mer detaljert vurdering av utbredelse av influensområde (enn vist i figur 5-2). Dette kapittelet tar derfor for seg en mer detaljert vurdering av influensområdet ved Eg, Bjørndalen og Sødal med ulike scenarier av innlekkasje i tunnel.

#### 5.3.1 Teoretisk beregning av influensområde

For å vurdere utbredelse av influensområdet er det hensiktsmessig å vurdere utbredelse av senkningstrakten. Ettersom innlekkasje i tunnel ofte forekommer som punktlekkasjer vil innlekkasjen i praksis fungere som en brønn. Det er derfor benyttet formel utviklet for å beregne senkningstrakten i en brønn [41]:

$$y_{max} = \pm \frac{QL}{k(h_1^2 - h_2^2)} \quad 5-1$$

$$x_0 = \frac{-QL}{\pi k(h_1^2 - h_2^2)} \quad 5-2$$

Der

k = hydraulisk konduktivitet (m/s)

h<sub>1</sub> = øvre potensialnivå (m)

h<sub>2</sub> = nedre potensialnivå (m)

Q = pumperate (m<sup>3</sup>/s)

L = avstand mellom h<sub>1</sub> og h<sub>2</sub>

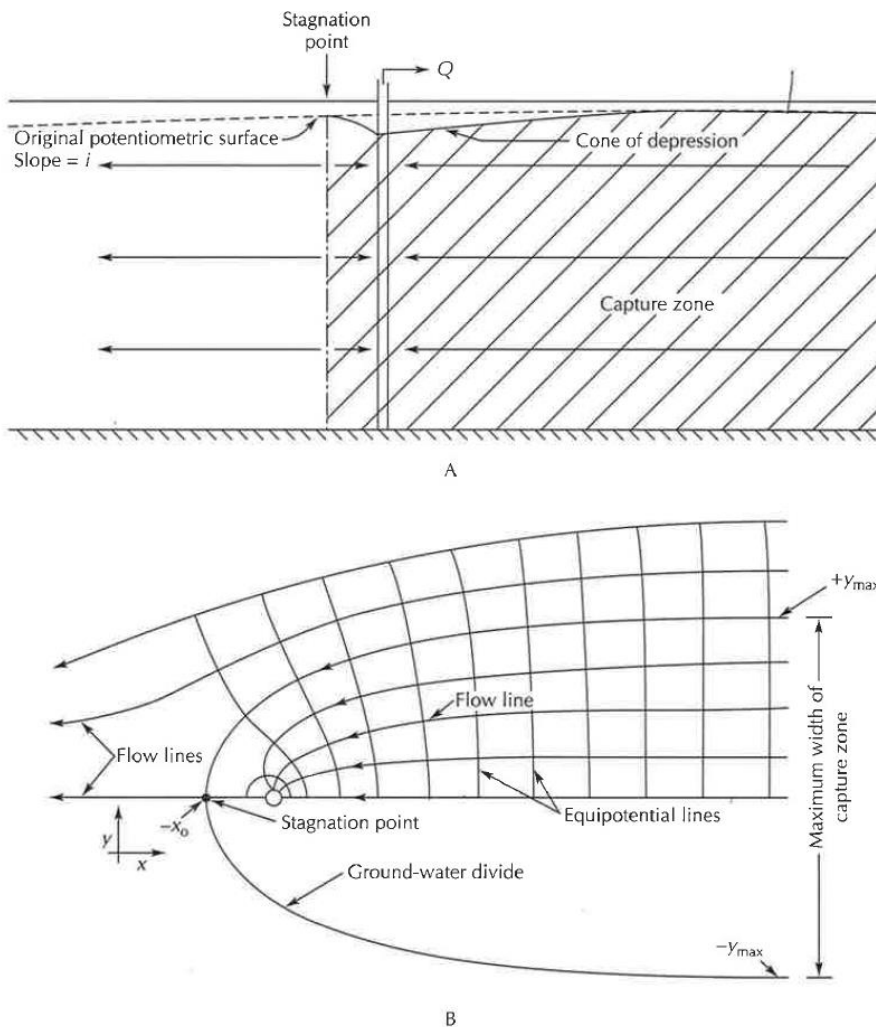
Y<sub>max</sub> = maks bredde på senkningstrakten når x (avstand fra brønnen) går mot uendelig (m)

X<sub>0</sub> = avstand fra pumpebrønn til nedstrøms stagnasjonspunkt

Denne beregningsmetoden forutsetter følgende:

- Homogen og isotrop akvifer med uendelig horisontal utbredelse
- Uniform strø mning
- Stabile strø mningsforhold (steady-state)

Figur 5-6 skisserer hva formelen beskriver, der  $x_0$  er nedstrø ms stagnasjonspunkt, og  $y_{max}$  er maksimal bredde på senkningstrakten. Oppstrø ms vil senkningstrakten gå mot uendelig.



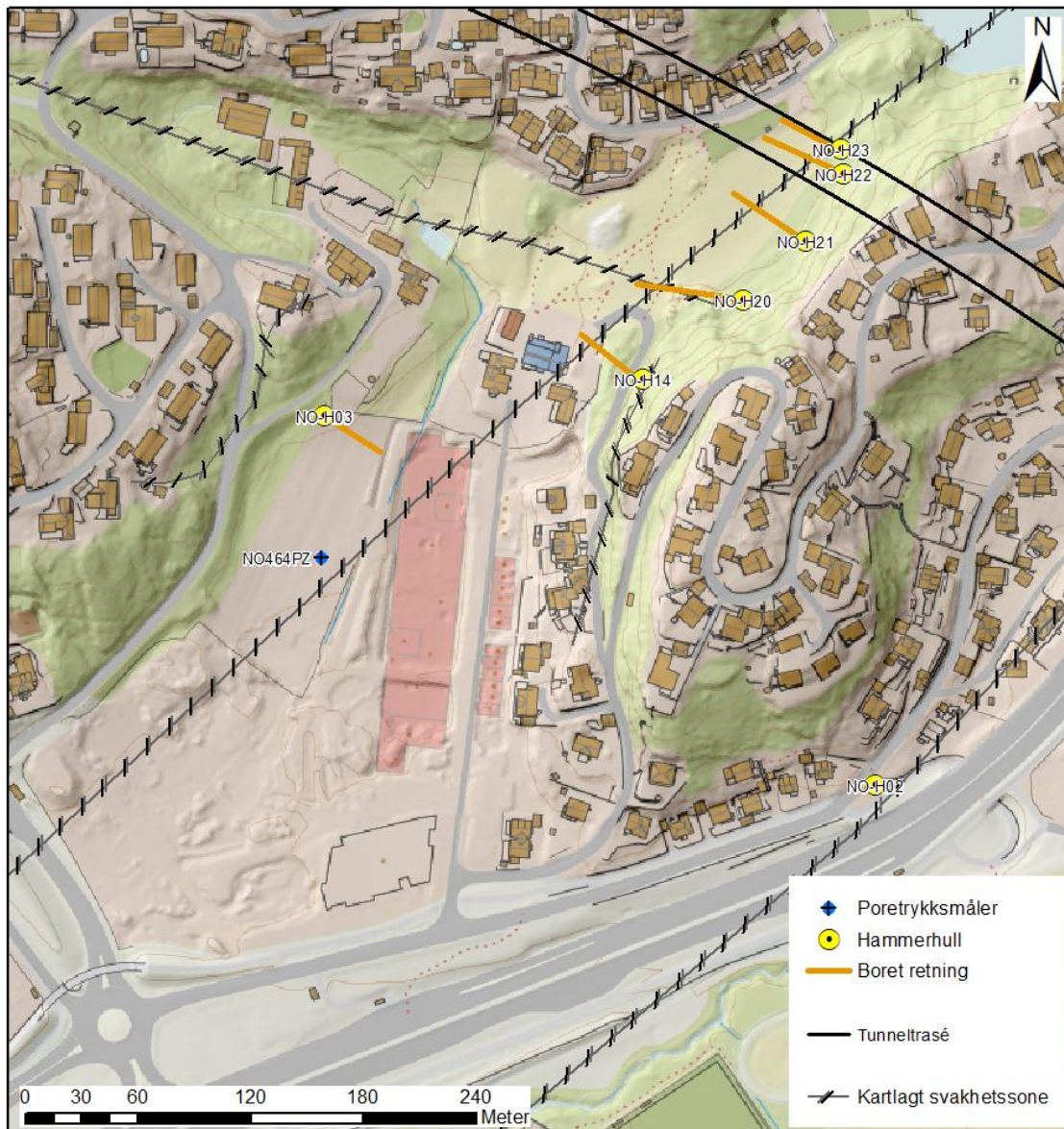
Figur 5-6: Skisse over stagnasjonspunkt, og utbredelse av senkningstrakt [42].

Grunnvann i berg beveger seg i sprekker og kanaler, ofte med ulik strø mning i de ulike sprekkenes. Dersom man har en kilde oppstrø ms med nydanning av grunnvann, vil senkningstrakten også bli noe annerledes. Forutsetningene for beregning av senkningstrakt er dermed ikke oppfylt og det vil være usikkerhet knyttet til denne beregningen. Resultatene kan likevel brukes for å gi en indikasjon på hvor langt ut man kan forvente at senkningstrakten kan strekke seg.

### 5.3.2 Tolket influensområde ved Bjørndalen

#### 5.3.2.1 Teoretisk beregning av influensområde

For å teoretisk beregne utstrekning av senkningstrakten ved en gitt lekkasje trenger man informasjon om grunnvannsgradient og hydraulisk ledningsevne. Data fra hammerhullene ved Bjørndalen er benyttet (tabell 5-5). I tillegg er det installert en poretrykksmåler (NO464PZ) like over berg i Bjørndalen.



Figur 5-7: Oversikt over hammerhull og poretrykksmåler ved Bjørndalen. Det er også angitt hvilke verdier som er benyttet i formel 5-1 og 5-2. Kartlagte svakhetssoner som strekker seg fra Vollevannet og sydover under Bjørndalen er også skissert. Tunneltrasé er vist med tykk sort linje.

Tabell 5-5: Hammerhull og grunnvannstand benyttet som inputdata i beregning av influenssone i Bjørndalen.

Lokalitet	Grunnvannstand før oppstart pumpetest (moh)	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
NO-H14	19,9	6,3*10 <sup>-7</sup> fra vanntapsmålinger
NO-H20	22,2	
NO-H21	22,9	3,3*10 <sup>-7</sup> fra pumpetest
NO-H22	24,8	
NO-H23	23,7	

Beregningen er basert på en teoretisk uendelig lang helning der en eventuell infiltrasjon fra Vollevannet ikke hensyntas. Grunnvannstanden synker mot Bjørndalen, med en gradient på 0,02.

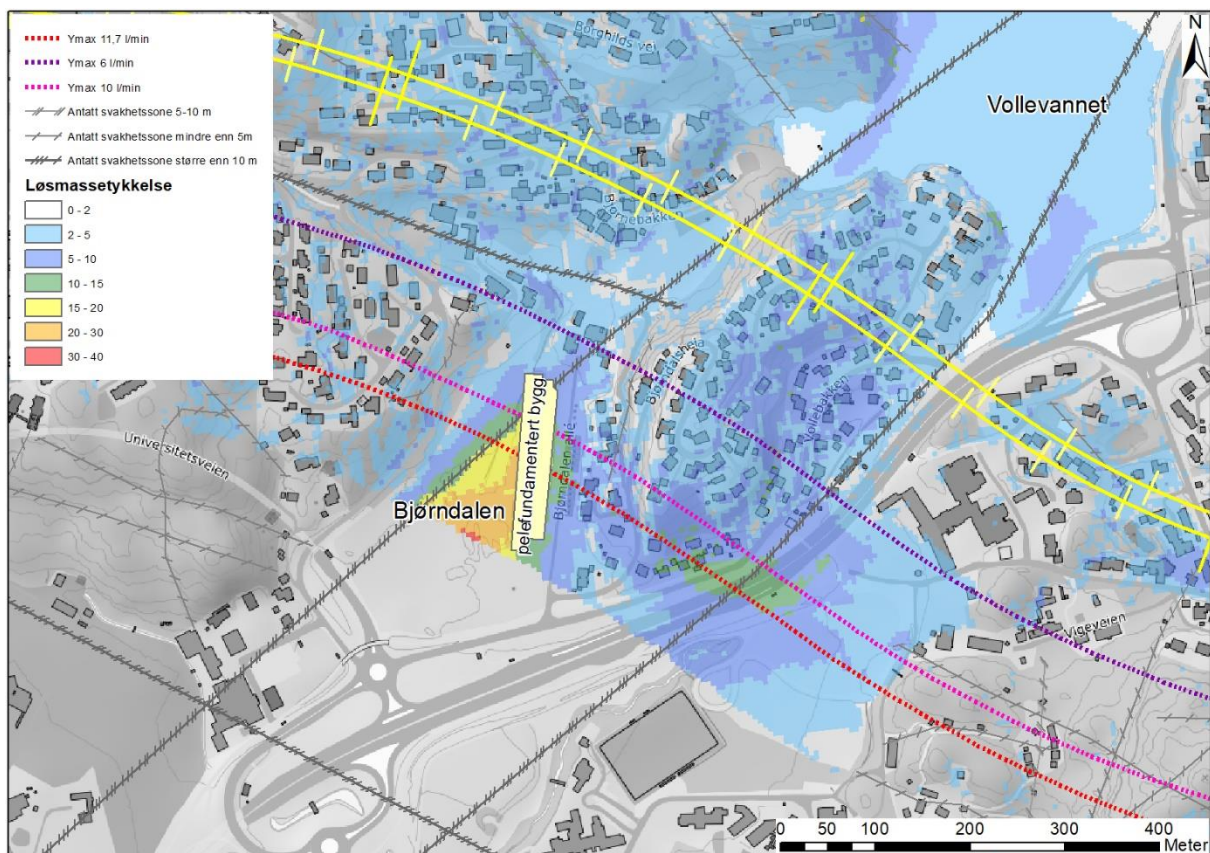
Det er kun én vanntapsmåling som viser  $k=6,3 \cdot 10^{-7}$  m/s, øvrige vanntap viser lavere hydraulisk konduktivitet. Denne verdien er likevel benyttet fordi bergmodellen viser at intervallet treffer den dominerende svakhetssonen i området som også gjennomskjærer tunnelen. Tabell 5-6 og figur 5-8 viser beregnet utbredelse av senkningstrakten med ulike tetthetskrav.

Tabell 5-6: Beregnet utbredelse av senkningstrakt med ulike tetthetskrav ved Bjørndalen.

Grunnvannsutttak (l/min)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Y <sub>max</sub> (m)	X <sub>0</sub> (m)
6 (3 l/min * 2 løp)	0,0001	160	50
10 (5 l/min * 2 løp)	0,00017	260	80
11,7 (pumperate)	0,00020	300	100

De teoretiske beregningene av influensområdet sammenliknes med målt senkningstrakt under lang-tids pumpetest. Målt grunnvannssenkning på 0,5 m lå 114 m fra pumpebrønnen. Dette viser at målt senkningstrakt strekker seg lenger enn X<sub>0</sub> (100 m). Det er ingen tegn på poretrykksreduksjon 300 m fra pumpebrønnen, dette er akkurat på Y<sub>max</sub>-grensen. Målingene sammenfaller med de teoretiske beregningene av Y<sub>max</sub>. Det er usikkert om Y<sub>max</sub> overestimerer faktisk utstrekning, og målinger i NO-H03 under lang-tids pumpetest viser ingen avsenkning, 275 m unna. Denne testen antyder at Y<sub>max</sub> kan gi en viss pekepinn på forventet utstrekning av influensområdet.

Ved teoretisk beregning går senkningstrakten mot uendelig oppstrøms, men ved pumping var senkningstrakten mindre oppstrøms (mot nord) enn nedstrøms. Dette har mest sannsynlig sammenheng med infiltrasjon av vann fra Vollevannet. Vanninfiltrasjon kompenserer for senkningen.



Figur 5-8 Estimert influenssone ved Bjørndalen med tre ulike innlekkasjerater. Tunneltraseen er vist som i gul linje.

Beregningene viser at estimert senkningstrakt ikke strekker seg bort til setningsømfintlige områder i Bjørndalen med en innlekkasje på 3 l/min per 100 m. Senkningstrakten strekker seg bort til eksisterende bygg. Det er ukjent hvordan byggene er fundamentert, men tilgjengelige grunnundersøkelser i omkringliggende områder antyder forholdsvis liten løsmassemekthet (det vil si <5 m) [43]. Det anses derfor ikke som kritisk med en grunnvannssenkning på noen cm i dette området. Ved 5 l/min per 100 m pr. løp ligger estimert senkningstrakt like under bygg som er fundamentert på RD-peler i Bjørndalen. Det er store usikkerheter i teoretiske beregninger og hvordan dette har sammenheng med praktisk innlekkasje i tunnel. Resultatene viser at små endringer i innlekkasje kan ha stor påvirkning på utstrekning av influenssonen til tunnelen. Det påpekes at poretrykket i leira i Bjørndalen også kan bli påvirket av andre forhold, som bl.a. den pågående utbyggingen av boliger.

### 5.3.3 Tolket influensområde ved Eg

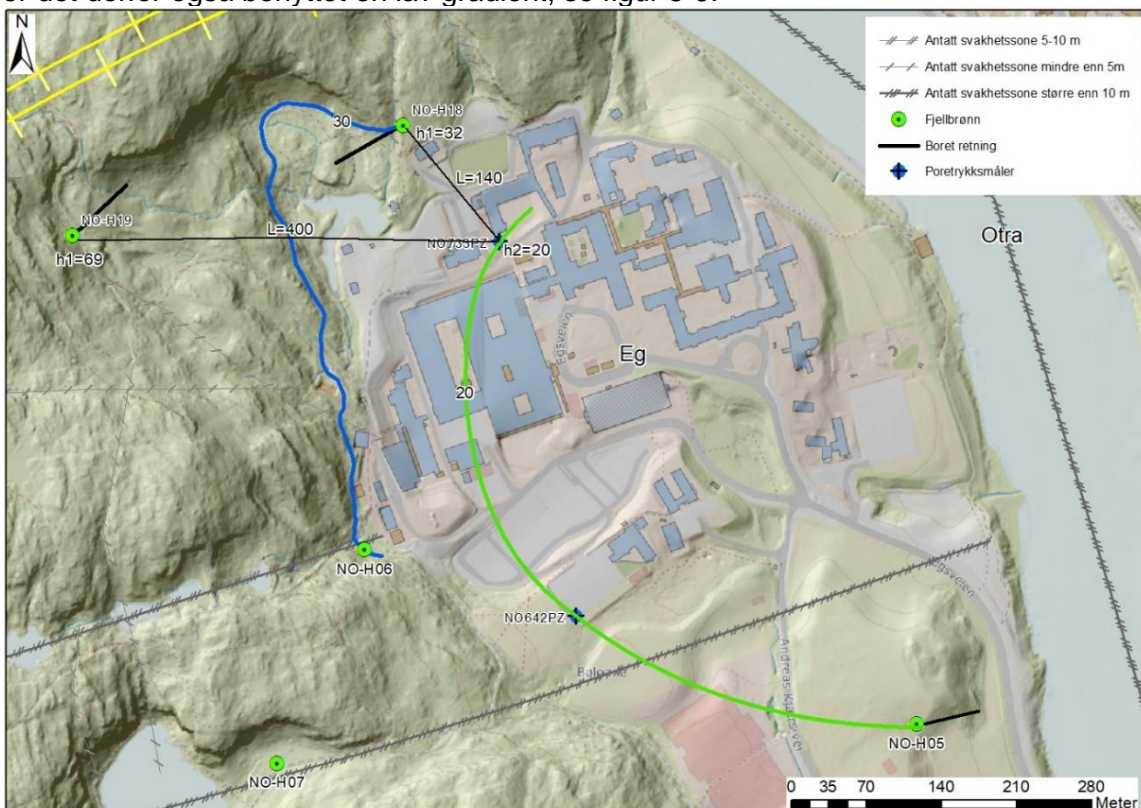
For å beregne utbredelse av senkningstrakten/influensområdet ved Eg har data fra flere hammerhull og poretrykksmålere blitt benyttet. Se Tabell 5-7 for verdier som er benyttet for grunnvannspotensiale og hydraulisk konduktivitet.

Tabell 5-7: Målepunkter benyttet for å vurdere grunnvannspotensiale ved Eg.

Lokalitet	Grunnvannspotensiale (moh)	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
NO-H18	32	$3,4 \cdot 10^{-7}$
NO-H19	69	$3,5 \cdot 10^{-7} / 1,2 \cdot 10^{-6}$ (målte verdier, men ikke benyttet i formel 7.1)
NO-H05	21	
NO-H06	31	
NO-H07	43	
NO642	21	
NO733PZ	19	

For hydraulisk ledningsevne er resultatene fra NO-H18 benyttet, der høyeste målte vanntap tilsvarer  $k=3,4 \cdot 10^{-7}$  m/s.

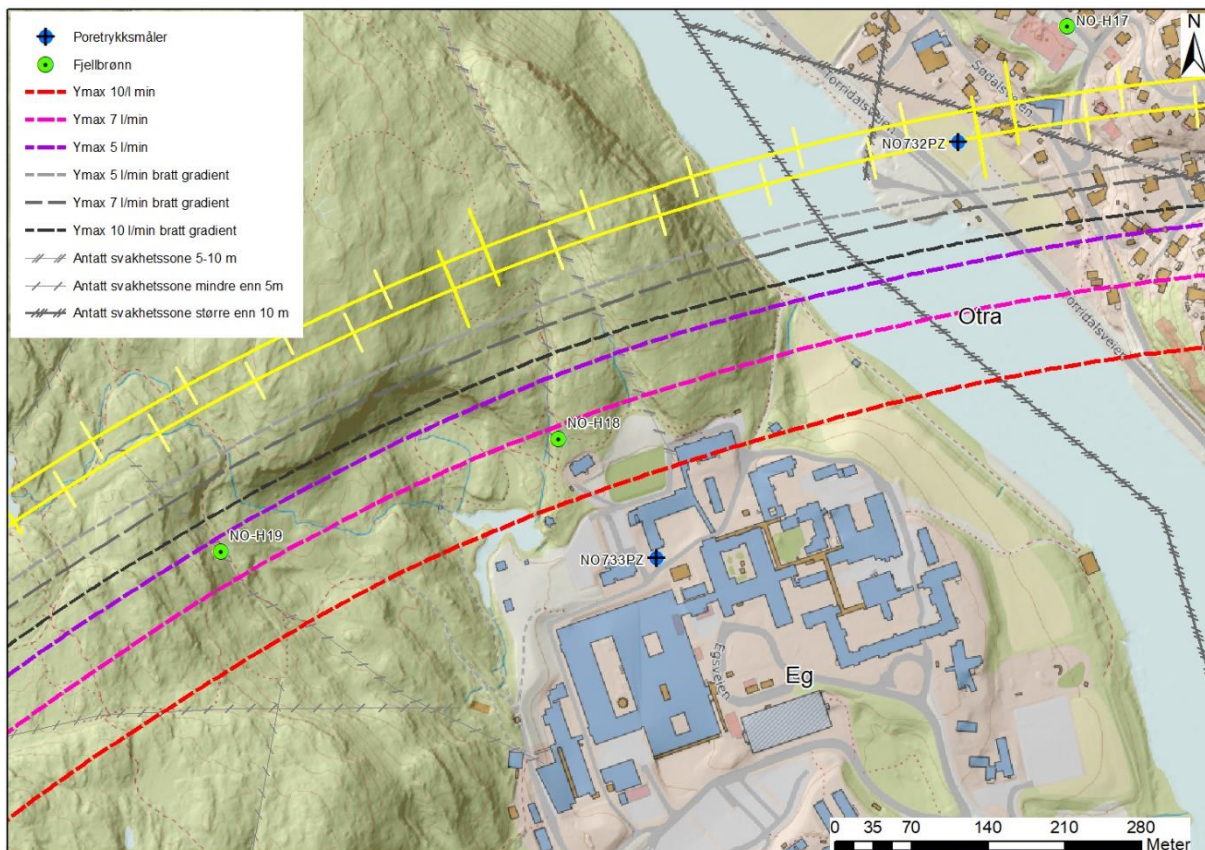
Gradienten som benyttes i beregningen har stor betydning for utstrekningen av senkningstrakten ( $y_{\max}$  og  $x_0$ ), der høy gradient gir liten utstrekning. Det er forholdsvis få grunnvannsmålinger som gir et sikkert estimat på gradient, ettersom de er lokalisert et stykke fra traseen. På grunn av potensielt store konsekvenser ved senket grunnvannstand ved Eg er det derfor også benyttet en lav gradient, se figur 5-9.



Figur 5-9: Oversikt over hammerhull og poretrykksmålere på og ved Eg. Vannstand i hammerhullene sammen med terrenghotene er benyttet til å tolke ekvipotensiallinjer, der blå linje tilsvarer grunnvannstand på 30 moh og grønn linje 20 moh. Det er også angitt hvilke verdier som er benyttet i formel 5-1 og 5-2.

Tabell 5-8: Beregnet utbredelse av senkningstrakt med ulike tetthetskrav ved Eg.

Tetthetskrav (l/min per 100 m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Y <sub>max</sub> (m) Forventet gradient	X <sub>0</sub> (m)	Y <sub>max</sub> (m) lav gradient
5 * 2 løp	0,00017	45	14	111
7 * 2 løp	0,00023	63	20	154
10 * 2 løp	0,00033	90	29	20



Figur 5-10: Estimert senkningstrakt ved Eg med tre ulike innlekkasjerater med brattest og slakest gradient i tunnel på en 100 m lang strekning. Tunneltraseen er vist som i gul linje.

Beregningene viser forholdsvis store variasjoner i influensområdet (figur 5-10). Med estimert gradient, der det antas at grunnvannstanden på 30 moh. strekker seg rundt Eg kan innlekkasje på 10 l/min per 100 m aksepteres. Dersom man antar en mer forsiktig gradient (mindre bratt) blir influenssonen større. Likevel vil ikke senkningstrakten strekke seg bort til Eg med en innlekkasje på 7 l/min per 100 m. Ettersom det er en stor konsekvens ved senkning av grunnvann og det er store usikkerheter knyttet til disse beregningene, anbefales et tetthetskrav på 7 l/min per 100 m per tunnelløp ved Eg.

Basert på pumpetest i NO-H19 kan man bruke spesifikk kapasitet til å estimere hvor mye grunnvannet senkes ved et gitt grunnvannsuttak. Hammerhullet har en spesifikk kapasitet på 0,06 l/s per meter senkning, og et uttak på 14 l/min vil medføre 4 m grunnvannssenkning.

Dersom man antar tilsvarende hydrauliske forhold for tunnelen, ville tetthetskravene medføre en grunnvannssenkning på ca. 4 m rett over traseen. Denne senkningen forutsetter at alt vannet hadde blitt tatt ut i en punktlekkasje. Dersom lekkasjen hadde vært spredt over en lengde på 100 m ville grunnvannssenkningen vært mindre.

#### 5.3.4 Tolket grunnvannssenkning ved Sødal

Det er ikke tilstrekkelig antall grunnvannsmålepunkter til å beregne senkningstrakten ved Sødal. I dette området er uansett grunnvannssenkningen like over traseen mest interessant, ettersom tunnelen går rett under setningsømfintlige løsmasser. Reduksjon i grunnvannstand kan estimeres ved hjelp av pumpeprøver. Det er forhold ved NO-H17 som tyder på til dels svært vannførende svakhetssoner, basert på observasjoner ved boring og borehullslogging. Det ble blant annet registrert vanninnslag på 5 000 l/time ved ca. 40 m boret dybde. Dette var i en svakhetsone som også forventes å gjennomskjære tunnelen. Det er stedvis høy vannføring i berget. Dette kan gi grunnlag for å anta at man har høyere vannføring enn ved NO-H19, som har en spesifikk kapasitet på 0,06 l/s per meter senkning. Om man antar lik spesifikk kapasitet i NO-H17 vil et uttak på totalt 10 l/min per 100 m gi en senkning på 2.8 m. Et uttak på 6 l/min gir en grunnvannssenkning på 1,7 m. Dersom man skal opprettholde kravet om maks 2 m grunnvannssenkning i Sødal tilsvarer dette et tetthetskrav på 3 l/min per 100 m, per tunnellopp.

#### 5.3.5 Tetthetskrav ut fra setningshensyn

Ved Bjørndalen, Sødal og Eg er det spesielt stor risiko for at skadelige setninger kan oppstå. Det er utført teoretiske beregninger og pumpeprøver for å estimere forventet influensområde og grunnvannssenkning langs traseen.

Ved Bjørndalen, Sødal og Eg anbefales det derfor å styre tettearbeider etter målt grunnvannstand i hammerhull og poretrykk i leire. Terskelverdier for tillatt grunnvannssenkning er vist i tabell 5-10. Det må planlegges for avbøtende tiltak slik at grunnvannssenkningen til enhver tid er mindre enn terskelverdi.

For å opprettholde et akseptabelt grunnvannsnivå må det forventes omfattende injeksjon, spesielt ved Bjørndalen. Det anbefales at grunnvannstand og poretrykk overvåkes, slik at tiltak kan iverksettes umiddelbart dersom det er fare for at grunnvannstanden synker under terskelverdi. Det anbefales å ha infiltrasjonsbrønner i beredskap før arbeidene starter opp.

De anbefalte tetthetskravene basert på setningshensyn er listet opp i tabell 5-9. Det antas at dersom anbefalte tetthetskrav oppnås vil det ikke forekomme skadelige setninger på omgivelsene. Beregningene som ligger til grunn for tetthetskravene og målinger av innlekkasje i tunnel er imidlertid forbundet med store usikkerheter og det vil være en restrisiko for at setninger kan oppstå på tross av omfattende avbøtende tiltak.



Tabell 5-9: Oversikt over tetthetskrav satt ut fra setningshensyn.

Fra profil (øst-gående)	Til profil (øst-gående)	Fra profil (vest-gående)	Til profil (vest-gående)	Tetthetskrav (l/min per 100 m)	Kommentar
683	1 550	714	1 570	<5	Vige: tett bebyggelse, lokale områder med setningsømfintlige løsmasser
1 550	1 700	1 570	1 700	<3	Bjørndalen: området er under utbygging, svært setningsømfintlige løsmasser.
1 700	2 000	1 700	2 000	<5	Bjørndalen: området er under utbygging, svært setningsømfintlige løsmasser
2 000	3 650	2 000	3 660	<10	Jegersberg: lite løsmasser, men setningsømfintlige løsmasser uten bebyggelse 200 m sør for traseen. Bebyggelse på antatt setningsømfintlige løsmasser 400 m sør for traseen
3 650	3 820	3 660	3 860	<5	Sødal: bebyggelse, setningsømfintlige løsmasser, maks 1-2 m poretrykksreduksjon. Må derfor i stor grad opprettholde grunnvannpotensialet.
3 820	4 160	3 860	4 200	<3	Sødal: bebyggelse, setningsømfintlige løsmasser, maks 1-2 m poretrykksreduksjon.
4 160	4 820	4 200	4 850	<7	Eg, nord for svært setningsømfintlige løsmasser
4 750	6 060	4 780	6 120	Ingen krav	Bymarka, ingen setningsømfintlige løsmasser
6 070	6 270	6 120	6 320	<10	Dalane, ikke setningsømfintlige løsmasser, men kan bli setninger ved > 3 m grunnvannssenkning
6 270	9 559	6 320	9 628	Ingen krav	Mellomheia, Kjerrane, Grauthelleren. Ingen bebyggelse, ingen setningsømfintlige løsmasser

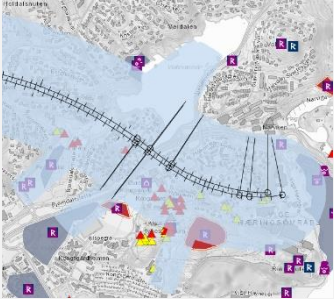
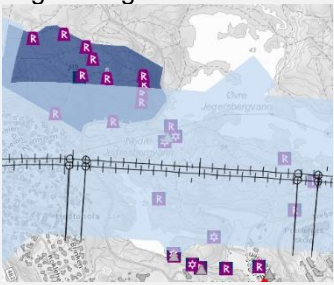
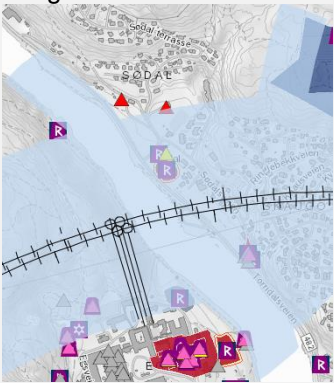
Tabell 5-10: Oversikt over anbefalt maksimal tillatt grunnvannssenkning i etablerte hammarhull langs tunneltraseen.

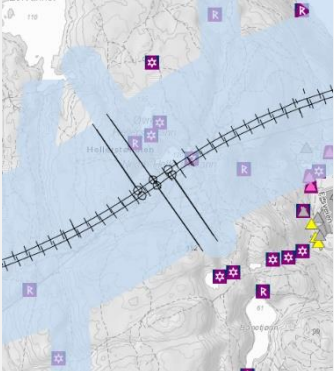
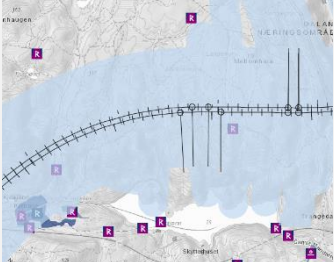
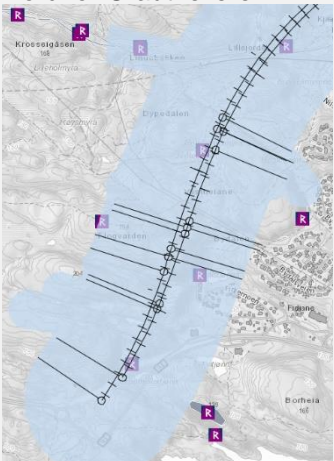
Hull-ID/ poretrykksstasjon	Område	Maksimal endring i grunnvann- stand (m)	Kommentar
NO-H01	Vige	1	49 m fra traseen
NO-H02	Vige	0	250 m fra traseen
NO-H21	Bjørndalen	0,5	25 m fra traseen (det må vurderes om det er fare for inngang av injeksjonsmasse i hullet og om den kan stå åpen under driving)
NO-H20	Bjørndalen	0,15	70 m fra traseen (hammerhullene NO-H21, 22 og 23 ligger antakelig så nærme traseen at de må tettes før anleggsstart for å unngå utgang av injiseringsmasse)
NO-H14	Bjørndalen	0	140 m fra traseen
NO-H03	Bjørndalen	0	230 m fra traseen
NO464PZ	Bjørndalen	0	300 m fra traseen
NO732PZ	Sødal	2	Ligger like over traseen
NO-H18	Eg	0,2	156 m fra traseen
NO-H19	Eg	2	121 m fra traseen
NO733PZ	Eg	0	296 m fra traseen
NO-H08	Dalane	3	45 m fra traseen

#### 5.4 Hensyn til kulturminner

Identifisering og vurdering av kulturlag følsomme for senkning i grunnvannstand er gjort i rapport for Ikke prissatte konsekvenser [4]. Tabell 5-11 lister opp registrerte kulturminner langs traseen som kan påvirkes av senket grunnvannstand. Dette er basert på fagrapport Ikke prissatte konsekvenser [4]. Med utgangspunkt i de tetthetskrav som er anbefalt i denne rapporten er det vurdert om det trengs ytterligere tiltak for å unngå påvirkning på kulturminner.

Tabell 5-11: Kulturminner som kan være utsatt med hensyn til grunnvannssenkning, fra rapport om Ikke prissatte konsekvenser [4]. Fredede kulturminner er markert med (f), influenssone er vist i lyseblått.

Kartutsnitt	Kulturminner	Vurdering
<p>Vige og Bjørndalen:</p> 	<p>Kulturlag: de fleste kulturminner i grunnen er fjernet. Det er kulturlag på Kongsgårdsletta (f)(ID141967) som ligger delvis innenfor influensområdet. Disse er sårbare for grunnvannssenkning hvis grunnvannstand står høyt (oppe i organiske lag).</p> <p>Bygninger: det er verneverdige bygninger tilknyttet Vest-Agder fylkesmuseum, flere SEFRAK-registrerte bygninger. Disse er sårbare hvis senkning av grunnvannstand medfører setninger.</p>	<p>Svært strenge tetthetskrav, begrenser senkning av grunnvannstand i området [34]. Forventer ingen effekt på kulturminner.</p>
<p>Jegersberg:</p> 	<p>En rekke kulturminner vurderes ikke utsatt ved grunnvannssenkning, som veianlegg, krigsminne, spor av gruvedrift, tufter. Kulturminnene er ikke fredet.</p> <p>Demninger tilknyttet Jegersberg: redusert lesbarhet ved eventuell senkning i vannstand</p>	<p>Forventer ingen effekt på kulturminner.</p>
<p>Langs Otra:</p> 	<p>Spor av teglverket (ID155583). Vurderes ikke utsatt.</p> <p>Kulturlag ved Sødal (f)(ID106556). Sårbare for grunnvannssenkning hvis grunnvannstand står høyt (oppe i organiske lag).</p> <p>Kalkverk ved Sødal (f)(ID87026). Sårbart for senkning i grunnvannstand som medfører setninger.</p> <p>Fredet del av sykehuset og kulturlag på Eg ligger utenfor for influensområde, med unntak av sykehusets naust (f)(ID148694-8).</p>	<p>Grunnvannstand ligger under topplag ved Sødal. Det er satt svært strenge tetthetskrav for å unngå setninger på bygg. Forventer ingen effekt på kulturminner.</p>

Kartutsnitt	Kulturminner	Vurdering
<p>Vest for Eg:</p> 	<p>Fredede og verneverdige bygninger nord på sykehusområdet. Sårbar hvis senkning av grunnvannstand medfører setninger.</p> <p>En rekke verneverdige kulturminner på heia. Ikke sårbare for grunnvannssenkning i seg selv, men mange av dem er demninger og lignende i tilknytning til dammer.</p>	<p>Det er satt strenge tetthetskrav for å unngå senkning av grunnvannstand og setninger på bygg.</p> <p>Forventer ingen effekt på kulturminner.</p>
<p>Vest for Dalane:</p> 	<p>Gravminne (f), heller (f), veianlegg, Husmannsplass Kjerrane. Disse lokalitetene vurderes ikke utsatt ved eventuell grunnvannssenkning.</p> <p>Demning ved Grotjønn: redusert lesbarhet ved senkning av vannstand.</p>	<p>Tetthetskrav er vurdert for å bevare vannstand i blant annet Grotjønn.</p> <p>Forventer ingen effekt på kulturminner.</p>
<p>Nord for Grauthelleren:</p> 	<p>Heller (f), tuft, varde, løsfunn. Lokaliteter som ikke er utsatt ved eventuell grunnvannssenkning.</p>	<p>Forventer ingen effekt på kulturminner.</p>

## 6 Tetthetskrav

Det vil, til tross for de vurderinger og beregninger som er gjort for å bestemme tetthetskrav, alltid være en risiko for å påvirke omgivelsene ved bygging av tunnel. I de mest sårbare områdene er tetthetskravene satt til det laveste kravet som er mulig å oppnå med konvensjonelle metoder og uten uforholdsmessige tiltak. Områdene som er særlig utsatte for innlekkasje til tunnel er Nedre Hellerstøvvann, Jentetjønn, Bjørndalen, Eg og Sødal. Ved disse områdene det vil være størst restrisiko.

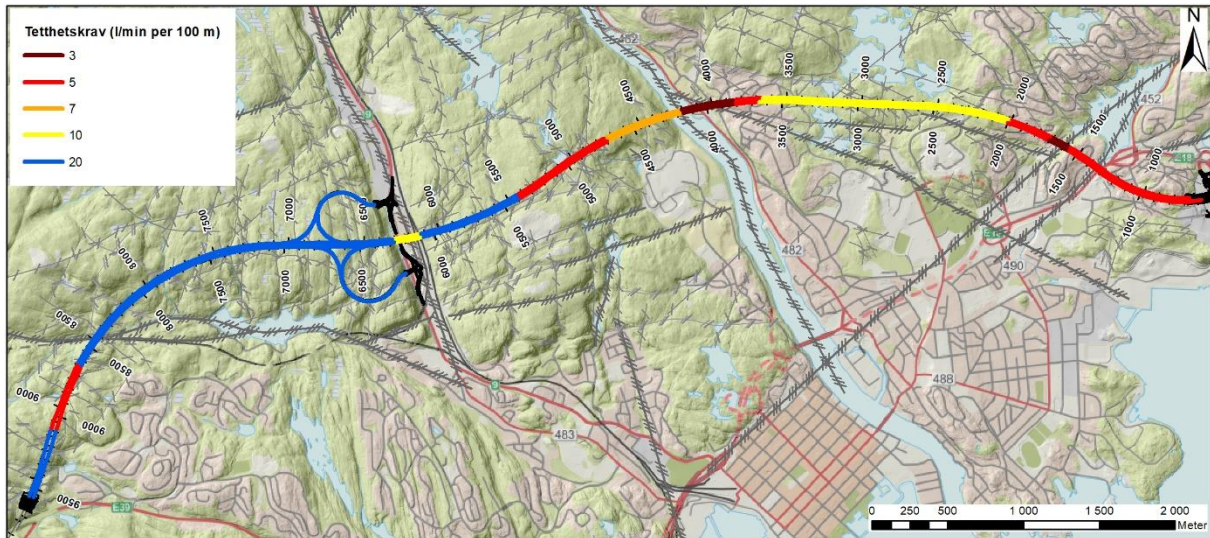
Tetthetskravene er basert på foreliggende grunnundersøkelser med hydrogeologiske vurderinger og beregninger. Det er usikkerhet knyttet til vurderingen, og det vil være forhold som ikke blir avdekket med grunnundersøkelsene. Derfor anbefales det å overvåke grunnvannstand, vannstand og poretrykk før, under og etter anleggsfasen. Dersom man ser at poretrykket i setningsutsatte områder reduseres, eller at vannstand i små tjern reduseres, må det iverksettes ekstra tetttiltak for å unngå uønskede konsekvenser.

### 6.1 Anbefalte tetthetskrav for tunneltraseen

For en samlet vurdering av tetthetskrav i tunnel er ytre miljø og setningsømfintlige områder hensyntatt. Tetthetskrav er bestemt ut fra den faktoren som setter de strengeste kravene. Profillengder med anbefalte tetthetskrav er listet i tabell 6-1 og vist i figur 6-1. Tetthetskrav er gitt per tunnellop.

Tabell 6-1: Tetthetskrav for øst- og vestgående tunnelprofil.

Fra profil (øst-gående)	Til profil (øst-gående)	Lengde (m) øst-gående	Fra profil (vest-gående)	Til profil (vest-gående)	Lengde (m) vest-gående	Tetthetskrav (l/min per 100 m)
683	1 550	867	714	1 570	856	<5
1 550	1 700	150	1 570	1 700	130	<3
1 700	2 000	300	1 700	2 000	300	<5
2 000	3 650	1 650	2 000	3 660	1 660	<10
3 650	3 820	340	3 660	3 860	340	<5
3 820	4 160	540	3 860	4 200	550	<3
4 160	4 700	540	4 200	4 750	550	<7
4 700	5 400	700	4 750	5 450	700	<5
5 400	6 070	670	5 450	6 120	670	<20
6 070	6 270	200	6 120	6 320	200	<10
6 270	8 650	2 380	6 320	8 700	2 380	<20
8 650	9 100	450	8 700	9 170	470	<5
9 100	9 559	459	9 170	9 628	458	<20
Ramper og tilførselstunneler i Dalane, total lengde 1 940 m						<20



Figur 6-1: Anbefalte tetthetskrav per løp for tunneltraseen.

## 6.2 Beregnet innlekkasje

Basert på anbefalte tetthetskrav for tunnelen er forventet innlekkasje listet i tabell 6-2. Beregningen estimerer at innlekkasje i tunnelen medfører et totalt grunnvannsuttak på 3 666 m<sup>3</sup> per døgn.

Tabell 6-2: Forventet innlekkasje til tunnel med anbefalte tetthetskrav.

Fra profil (øst-gående)	Til profil (øst-gående)	Lengde (m) øst-gående	Fra profil (vest-gående)	Til profil (vest-gående)	Lengde (m) vest-gående	Tetthetskrav	Innlekkasje (l/min)	Innlekkasje (m <sup>3</sup> /døgn)
683	1 550	867	714	1 570	856	<5	86	124
1 550	1 700	150	1 570	1 700	130	<3	8	12
1 700	2 000	300	1 700	2 000	300	<5	30	43
2 000	3 650	1 650	2 000	3 660	1 660	<10	331	477
3 650	3 820	340	3 660	3 860	340	<5	34	49
3 820	4 160	540	3 860	4 200	550	<3	33	47
4 160	4 700	540	4 200	4 750	550	<7	76	110
4 700	5 400	700	4 750	5 450	700	<5	70	101
5 400	6 070	670	5 450	6 120	670	<20	268	386
6 070	6 270	200	6 120	6 320	200	<10	40	58
6 270	8 650	2 380	6 320	8 700	2 380	<20	952	1 371
8 650	9 100	450	8 700	9 170	470	<5	46	66
9 100	9 559	459	9 170	9 628	458	<20	183	264
Ramper i Dalane		1940				<20	388	559
Total innlekkasje							<b>2 546</b>	<b>3 666</b>

### 6.3 Teoretisk beregning av innlekkasje i tunnel sammenlignet med tetthetskrav

Under gitte forutsetninger og forenklinger kan innlekkasjer i en tunnel beregnes teoretisk ved hjelp av enkle matematiske likninger. I følge Karlsrud [44] kan en vannlekkasje i en injisert tunnel beregnes som følger:

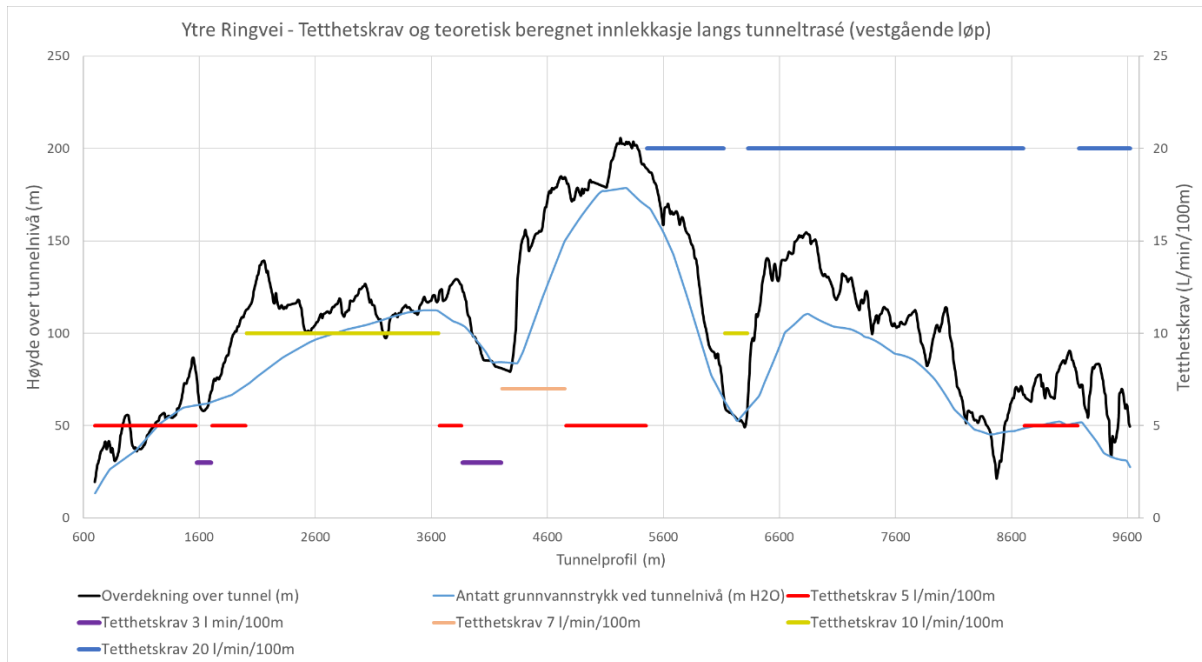
$$Q = \frac{2\pi k_i h}{\ln\left(\frac{r_e + t}{r_e}\right)} \quad \begin{array}{l} k_i = \text{hydraulisk ledningsevne i injisert sone} \\ h = \text{tunnelens dyp under grunnvannsnivå} \\ r_e = \text{tunnelradius} \\ t = \text{tykkelse injisert sone} \end{array} \quad 6-1$$

For en tunnel uten injeksjon (ingen tettarbeid) vil følgende likning gjelde [44]:

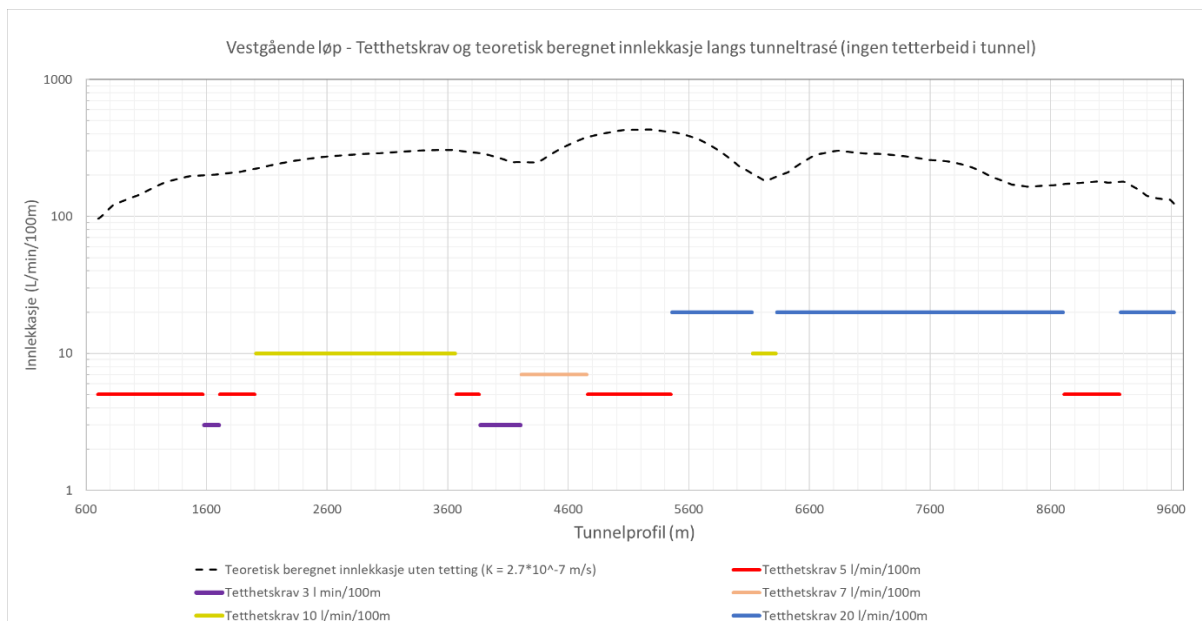
$$Q = \pi k h \frac{2}{\ln\left(2\frac{h}{r_e} - 1\right)} \quad \begin{array}{l} k = \text{fjellets permeabilitet} \\ h = \text{dybde under grunnvannsstand} \\ r_e = \text{ekvivalent radius av tunnelen.} \end{array} \quad 6-2$$

Likning 6-1 forutsetter at tunnelen ligger i et homogent medium med lik hydraulisk konduktivitet i alle retninger og at grunnvannsnivået ikke påvirkes av influenssonen. I tillegg forutsettes det at den hydrauliske ledningsevnen i den injiserte sonen er en tierpotens lavere enn i ikke-injisert sone. Videre betinger formelen at tunnelens radius ikke overstiger 25 % av høyde opp til grunnvannsnivået. Teoretisk beregnet innlekkasje i tunnel er dermed forbundet med en rekke usikkerheter og resultater anses som en grov tilnærming. Imidlertid kan beregningen indikere områder hvor det kan bli utfordrende arbeid i forbindelse med tetting av tunnel i henhold til spesifiserte tetthetskrav.

Erfaringer fra tidligere tunnelprosjekter i Kristiansand tilsier at det ved systematisk forinjeksjon kan oppnås en hydraulisk ledningsevne på mellom  $1 \cdot 10^{-9}$  og  $3.4 \cdot 10^{-9}$  m/s i den injiserte sonen (basert på erfaringstall fra SVV publikasjon 103 [23]). Tykkelse på injisert sone (t) er satt til 10 meter og tunnelradius er satt til 5,25 m. Figur 6-2 viser estimert grunnvannstrykk ved tunnelnivå som er benyttet i beregningen. Figur 6-3 og figur 6-4 gir oversikt over beregnet innlekkasje for henholdsvis tunnel uten injisering og for tunnel som er injisert.

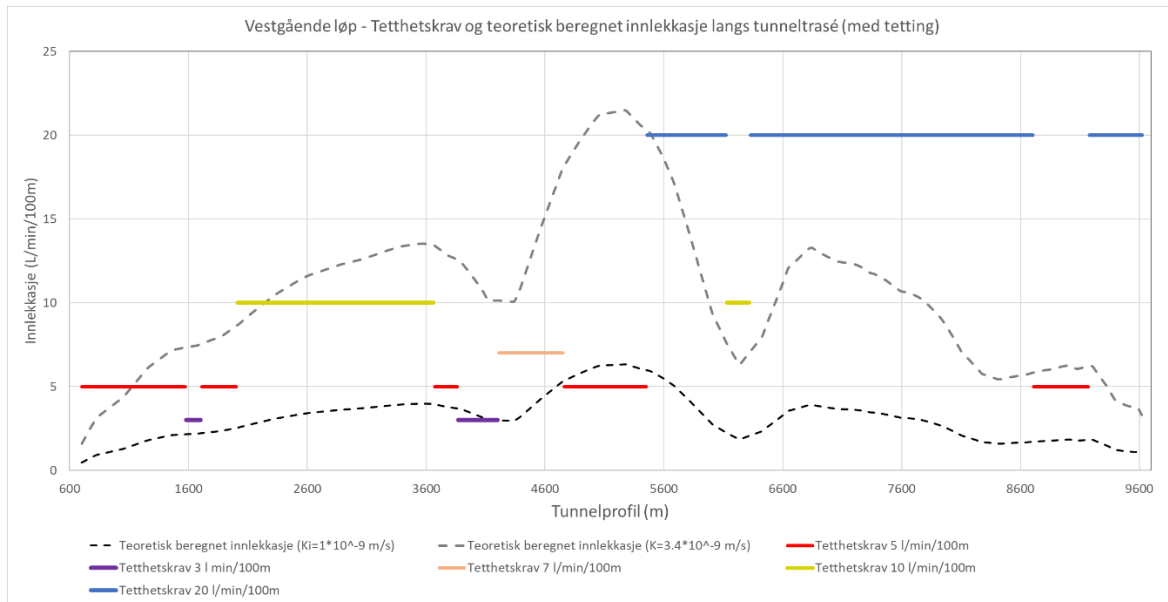


Figur 6-2: Overdekning/terrenghøyde over tunnel og tolket grunnvanstrykk (målt som meter vannsøyle) ved tunnelnivå langs tunneltrasé.



Figur 6-3: Graf som viser teoretisk beregnet innlekkasje langs tunnel for et scenario uten tettearbeid. Y-aksen er logaritmisk.





Figur 6-4: Teoretisk beregnet innlekkasje i tunnel som er injisert.

Basert på beregnet innlekkasje i uttettet tunnel kommer det tydelig frem at det er behov for injisering for å imøtekomme tetthetskravene. Figur 6-4 gir oversikt over forventet innlekkasje i tett tunnel ved «normalt» forventet oppnådd hydraulisk konduktivitet i injisert sone. Beregnet innlekkasje viser at i de aller fleste områdene med strengere krav en <20 l/min per 100 m kreves en svært tett skjerm. Størst utfordring forventes ved Sødal og Nedre Hellerstøvann (vestgående profil 3 860–4 200 og 4 750–5450) på grunn av høyt grunnvannstrykk. Ut over dette viser beregningene at tetthetskravene skal være mulig å oppnå, det henvises til Ingeniørgeologisk fagrapport [18] for detaljer rundt injisering.

#### 6.4 Dimensjonerende innlekkasjemengder for dreosanlegg

Tunnelen vil ha fall både fra Vige og Grauthelleren, med lavbrekk under Otra. Det er nødvendig å pumpe ut grunnvann som lekker inn i tunnelen (drensvann). Det er planlagt 3 bassenger for fordrøyning av drensvannet ved profil 2 100, 3 850 og 6 400.

Det henvises til [45] for en beskrivelse av dreosanlegget og dimensjonerende vannmengder, hvor det er tatt utgangspunkt i anbefalte tetthetskrav for de ulike delstrekene i tunnel. Det påpekes at lekkasjer i tunnel kan variere over tid som følge av nedbør og endringer i grunnvannstrykk. Dersom lekkasjer i tunnel blir større enn anbefalte tetthetskrav må det vurderes konsekvens for dreosanlegget og behov for tiltak.

## 7 Videre undersøkelser og oppfølging i byggefase

### 7.1 Kartlegging av private vannforsynings- og energibrønner

Det anbefales en detaljert kartlegging av private vannforsynings- og energibrønner i neste fase. Denne rapporten er basert på innmeldte brønner, og det ligger sannsynligvis flere brønner innenfor influensområdet.

### 7.2 Overvåkning

Grunnvannstand, poretrykk i leire (i overgangen til berg) og vannstand i tjern overvåkes før under og etter anleggsperioden. Det anbefales at det etableres flere poretrykksmålere i leiravsetningene ved Bjørndalen og Sødal, og vurderes behov for ytterligere hammerhull/overvåkningsbrønner eller poretrykksmålere langs traseen. For eventuelle nye poretrykksmålere i Bjørndalen gjelder samme terskelverdier for grunnvannssenkning som NO646PZ i tabell 5-10. Det anbefales setningsmålere i alle setningsutsatte områder.

Overvåkning av grunnvannstand, poretrykk, vannstand i tjern og setninger bør starte minimum 1 år før oppstart av arbeider med driving av tunnel og pågå minimum 1 år inn i driftsfasen.

### 7.3 Oppfølging i byggefase

I byggefase anbefales det at overvåkning av grunnvannstand, poretrykk og vannstand i tjern utføres som fjernovervåkning med alarmfunksjon som slår inn ved uønsket senkning i vannstand eller poretrykk. Dette gir mulighet til å iverksette raske tiltak for å unngå uønskede konsekvenser. Dersom geologisk kartlegging på stuff påviser at de geologiske forholdene avviker fra det som er lagt til grunn ved fastsettelse av tetthetskrav, må det vurderes om det er behov for justeringer av tetthetskravene.

I byggefase skal det gjøres målinger av innlekkasje i tunnel både for å styre injeksjonsarbeider og for å dokumentere at innlekkasjene overholdes. Måling av innlekkasje gjøres f.eks. fra sonder- og kontrollhull, på måleterskler, pumpeump på stuff (ved driving på synk) og pumping fra lavbrekk i tunnelen.

Ved etablering av måleterskler må det sikres at det ikke forekommer lekkasje under eller på siden av terskler, f.eks. gjennom dypsprengt sone eller oppsprukket berg.

Måling på måleterskel og stuff gjøres fortrinnsvis etter noen dagers stans i drivearbeider, f.eks. i forbindelse med jul-, påske- og sommerferie, langhelger eller andre perioder med stans.

Dersom innlekkasje i tunnel er høyere enn tetthetskravene må det gjøres en vurdering av konsekvens mhp. ytre miljø, setningsfare og dimensjonering av anlegg for drengsvann i tunnelen, samt vurderes behov for justering av injeksjonsstrategi, infiltrasjonsbrønner eller andre avbøtende tiltak.

Det anbefales at dokumentasjon fra overvåkning av grunnvannsstand, poretrykk, vannstand i tjern, setninger og målte innlekkasjer inngår i ingeniørgeologisk sluttrapport.

## 8 Referanser

- [1] Statens vegvesen, «Håndbok N500 Vegtunneler,» Vegdirektoratet, 2022.
- [2] NVE, «NVEs innspill til varsel om oppstart og høring av planprogram - Reguleringsplan for E39 Ytre ringvei - Kristiansand kommune,» 2001.
- [3] Norconsult, «Detaljregulering E18 Ytre ringvei - Fagrapport geoteknikk. NV42E18YR-GTK-RAP-0002,» 2023.
- [4] Norconsult, «Detaljregulering E18 Ytre ringvei. Ikke prissatte konsekvenser. NV42E18YR-PLA-RAP-0007,» 2023.
- [5] Norconsult, «Prosjekteringsforutsetninger. Ytre ringvei. Reguleringsplan,» NV42E18VK-ADM-RAP-0006, 2021.
- [6] Statens vegvesen, «E18 Baneheitunnel. Kristiansand kommune. Vest-Agder. Ingeniørgeologi. 26070-460,» 2013.
- [7] Statens vegvesen, «Ingeniørgeologisk vurdering av Baneheia. E18 Kristiansand parsell Bjørndalssletta-Gartnerløkka.,» 1997.
- [8] Statens vegvesen, «Baneheia - driving, sikring, tetting,» Fjellsprengningsteknikk Bergmekanikk/geoteknikk, 2000.
- [9] Statens vegvesen, «Fv 471 Prestheitunnelen, Kristiansand kommune, Vest-Agder. inspeksjon 21-22. mars 2013. 26070-460,» 2013.
- [10] Statens vegvesen, «Fv 471 Prestheia, Kristiansand, Vest-Agder. ingeniørgeologisk tunnelinspeksjon 09.06.2017,» 2017.
- [11] Norconsult, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport. Mjåvannsheitunnelen. RA-INGGEO-010. Versjon C04.,» 2021.
- [12] Norconsult, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport. Bruliheitunnelen. RA-INGGEO-014. Versjon C00.,» 2021.
- [13] Norconsult, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport. Volleberg tunnelen. RA-INGGEO-013. Versjon C00.,» 2021.
- [14] Norconsult, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport. Søgnetunnelen. RA-INGGEO-012. Versjon C03.,» 2021.
- [15] Norconsult, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport. Lindelitunnelen. RA-INGGEO-011. Versjon C04.,» 2021.
- [16] A. B. Roald Aabøe, «Miljøundersøkelser tilknyttet E18 Oddernesveien løsmassetunnel i Kristiansand,» *Fjellsprengningsteknikk Bergmekanikk/Geoteknikk*, pp. 29.1-29.16, 2000.
- [17] Statens vegvesen, «E18 Oddernestunnelen. Geoteknisk vurdering av setninger på Weissers jorde,» 2019.
- [18] Norconsult, «Detaljregulering E18 Ytre ringvei, Fagrapport Ingeniørgeologi. NV42E18YR-GEO-RAP-0001,» 2023.
- [19] Norconsult, «Detaljregulering E18 Ytre ringvei - Geoteknisk datarapport. NV42E18YR-GTK-RAP-0001.,» 2023.
- [20] NFF, «Håndbok nr. 1 Berginjeksjon,» Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, 2002.

- [21] C. Quiñones-Rozo, «Lugeon test interpretaion, revisited,» Collaborative Management of integrated watersheds, US Society of dams, 30th annual conference, s. 405-414, 2010.
- [22] Cautus Geo, «Cautus Web,» Cautus Geo, [Internett]. Available: <https://cautusweb.com/>. [Funnet 27 01 2022].
- [23] Statens vegvesen, «Publikasjon nr. 103. Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø,» Statens vegvesen, Teknologiavdelingen, Oslo, 2003.
- [24] Miljødirektoratet, «Naturtyper - DN-håndbok 13,» [Internett]. Available: <https://kartkatalog.miljodirektoratet.no/Dataset/Details/10>.
- [25] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Elvenettverk med hovedelver og sideelver (ELVIS),» [Internett]. Available: <https://kartkatalog.nve.no/#kart>. [Funnet 20 06 2021].
- [26] Norges geologiske undersøkelse, «Nasjonal grunnvannsdatabase - GRANADA,» [Internett]. Available: [https://geo.ngu.no/kart/granada\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/).
- [27] Statsbygg , «Oppstart av planarbeid - detaljregulering E39 Ytre ringvei - Uttalelse,» 2021/1563-3, 2021.
- [28] NGU, «Berggrunn WMS,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/mapserver/BerggrunnWMS2?request=GetCapabilities&SERVICE=WMS>. [Funnet 03 03 2022].
- [29] Norges geologiske undersøkelse, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: [http://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/). [Funnet 09 11 2019].
- [30] Multiconsult, «Bjørndal gårdene Kristiansand. Grunnundersøkelser geoteknisk datarapport.,» rapport nr. 211638 - 1, 2005.
- [31] NGU, «Løsmassekart,» [Internett]. Available: [http://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/). [Funnet 20 01 2022].
- [32] Norges geologiske undersøkelse, «Hydrauliske egenskaper i løsmasser og fjell sett i sammenheng med EU-direktivet for deponering av avfall,» 2003.
- [33] StatensVegvesen, «Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø,» 2003.
- [34] Norconsult, «Vurdering av fare for setninger. NV42E18VK-GTK-NOT-0004,» 2023.
- [35] H. Kristin, ««Significance og geological parameters for predicting leakage in hard rock tunnels.,» NTNU,» 2008.
- [36] Statens vegvesen, «Vanninfiltrasjon - Erfaringer og anbefalinger, Miljø- og samfunnstjenlige tunneler rapport nr 30,» 2003.
- [37] K. Holmøy, J. Langford, Hansen, T. Frode, K. G. Holter, K. Karlsrud og NGI, «Utfordringer med vann i undergrunnsprosjekt i urbane områder,» *Fjellspreningsdagen 2019*, pp. 20.1-20.19, 2019.
- [38] V. Kveldsvik, L. Erikstad, T. Holm og L. Enander, «Planning of a 25km long water supply tunnel in an environmentally sensitive area,» NFF, 2001.
- [39] Norges vassdrags- og energidirektorat. , «NEVINA Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse.,» [Internett]. Available: <https://nevina.nve.no/>.
- [40] Kulturminnekomiteen, «Kulturminner i Kristiansand,» 2011.

- [41] S. Grubb, «Analytical model for estimation of steady-state capture zones of pumping wells in confined and unconfined aquifers,» *Ground water*, vol. 31, pp. 27-32, 1993.
- [42] C. W. Fetter, *Applied Hydrogeology* 3rd edition, Englewood Cliffs, 1994.
- [43] Multiconsult AS, «Bjørndalen, Kristiansand. Supplerende og tidligere grunnundersøkelser. Geoteknisk datarapport,» 2017.
- [44] K. Karlsrud, «Control of water leakage when tunnelling under urban areas in the Oslo region,» *Water control in Norwegian tunneling*, Publication No. 12, Norwegian tunneling society, pp. 27-, 2002.
- [45] Norconsult, «Detaljregulering E18 Ytre ringvei. Fagrapport infrastruktur. NV42E18YR-VEI-RAP-0002,» 2023.

## Vedlegg 4 - CEEQUAL-tabell

Denne rapporten dekker ett eller flere dokumentasjonskrav under CEEQUAL (BREEAM Infrastructure). CEEQUAL har evidensbaserte vurderingskriterier og ekstern verifisering, og brukes for å måle bærekraft i et prosjekt. For å forbedre erfaringsoverføring til neste fase er de relevante kravene oppsummert og referert til i tabell 9-1.

krav i ceequal-manualen	relevant avsnitt med dokumentasjon i dette dokument	kommentar
4.1.4 "site suitability"	3, 4, 5	hydrogeologiske grunnundersøkelser, tolkninger og vurderinger er utført som vurderer at valgt område er egnet.
4.3.3 "survey and evaluation of ecological value"	5	kapittel 5 tar for seg hensyn til naturområder, vann og fuktgivende natur. tetthetskrav er satt for å ivareta viktige forekomster.
5.1.2 "impact on landscape character"	5	mulig effekt fra tiltaket på økosystem og landskap er vurdert i kapittel 5. det er satt tetthetskrav for å ivareta landskap og viktige økosystemer.
5.1.7 "assessment of existing vegetation"	3, 5	kartlegging og vurdering av områder med fuktgivende vegetasjon er omtalt i kapittel 3 og 5.
5.2.1 "heritage assets – baseline studies and surveys"	5	hensyn til kulturminner er beskrevet i kapittel 5.
6.1.4 "long-term monitoring of impacts on the water environment"	3, 7	overvåking av grunnvannstand og vannstand i tjern anbefales videreført/tatt opp igjen i anleggsfase og frem til 1 år etter anlegg.
7.8.4 "water consumption during operation – consideration during design"	6	totalt vannuttak/innlekkasje basert på gitte tetthetskrav er beregnet i kapittel 6
7.8.5 "water consumption during operation – consideration during design"	7	for å redusere risiko for uønsket grunnvannssenkning (for stor innlekkasje) foreslås overvåking av grunnvannstand, poretykk og vannstand i tjern før, under og etter anleggsfase.

Tabell 9-1: Tabell med relevante punkter i henhold til CEEQUAL-manual.

Krav i CEEQUAL-manualen	Relevant avsnitt med dokumentasjon i dette dokument	Kommentar
4.1.4 "Site suitability"	3, 4, 5	Hydrogeologiske grunnundersøkelser, tolkninger og vurderinger er utført som vurderer at valgt område er egnet.
4.3.3 "Survey and evaluation of ecological value"	5	Kapittel 5 tar for seg hensyn til naturområder, vann og fuktkrevende natur. Tetthetskrav er satt for å ivareta viktige forekomster.
5.1.2 "Impact on landscape character"	5	Mulig effekt fra tiltaket på økosystem og landskap er vurdert i kapittel 5. Det er satt tetthetskrav for å ivareta landskap og viktige økosystemer.
5.1.7 "Assessment of existing vegetation"	3, 5	Kartlegging og vurdering av områder med fuktkrevende vegetasjon er omtalt i kapittel 3 og 5.
5.2.1 "Heritage assets – baseline studies and surveys"	5	Hensyn til kulturminner er beskrevet i kapittel 5.
6.1.4 "Long-term monitoring of impacts on the water environment"	3, 7	Overvåkning av grunnvannstand og vannstand i tjern anbefales videreført/tatt opp igjen i anleggsfase og frem til 1 år etter anlegg.
7.8.4 "Water consumption during operation – consideration during design"	6	Totalt vannuttak/innlekkasje basert på gitte tetthetskrav er beregnet i kapittel 6
7.8.5 "Water consumption during operation – consideration during design"	7	For å redusere risiko for uønsket grunnvannssenkning (for stor innlekkasje) foreslås overvåkning av grunnvannstand, poretykk og vannstand i tjern før, under og etter anleggsfase.